



BOOK CHAPTER:

# FUTURE JAKARTA

ARTIFICIAL INTELLIGENCE DAN KEBIJAKAN  
INOVATIF UNTUK KOTA PINTAR

HUKUM &  
PERTAHANAN  
KEAMANAN

TATA KELOLA  
PEMERINTAH

TRANSPORTASI  
& ENERGI



**EDISI BUKU 1**

**Lembaga Layanan Pendidikan Tinggi Wilayah III**  
Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset dan Teknologi



# **FUTURE JAKARTA**

## **Artificial Intelligence dan Kebijakan Inovatif Untuk Kota Pintar Edisi Buku 1**

Transportasi, Energi, Hukum, Pertahanan & Keamanan, Tata Kelola Pemerintahan

### **Pengarah:**

Prof. Dr. Toni Toharudin, S.Si., M.Sc.

### **Editor:**

Prof. Dr. Juneman Abraham, S.Psi., M.Si., C.W.P., C.I.R.R.

Adhy Purnama, S.E., MM.

Prof. Dr. Ir. Agustinus Purna Irawan, M.T., M.M., I.P.I., ASEAN Eng

Prof. Dr. Andi Adriansyah., S.T. M.Eng

Prof. Dr. Hj. Endang Purwaningsih, S.H., M.Hum., M.Kn

Prof. Dr. Andriansyah, S.Sos., M.Si.

### **Desain:**

Andika Hegar Syahbowo, Rani Utami, Vianty Rahayu

### **Sekretariat:**

Andika Hegar Syahbowo, Latisha Nazahira Kubebity

### **ISBN: XXXX-XXXX**

Jl. Margonda Raya No. 100, Pondokcina, Depok 16424

Telp. +62-21-78881112, 7863819 Faks. +62-21-7872829

e-mail: [penerbit@gunadarma.ac.id](mailto:penerbit@gunadarma.ac.id)

**LEMBAGA LAYANAN PENDIDIKAN TINGGI WILAYAH III**

**KEMENTERIAN PENDIDIKAN, KEBUDAYAAN, RISET DAN TEKNOLOGI**

Jl. SMA Negeri 14, Cawang, Kramat Jati, Kota Jakarta Timur

Korespondensi e-mail : [rpm.lldikti3@kemdikbud.go.id](mailto:rpm.lldikti3@kemdikbud.go.id)

## SAMBUTAN

Dengan mengucapkan syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa, LLDIKTI Wilayah III dengan bangga mempersembahkan bunga rampai/ book chapter yang berjudul "**Future Jakarta: Artificial Intellegence dan Kebijakan Inovatif Untuk Kota Pintar**". Buku ini merupakan hasil kerja keras dan kolaborasi dosen dari berbagai perguruan tinggi di wilayah III, dan berbagai pihak yang memiliki komitmen untuk menjadikan Jakarta sebagai kota pintar yang inovatif dan berkelanjutan.

Perkembangan teknologi informasi dan komunikasi yang pesat telah membawa kita ke era baru di mana kecerdasan buatan (Artificial Intelligence, AI) memainkan peran yang semakin penting dalam berbagai aspek kehidupan. Di tengah tantangan urbanisasi yang kompleks, konsep Smart City atau Kota Pintar menjadi solusi yang menjanjikan untuk meningkatkan kualitas hidup masyarakat, efisiensi pemerintahan, serta keberlanjutan lingkungan.

Jakarta, sebagai ibu kota negara dan pusat ekonomi Indonesia, menghadapi berbagai tantangan besar seperti kemacetan lalu lintas, polusi udara, pengelolaan sampah, dan kebutuhan akan layanan publik yang lebih efisien. Implementasi teknologi kecerdasan buatan dalam kerangka Smart City menawarkan peluang untuk mengatasi tantangan-tantangan ini dengan cara yang inovatif dan efektif.

Bab dalam buku ini menyajikan berbagai perspektif tentang penerapan AI di Jakarta, mulai dari analisis data lalu lintas untuk mengurangi kemacetan, penggunaan sensor pintar untuk monitoring kualitas udara, hingga penerapan chatbot dan sistem AI dalam layanan publik untuk meningkatkan interaksi antara pemerintah dan warga. Setiap bab ditulis oleh para ahli yang memiliki pemahaman mendalam tentang teknologi AI dan penerapannya di lingkungan perkotaan.

Kami berharap, buku ini dapat memberikan wawasan yang mendalam dan inspirasi bagi pembuat kebijakan, peneliti, dan praktisi di bidang teknologi informasi dan manajemen kota. Kami juga berharap bahwa buku ini dapat mendorong lebih banyak inisiatif dan kolaborasi untuk mengembangkan Jakarta menjadi kota yang lebih pintar, lebih hijau, dan lebih manusiawi. Tidak lupa, kami ingin mengucapkan terima kasih kepada semua penulis, tim editor, sekretariat dan kontributor yang telah memberikan waktu, tenaga, dan pemikirannya dalam penyusunan buku ini. Kami juga berterima kasih kepada berbagai pihak yang telah mendukung penerbitan buku ini. Akhir kata, semoga buku ini dapat bermanfaat dan menjadi kontribusi nyata dalam perjalanan Jakarta menuju Smart City yang sesungguhnya.

**Prof. Dr. Toni Toharudin, S.Si., M.Sc**



## KATA PENGANTAR

Kebutuhan akan kecerdasan buatan (AI) dalam pembangunan sebuah kota menunjukkan aspirasi manusia untuk menciptakan lingkungan yang lebih harmonis. Sejalan dengan perkembangan peradaban, manusia senantiasa mencari cara baru untuk mengoptimalkan kehidupan bersama dalam masyarakat dengan menjembatani keterbatasan kemampuan individu dan kolektif. Dalam konteks ini, AI dapat kita pandang sebagai perpanjangan dari kemampuan manusia untuk memahami, meramalkan, dan mengendalikan kompleksitas kehidupan perkotaan.

AI juga mencerminkan keinginan manusia untuk mengatasi keterbatasannya, baik dalam hal kapasitas kognitif maupun waktu. Dengan menganalisis data pada saat itu juga (*real-time*) dan memberikan solusi cerdas, AI memungkinkan kita untuk menanggapi berbagai perubahan dan tantangan dengan cara yang lebih cepat dan efektif. Tidak hanya itu, penerapan AI dalam kota mengindikasikan upaya untuk mencapai keseimbangan antara kemajuan teknologi dan etika serta antara efisiensi dan keberlanjutan. Kita hendak menciptakan masyarakat yang lebih adil dan berdaya, di mana teknologi tidak hanya berfungsi untuk meningkatkan kenyamanan, tetapi juga memperkuat nilai-nilai kemanusiaan dan etika dalam kehidupan sehari-hari.

Secara operasional, AI memiliki peran penting dalam pembangunan kota modern di berbagai sektor yang diuraikan dalam buku ini. Dalam sektor transportasi, misalnya, AI dapat membantu mengoptimalkan lalu lintas dan mendukung pengembangan kendaraan otonom, mengurangi kemacetan dan meningkatkan keselamatan.

Pada sektor energi, AI memfasilitasi pengelolaan jaringan listrik dan penggunaan energi terbarukan secara tepat guna, mengurangi risiko pemadaman dan emisi karbon. AI mempercepat analisis dokumen hukum dan membantu prediksi putusan pada sektor hukum. AI digunakan untuk pengawasan, deteksi ancaman, dan respons cepat terhadap insiden keamanan dalam bidang hankam. Dalam tata laksana pemerintahan, AI mendukung pengambilan keputusan yang lebih responsif dan efektif pada layanan publik. Teknologi ini memungkinkan otomatisasi berbagai layanan, seperti administrasi dokumen, serta pengelolaan kota cerdas melalui optimasi infrastruktur dan sumber daya.

Pemanfaatan kecerdasan buatan (AI) dalam pembangunan kota memang memiliki potensi besar, sebagaimana terungkap sebagian kecil di atas, tetapi juga menghadirkan tantangan tersendiri. Privasi data menjadi isu sentral. Implementasi AI memerlukan akses data yang luas, namun hal ini menimbulkan kecemasan tentang privasi warga kota. Pemerintah dan aktor-aktor yang mengimplementasikan AI perlu memastikan perlindungan data yang memadai. Demikian pula, keandalan algoritma menjadi pertimbangan penting. Sebaik-baiknya AI hanyalah sebatas algoritma yang mendasarinya. Ketidakakuratan atau bias dalam algoritma dapat menghasilkan keputusan yang merugikan bagi warga kota.

Lebih lanjut, integrasi AI dengan kebijakan pemerintah perlu diperhatikan. Tidak semua keputusan dapat diotomatisasi, dan kita perlu bernavigasi antara keterpukauan dan hasrat menggunakan teknologi terkini dan apresiasi terhadap kebijakan "konvensional/tradisional". Partisipasi masyarakat pun menjadi faktor kunci. Pembangunan kota yang berkelanjutan



jelas memerlukan partisipasi aktif warga. Penggunaan AI wajib melibatkan masyarakat agar solusi yang dihasilkan lebih relevan dan berterima.

Buku yang ditulis oleh para dosen dan peneliti dari perguruan tinggi di lingkungan LLDikti Wilayah 3 ini memberikan legasi penting dalam konteks ilmiah dan praktis. Buku ini merupakan sumber pengetahuan yang kredibel dan terperinci, memberikan pemahaman mendalam tentang konsep-konsep, teknologi, dan tantangan yang terkait dengan AI. Dengan menghadirkan informasi berdasarkan penelitian terbaru dan pengalaman praktis, buku ini membantu pembaca mengurai kompleksitas, potensi, dan sisi-sisi tak terduga dari teknologi AI.

Buku ini juga berfungsi sebagai jembatan antara dunia akademis dan praktisi. Para penulis buku ini secara antusias menyampaikan temuan berbagai kajian maupun riset lapangan ke pembaca dan pengguna yang lebih luas, termasuk pembuat kebijakan, praktisi industri, dan masyarakat umum.

Isi buku ini secara umum membantu dalam membangun *mindset* bersama tentang paradoks AI. Yakni bagaimana AI dapat bermanfaat untuk mengatasi tantangan perkotaan, meningkatkan efisiensi, dan menciptakan kota yang lebih inklusif; dengan sekaligus menyadari bahwa ketergantungan yang terlalu besar pada teknologi ini berisiko mengabaikan pengetahuan lokal dan kebijakan yang lebih luas. Paradoks ini mendorong kita semua, khususnya yang berkiprah di wilayah kebijakan publik, untuk memastikan keseimbangan antara manfaat dan risiko AI untuk mencapai pembangunan kota yang berkelanjutan

Selaku penyunting buku ini, saya lebih-lebih berharap agar buku ini mendorong diskusi kritis dan refleksi etis tentang dampak sosial, ekonomi, dan politik dari teknologi AI, dan sebagai implikasinya, memberikan landasan untuk dialog dan pengambilan keputusan yang lebih berbasis bukti di masyarakat – yang kini mulai terasa langka di era populisme dan pascakebenaran (*post-truth*) ini.

Selamat menikmati buku ini!

Jakarta, 3 Agustus 2024  
Prof. Dr. Juneman Abraham  
Penyunting

# DAFTAR ISI

## Future Jakarta: AI dan Kebijakan Inovatif untuk Kota Pintar

### KLASTER TRANSPORTASI & ENERGI

#### Chapter 1

##### **REVITALISASI JAKARTA: ARTIFICIAL INTELLIGENCE DAN DIGITAL TWIN UNTUK PENGELOLAAN LALU LINTAS DAN TRANSPORTASI EFISIEN**

Agus Trihandoyo\*, Nita Merlina

1-13

#### Chapter 2

##### **MEMACU PERUBAHAN: MEMANFAATKAN AI UNTUK MENGATASI TANTANGAN TRANSPORTASI JAKARTA DARI PERSPEKTIF SUMBER DAYA & REGULASI**

Alex Iskandar Munaf\*, Deddy Mahyarto K

14-22

#### Chapter 3

##### **MEMBUAT BANGUNAN PINTAR MENJADI LEBIH PINTAR DENGAN TEKNOLOGI ARTIFICIAL INTELLIGENCE**

Aryani Widyakusuma\*

23-35

#### Chapter 4

##### **EFISIENSI ENERGI PADA BANGUNAN MELALUI OTOMATISASI SISTEM PENDINGIN BERBASIS AI**

Aryani Widyakusuma\*

36-49

#### Chapter 5

##### **MENINGKATKAN EFISIENSI DAN PENGALAMAN PENUMPANG DALAM TRANSPORTASI PUBLIK JAKARTA MELALUI PENGGUNAAN KECERDASAN BUATAN**

Basri Fahriza\*, Ahmad Faisal, Intan Maesti

50-57

#### Chapter 6

##### **PENERAPAN IOT DALAM MENGATASI KEMACETAN LALU LINTAS PADA PUTAR BALIK JALAN RAYA**

Ben Rahman\*, Septi Andryana, Aris Gunaryarti

58-66

#### Chapter 7

##### **REVOLUSI SMART PARKING SYSTEM DI JAKARTA**

Yulius Denny Prabowo\*, Dina Fitria Murad, Maria Loura C

67-83

#### Chapter 8

##### **ANALISIS OPINI MASYARAKAT TERHADAP PENERAPAN ELECTRONIC ROAD PRICING MENGGUNAKAN MODEL BIDIRECTIONAL ENCODER REPRESENTATIONS FROM TRANSFORMERS**

Elly Gautama\*, Lucia Sri Istiyowati, M. Isnin Faried, Agnes Novita

84-104

### Chapter 9

#### **MODEL LALU LINTAS CERDAS BERBASIS KOMUNIKASI V2V TANPA MEMBANGUN INFRASTRUKTUR ROAD SIDE UNIT (STUDI KASUS KOTA JAKARTA)**

Ketut Bayu Yogha\*, Tri Kuntoro P, Yaddarabullah

105-119

### Chapter 10

#### **TRANSFORMASI PARKIR PINTAR DENGAN IMPLEMENTASI TITIK TERDEKAT MENUJU SMART CITY JAKARTA**

Luthfi Atikah\*, Dwi Diana W., Rosa Eliviani, Fahriel Dwi Faldi

120-140

### Chapter 11

#### **PENERAPAN ARTIFICIAL INTELLIGENCE DALAM SISTEM PANDUAN PERJALANAN WARGA SUBURBAN MENUJU JAKARTA**

M. Isnin Faried\*, Elliana Gautama, Agnes Novita I.S

141-149

### Chapter 12

#### **INTEGRASI KECERDASAN BUATAN DALAM TRANSPORTASI UMUM JAKARTA MENUJU EFISIENSI, KEANDALAN, DAN PENURUNAN POLUSI**

M. Kresna Noer\*

150-159

### Chapter 13

#### **PEMBANGUNAN KOTA JAKARTA YANG BERKELANJUTAN MELALUI INTEGRASI AI DALAM SEKTOR ENERGI DAN TRANSPORTASI**

Mustika Sari\*, Indriyati, Lut Mafrudoh

160-172

### Chapter 14

#### **IMPLEMENTASI SMART PARKING BERBASIS ARTIFICIAL INTELLIGENCE UNTUK MENGATASI PERMASALAHAN PARKIR DI DKI JAKARTA**

Nita Merlina\*, Agus Trihandoyo, Nissa Almira M., Daning Nur S.s

173-183

### Chapter 15

#### **AI SEBAGAI PENDETEKSI KAPASITAS PENUMPANG TRANSPORTASI UMUM YANG NYAMAN DAN AMAN DI DKI JAKARTA**

Nita Merlina\*, Muhammad Fahmi, Rudy Max Damara

184-193

### Chapter 16

#### **DELEVERY DRONE SEBAGAI SUBTITUSI OJOL DALAM MENGURANGI KEMACETAN KECELAKAAN DAN POLUSI UDARA DI DKI JAKARTA**

Paulus Raga\*, Eddy Miyanto, Veronica

194-203

### Chapter 17

#### **TRANSFORMASI SMART TRANSPORTATION DI JAKARTA: PRAKTIK, TANTANGAN, DAN PELUANG**

Rosa Eliviani\*, Dwi Diana, Luthfi Atikah, Fahriel Dwifaldi

204-222

#### **Chapter 18**

### **TRANSPORTASI AMAN: PENERAPAN INTEGRASI AI UNTUK KESELAMATAN PENUMPANG DI JAKARTA**

Siska Amonalisa S\*, Veronica, Yulianti Keke

223-239

#### **Chapter 19**

### **IKHTISAR SOLUSI ENERGI DAN TRANSPORTASI MASA DEPAN UNTUK JAKARTA YANG LEBIH SMART DAN BERKELANJUTAN**

Wynd Rizaldy\*, Lis Lesmini, Abdullah Ade S.

240-256

#### **Chapter 20**

### **ENERGI BARU, KOTA BARU: TRANSFORMASI MENUJU SMART CITY JAKARTA**

Dian Samodrawati\*, Agus Kiswantono, Saidah

257-272

#### **Chapter 21**

### **PENERAPAN PLAFON DIGITAL BERBASIS AI UNTUK PENGEMBANGAN KOTA CERDAS YANG BERKELANJUTAN**

Toto Widyanto\*, Ravie Kurnia Laday, Purwanto

273-296

#### **Chapter 22**

### **TEKNOLOGI HAND SENSOR DIHALTE UNTUK EFISIENSI WAKTU TUNGGU PENUMPANG DIHALTE BUS JAKARTA**

Ida Deliyarti A.\*

297-306

#### **Chapter 23**

### **MODEL PREDIKSI TINGKAT KEAUSAN KOMPONEN MOBIL BUS DAN TRUK MENGGUNAKAN MACHINE LEARNING**

Ilvico Sonata\*, Cuk Tho

307-316

#### **Chapter 24**

### **MACHINE VISION UNTUK INTELLIGENT TRANSPORT SYSTEM: PRAKTIK, TANTANGAN, DAN PELUANG UNTUK KOTA JAKARTA**

Indra Setiawan\*, Neilinda Novita Aisa, Pramana Sidik, Deni Nur Faizin

317-325

#### **Chapter 25**

### **STRATEGI DATA MINING UNTUK KETAHANAN ENERGI DAN AIR DI JAKARTA**

Luky Fabrianto\*, Novianti Madhona F, Johan Hendri P, Gani Wiharso

326-334

#### **Chapter 26**

### **TEKNOLOGI JAKET BOAT: GERBANG MENUJU SURGA KEPULAUAN SERIBU DALAM GENGAMAN**

Primadi Candra S.\*, Sarinah Sihombing, Irwan Chairuddin, Euis Saribanon

335-346

#### **Chapter 27**

### **PENERAPAN PERANGKAT LUNAK BARU BERUPA AUTOMATION TRAFFIC LIGHT DAN IDENTIFIKASI LALU LINTAS DENGAN MENGGUNAKAN ARTIFICIAL INTELLIGENCE (AI)**

Wiwiek Mardawiyah Daryanto\*, Yoel Mego Hastomo

347-354



#### **Chapter 28**

### **POINT TO POINT AUTONOMOUS DRONE MENGGUNAKAN MODUL 5G SEBAGAI SOLUSI LOGISTIK KOTA PINTAR**

Radix Rascalía\*, Muhammad Hanif A., Prabowo Larasakti

355–363

#### **Chapter 29**

### **STRATEGI PENURUNAN BEBAN BIAYA LISTRIK SEKTOR PENDIDIKAN MELALUI IMPLEMENTASI PROGRAM MANAJEMEN ENERGI SEKOLAH (MES) BERKELANJUTAN**

Reza Abdu Rahman\*, Adi Wahyu Pribadi, Aulia Keiko H.

364–382

#### **Chapter 30**

### **SISTEM PENERANGAN ADAPTIF UNTUK HEMAT ENERGI PADA RUANG GEDUNG MENGGUNAKAN MACHINE LEARNING**

Robby Kurniawan H\*, Antonius Irianto S, Widyastuti, R.A Sekar C A

383–396

#### **Chapter 31**

### **OPTIMALISASI TRANSPORTASI PUBLIK DI DKI JAKARTA DENGAN ARTIFICIAL INTELLIGENCE**

Bertinus Simanihuruk\*, Hikma Dewita, Herlina Trisnawati, Jihaan Jamilah

397–410

#### **Chapter 32**

### **TANTANGAN ENERGI DAN TRANSPORTASI KOTA JAKARTA CERDAS BERKELANJUTAN BERBASIS AI**

Siti Maemunah\*, Yuliantini, Lira Agusinta, M. Rafi Casey S.

411–430

#### **Chapter 33**

### **PENGARUH PENAMBAHAN LAPISAN AKTIF PADA STRUKTUR SEL SURYA A-SI:H TERHADAP EFISIENSI MENGGUNAKAN RF-PECVD**

Soni Prayogi\*

431–442

#### **Chapter 34**

### **PEMANTAUAN ENERGI LISTRIK MENGGUNAKAN ESP32, NODE-RED, INFLUXDB: STUDI KASUS**

Waluyo Nugroho\*, Afianto, Mada Jimmy F A, Syahril Ardi

443–451

#### **Chapter 35**

### **SISTEM MONITORING STASIUN PENGISIAN KENDARAAN LISTRIK UMUM BERBASIS KECERDASAN BUATAN UNTUK MEMBANGUN EKOSISTEM KENDARAAN LISTRIK**

Yohanes Climacus S\*, Rusdi Febriyanto, Afitro Adam N, Jeremi E. S.

452–465

## **KLASTER HUKUM, PERTAHANAN & KEAMANAN, TATA KELOLA PEMERINTAHAN**

### **Chapter 36**

#### **AI DALAM KOMUNIKASI SMART CITY: TRANSFROFMASI KOMUNIKASI MASYARAKAT DENGAN PEMERINTAH DI ERA DIGITAL**

Aan Widodo\*, Diah Ayu P.

466-472

### **Chapter 37**

#### **NORMA DAN ETIKA KECERDASAN BUATAN DALAM PEMBANGUNAN KOTA PINTAR**

Arif Rifai Dwiyanto\*, Nurfiyah, Yoana Nurul Asri

473-480

### **Chapter 38**

#### **REGULASI & KONTRIBUSI AI: MEWUJUDKAN INKLUSIVITAS TEKNOLOGI DALAM TRANSPORTASI JAKLINGKO UNTUK PENYANDANG DISABILITAS**

Firman\*, Wagiman

481-498

### **Chapter 39**

#### **PERSPEKTIF ETIS KEBIJAKAN PUBLIC SECURITY BERBASIS ARTIFICIAL INTELLIGENCE DI JAKARTA**

Simon P. Wenehenubun\*, Adrianus Meliala, Ferry Doringin

499-509

### **Chapter 40**

#### **MENGOPTIMALKAN POTENSI ARTIFICIAL INTELLIGENCE UNTUK MENYARING UJARAN KEBENCIAN MENGGUNAKAN ALGORITMA NAIVE BAYES**

Dwi Atmodjo\*, Winny Purbaratri, Dandan Dwi, Pratiwi

510-519

### **Chapter 41**

#### **DECISION INTELLIGENCE: KLASIFIKASI PENGADUAN BERBASIS MACHINE LEARNING UNTUK MENINGKATKAN LAYANAN MASYARAKAT SECARA BERKELANJUTAN**

Evaristus Didik M\*, Hendro Nindito, Deбри Pristinella

520-529

### **Chapter 42**

#### **ANALISIS DAMPAK PENERAPAN TEKNOLOGI KECERDASAN BUATAN PADA MANAJEMEN LAYANAN PUBLIK DI DKI JAKARTA**

Franky\*, Budiharjo, T. Herry Rachmatsyah, Watriningsih

530-535

### **Chapter 43**

#### **MENDORONG IMPLEMENTASI KEBIJAKAN SATU DATA MENGGUNAKAN AI UNTUK TATA KELOLA PEMERINTAHAN TERINTEGRASI BERBASIS SMART CITY**

Imelda\*, Elizabeth Nurmiyati Tamatjita, Aditya Wikan Mahastama

536-542

### **Chapter 44**

#### **ARTIFICIAL INTELEGANCE DALAM TRANSFORMASI TATA KELOLA PEMERINTAH YANG INKLUSIF**

Muhammad Lukman Hakim\*, Nita Aribah Hanif

543-567

#### **Chapter 45**

### **MODEL HUKUM CYBER SECURITY UNTUK PENINGKATAN KEAMANAN DIGITALISASI TANDA TANGAN DI INDONESIA**

Tri Ginanjar Laksana\*, Prio Kustanto, Wowon Priatna, Asep Ramdhani Mahbub

568-585

#### **Chapter 46**

### **SELF-SERVICE ANALYTICS UNTUK PELAYANAN PUBLIK PEMPROV JAKARTA YANG LEBIH BAIK: POTENSI DAN TANTANGAN**

Akhmad Unggul Priantoro\*, Achmad Solichin, Mufti, Handri Santoso

586-598

#### **Chapter 47**

### **MEMBANGUN PROFIL KRIMINAL DENGAN TEKNOLOGI AI**

Anggriani Wau M. H.\*

599-612

#### **Chapter 48**

### **SOLUSI UNGGUL BERBASIS KECERDASAN BUATAN, KOMPRESI DATA DAN COMPUTER VISION UNTUK JAKARTA SMART CITY**

Mauritz Panggabean\*

613-632

#### **Chapter 49**

### **PENERAPAN ARTIFICIAL INTELLIGENCE (AI) PADA KONSEP PEMBANGUNAN JAKARTA MENUJU SMART CITY DALAM PERSPEKTIF SOSIOLOGI HUKUM**

St. Laksanto Utomo\*, Fajar Hidayat, Gatot Rambli Hastoro

633-643

#### **Chapter 50**

### **TREND TEKNOLOGI SIBER MASA DEPAN UNTUK PENERAPAN DAN PENGEMBANGAN SMART CITY JAKARTA**

Ucuk Darusalam\*, Ratih Anggoro Wilis

644-665

#### **Chapter 51**

### **FORMULASI KEBIJAKAN PEMERINTAH & KESIAPAN PERANGKAT HUKUM DALAM MENANGGULANGI KEJAHATAN ARTIFICIAL INTELLIGENCE (AI)**

Wahyu Nugroho\*, Fahririn

666-678

#### **Chapter 52**

### **MANFAAT TEKNOLOGI AI DALAM PENGEMBANGAN SMART CITY JAKARTA MENJADI KARYA NUSANTA**

Taufiqurokhman\*, Lira Agusinta, Djoni Gunanto, Dida Nurhaida

679-711

#### **Chapter 53**

### **PEMANFAATAN ARTIFICIAL INTELLIGENCE DALAM PROSES PEMBERDAYAAN HUKUM UNTUK PERTAHANAN DIRI DAN KEAMANAN KOMUNITAS**

Syahrul Awal\*, Agung Permadi

711-721

**Chapter 54**

**KEAMANAN WILAYAH DALAM ERA DIGITAL: PEMANFAATAN AI UNTUK ANALISIS DATA  
DAN PENGAMBILAN KEPUTUSAN DALAM KAJIAN KEAMANAN DI JAKARTA**

Syahrul Awal\*, Arsenius Wisnu Aji Patria Perkasa

722-731

**Chapter 55**

**PERENCANAAN DAN ZONASI WILAYAH BERKELANJUTAN DENGAN PEMANFAATAN  
SEGMENTASI SEMANTIK PENUTUP LAHAN BERBASIS DEEP LEARNING**

Herlawati \*, Yaya Heryadi, Haryono Soeparno, Rahmadya Trias Handayanto

732-742

**Chapter 56**

**PENDETEKSIAN KORUPSI DENGAN MENGGUNAKAN ARTIFICIAL NEURAL NETWORK**

Haryono Umar, Markonah\*, Annathasia Puji Erasashanti, dan Hikmah Abdul Rachman

742-777

## SINOPSIS

Indonesia memiliki peluang besar untuk menjadi pemimpin dalam pengembangan teknologi kecerdasan buatan (Artificial Intelligence/AI) di Asia Tenggara. Peluang ini didukung oleh keunggulan Indonesia dalam penerapan AI di sektor publik dan bisnis, potensi pasar yang besar bagi investasi pengembangan AI dalam negeri, serta tingginya hasil riset tentang AI. Sebagai ibu kota dan pusat ekonomi Indonesia, Jakarta berada di garis depan dalam menghadapi tantangan urbanisasi yang kompleks, seperti kemacetan lalu lintas, polusi udara, pengelolaan sampah, dan kebutuhan layanan publik yang efisien.



Buku ini mengeksplorasi secara komprehensif bagaimana AI dapat menjadi solusi inovatif untuk mengatasi tantangan-tantangan tersebut dan meningkatkan kualitas hidup masyarakat Jakarta. Dalam konteks Revolusi Industri 4.0, penggunaan AI menawarkan peluang besar namun juga menghadirkan tantangan dinamis, termasuk dalam hal regulasi, privasi data, dan integrasi teknologi dengan infrastruktur yang ada. Para penulis buku ini adalah dosen-dosen di lingkungan LLDikti Wilayah III yang berkompeten di bidangnya masing-masing. Mereka berupaya

untuk menyusun kajian-kajian mendalam yang tidak hanya menggambarkan potensi AI, tetapi juga menawarkan usulan kebijakan yang dapat diterapkan oleh pemerintah DKI Jakarta. Melalui pendekatan yang bersifat citizen-centric, buku ini memberikan rekomendasi tentang bagaimana AI dapat digunakan untuk mempercepat dan meningkatkan kualitas pelayanan publik. Dengan mengedepankan pengambilan keputusan berbasis data yang relevan dengan perkembangan teknologi terkini, diharapkan kebijakan yang disusun dapat berkontribusi pada pembangunan Jakarta sebagai Smart City yang tangguh dan responsif terhadap kebutuhan warganya. Buku ini diharapkan menjadi referensi penting bagi pengambil kebijakan, akademisi, dan praktisi yang terlibat dalam pengembangan AI di kota-kota besar, khususnya dalam upaya menjadikan Jakarta sebagai contoh utama penerapan teknologi cerdas di Asia Tenggara.





# REVITALISASI JAKARTA: ARTIFICIAL INTELLIGENCE DAN DIGITAL TWIN UNTUK PENGELOLAAN LALU LINTAS DAN TRANSPORTASI EFISIEN

**Agus Trihandoyo<sup>1\*</sup> dan Nita Merlina<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Sistem dan Teknologi Informasi, Universitas Siber Indonesia,  
Jakarta 12530, Indonesia

<sup>2</sup>Sistem Informasi, Fakultas Teknologi Informasi, Universitas Nusa Mandiri,  
Jakarta 13620, Indonesia

\*Penulis Koresponden, e-mail: [agus.trihandoyo@cyber-univ.ac.id](mailto:agus.trihandoyo@cyber-univ.ac.id)

## ABSTRAK

Sebagai pusat ekonomi, Jakarta menghadapi tantangan urbanisasi yang semakin kompleks. Dengan populasi lebih dari 10 juta jiwa dan pertumbuhan tahunan penduduk sekitar 0,92%, kota ini berjuang melawan kemacetan parah yang berdampak pada kerugian ekonomi hingga 100 triliun Rupiah per tahun. Artikel ini mengkaji pemanfaatan *Artificial Intelligence* (AI) dan *Digital Twin* (DT) sebagai solusi untuk meningkatkan manajemen lalu lintas dan efisiensi transportasi publik di Jakarta. DT merupakan replikasi digital dari infrastruktur fisik kota yang memungkinkan perencanaan dan analisis skenario lalu lintas dengan akurasi tinggi, memprediksi dampak dari berbagai strategi pengelolaan sebelum diterapkan secara fisik. Selain itu, AI dengan kemampuannya mengolah dan menganalisis data berperan penting dalam mengoptimalkan arus lalu lintas dan pengaturan jadwal transportasi publik, menyesuaikan rute berdasarkan kondisi lalu lintas, dan meminimalkan waktu tunggu pengguna transportasi publik. Kajian ini mengidentifikasi peluang aplikasi AI dan DT dalam menyusun solusi untuk mengatasi permasalahan lalu lintas di Jakarta, dari pengelolaan arus kendaraan hingga optimasi layanan transportasi publik. Integrasi AI dan DT diharapkan tidak hanya akan memperbaiki kondisi lalu lintas, tetapi juga meningkatkan kualitas hidup, serta membuka peluang bagi peningkatan sosial dan ekonomi warga. Keberhasilan implementasi teknologi ini di Jakarta dapat dijadikan model bagi kota-kota lain di Indonesia dalam menghadapi tantangan urbanisasi serupa. Dengan strategi yang jelas dan implementasi yang tepat, Jakarta berpotensi besar untuk mewujudkan visinya sebagai kota pintar global yang memprioritaskan kesejahteraan warganya, memacu pertumbuhan ekonomi, dan menjaga keberlanjutan lingkungan untuk generasi yang akan datang.

Kata Kunci: *Artificial Intelligence*, *Digital Twin*, Revitalisasi Jakarta, *Smart city*, Transportasi Efisien

## PENDAHULUAN

Jakarta adalah kota yang dinamis dan berkembang pesat. Sebagai pusat ekonomi, Jakarta merupakan rumah bagi lebih dari 10 juta warga dan terus bertambah dengan laju pertumbuhan tahunan sekitar 0,92% (Badan Pusat Statistik, 2020). Urbanisasi yang terlalu cepat telah menyebabkan berbagai permasalahan, terutama kemacetan lalu lintas yang parah sehingga mengakibatkan kerugian ekonomi hingga 100 triliun Rupiah per tahun (CNBC Indonesia [Internet], 2024). Kemacetan lalu lintas bukanlah masalah yang berdiri sendiri, melainkan salah satu gejala dari tantangan urbanisasi yang lebih besar. Pertumbuhan dan urbanisasi yang cepat telah menimbulkan tantangan sosial ekonomi di banyak sektor, termasuk transportasi. Kemacetan lalu lintas berkontribusi pada peningkatan polusi dan pemborosan energi. Situasi ini membutuhkan solusi yang mendesak dan inovatif. Dalam beberapa tahun terakhir, konsep *smart*

*city* diusulkan sebagai solusi potensial untuk mengatasi masalah perkotaan. *Smart city* memanfaatkan teknologi dan data digital untuk meningkatkan kualitas layanan perkotaan, mengurangi biaya, dan menghubungkan warga (Gracias, Parnell, Specking, Pohl, & Buchanan, 2023; Sharifi, Allam, Bibri, & Khavarian-Garmsir, 2024). Pemerintah daerah DKI Jakarta telah memulai proyek Jakarta Smart City (Syalianda & Kusumastuti, 2021) yang bertujuan untuk mentransformasi kota menjadi model *smart city* yang berkelanjutan. Dalam konteks ini, integrasi teknologi *Artificial Intelligence* (AI) dan *Digital Twin* (DT) berpotensi mengubah Jakarta menjadi model yang diinginkan. Integrasi AI dan DT dalam perencanaan kota dan manajemen lalu lintas telah menjadi bidang penting penelitian dan pengembangan secara global, didorong oleh kebutuhan untuk mengatasi kompleksitas urbanisasi dan meningkatnya tuntutan pada infrastruktur perkotaan. Penelitian terkini menekankan pentingnya AI dan DT dalam perencanaan serta manajemen kota. Penerapan AI dan DT sangat efektif dalam mengatasi permasalahan lalu lintas perkotaan. Sistem manajemen lalu lintas berbasis AI mampu menganalisis data lalu lintas secara *real-time* untuk mengoptimalkan lamanya waktu lampu lalu lintas, menyediakan informasi kepada pengemudi tentang prediksi lalu lintas, kecelakaan, atau penyumbatan jalan, yang pada akhirnya meningkatkan kinerja dan efisiensi jaringan jalan secara keseluruhan (Hämäläinen, 2020b). Sistem AI ini memanfaatkan kemampuan *machine learning* (ML) untuk menganalisis *big data* dari berbagai sumber, termasuk sensor, kamera, dan kendaraan yang terhubung (Calvio, Jindal, Bujari, Aujla, & Foschini, 2023). ML memungkinkan sistem secara dinamis menyesuaikan waktu lampu lalu lintas berdasarkan kondisi lalu lintas, memastikan waktu yang optimal untuk meningkatkan efisiensi dan mengurangi kemacetan. ML "belajar" dari pola lalu lintas, perilaku pejalan kaki, dan pengalaman lainnya, secara terus-menerus menyempurnakan modelnya dan, pada akhirnya, meningkatkan keselamatan jalan raya.

Area lain di mana AI mengubah manajemen lalu lintas adalah di bidang pemantauan dan analisis lalu lintas secara *real-time*. Model AI dapat dirancang untuk menjalankan analisis berdasarkan data lalu lintas historis dan *real-time*, mengkonsolidasikan data untuk memahami pola dan tren arus lalu lintas. Analisis prediktif ini digunakan untuk meramalkan kondisi masa depan, memungkinkan alokasi sumber daya yang lebih efektif dan optimalisasi rute untuk meminimalkan kemacetan lalu lintas. Integrasi AI juga memungkinkan pengembangan sistem kontrol sinyal lalu lintas adaptif. Sistem ini dapat mengidentifikasi kondisi permintaan puncak dan menyesuaikan waktunya, mengoptimalkan arus lalu lintas dan mengurangi kemacetan dengan menempatkan prioritas pada jalan dengan lalu lintas tinggi. Pemanfaatan AI dalam manajemen lalu lintas tidak terbatas pada pengoptimalan waktu sinyal lalu lintas. AI juga dapat digunakan untuk deteksi dan manajemen insiden, di mana sistem berbasis AI dapat mengidentifikasi dan mendeteksi insiden lalu lintas seperti kecelakaan, deteksi pengemudi yang salah arah, kelebihan kecepatan, atau penyumbatan jalan. Informasi ini dapat digunakan untuk segera mengirim personel ke lokasi dan memastikan respons yang cepat, serta untuk mempercepat tindakan tambahan seperti mengubah rute lalu lintas dari area tersebut.

Sementara, DT merupakan replika digital dari infrastruktur fisik kota, yang memungkinkan perencanaan dan analisis skenario lalu lintas (Deren, Wenbo, & Zhenfeng, 2021). DT dapat digunakan untuk mensimulasikan berbagai skenario lalu lintas, memungkinkan prediksi dampak strategi manajemen yang berbeda sebelum diterapkan secara fisik (Kusumawati, Setiawan, & Suryanegara, 2017). Teknologi ini mendapatkan popularitas di bidang manajemen transportasi, khususnya dalam rangka mengoptimalkan arus lalu lintas dan mengurangi kemacetan. Salah satu artikel membahas integrasi DT dengan *Game Engine* dan alat simulasi lalu lintas untuk memodelkan kondisi lalu lintas dunia perkotaan (Wang, Han, & Tiwari, 2021). Kerangka kerja

ini, yang mencakup penggunaan SUMO (Simulasi Mobilitas Perkotaan), alat simulasi lalu lintas multi-modal *open source*, portabel, mikroskopis dan berkelanjutan yang dirancang untuk menangani jaringan besar (Calvio et al., 2023) dan *Game Engine* Unity (Wang et al., 2021), engine lintas platform, memungkinkan untuk penciptaan lingkungan virtual yang secara akurat mereplikasi dinamika lalu lintas kota. Simulasi ini kemudian digunakan untuk menguji strategi manajemen lalu lintas, seperti menyesuaikan waktu lampu lalu lintas atau menerapkan sistem manajemen jalur, sebelum diterapkan secara fisik. Pendekatan ini memungkinkan perencana untuk memprediksi dampak dari strategi baru pada arus lalu lintas dan kemacetan, memungkinkan pengambilan keputusan yang lebih tepat.

Integrasi teknologi AI dan DT telah diterapkan di berbagai kota di dunia dan menunjukkan potensinya untuk memperbaiki kondisi lalu lintas dan meningkatkan kualitas hidup warga (Mehmood et al., 2017). Tulisan ini bertujuan untuk mengeksplorasi kemampuan dari teknologi ini, mengidentifikasi peluang untuk penerapannya, dan mendiskusikan strategi untuk keberhasilan implementasinya dalam konteks kota Jakarta. Kita akan mengkaji konsep AI dan DT, aplikasinya dalam pengelolaan lalu lintas dan transportasi umum, serta tantangan dan peluang yang terkait dengan implementasinya. Makalah ini diharapkan dapat memberikan wawasan berharga bagi perencana kota, pembuat kebijakan, dan pemangku kepentingan lainnya yang terlibat dalam upaya revitalisasi kota.

## STATE OF THE ART

Bagian ini merangkum literatur mutakhir tentang pemanfaatan teknologi AI dan DT dalam manajemen lalu lintas perkotaan dan daftar artikel terpilih serta kontribusi utamanya. Ringkasan literatur disediakan dalam Tabel 1, yang mencakup dua kolom: (a) Referensi, yang berisi tautan ke pustaka dan (b) Kontribusi Utama, yang memberikan ringkasan singkat tentang kontribusi utama publikasi tersebut. Tujuan utama meringkas literatur yang relevan adalah untuk menilai kontribusi akademis dan industri terhadap pemanfaatan teknologi AI dan DT dalam manajemen lalu lintas perkotaan.

Dalam menyusun ringkasan ini, pencarian sistematis dilakukan pada publikasi yang relevan menggunakan berbagai mesin pencari literatur, seperti Google Scholar, Semantic Scholar, dan ResearchGate. Pencarian ini, yang dilakukan pada April - Mei 2024, menghasilkan beberapa publikasi, yang diyakini mewakili keadaan terkini di bidang ini.

**Tabel 1.** Ringkasan Artikel Pemanfaatan AI dan DT pada Manajemen Lalu Lintas Perkotaan.

| Referensi                                                | Kontribusi Utama                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
|----------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| (Nikitas, Michalakopoulou, Njoya, & Karampatzakis, 2020) | Makalah ini menawarkan kerangka kerja konseptual komprehensif yang mengintegrasikan persimpangan antara AI, transportasi, dan <i>Smart City</i> . Konsep teknologi yang muncul menciptakan dasar <i>smart city</i> yang AI-sentris, terutama pada solusi mobilitas cerdas seperti Connected and Autonomous Vehicles (CAVs), Unmanned Aerial Vehicles (UAVs), dan Mobility-as-a-Service (MaaS) |
| (Luusua, Ylipulli, Foth, & Aurigi, 2023)                 | Artikel ini memperkenalkan konsep "AI perkotaan," yang mengacu pada integrasi teknologi AI ke dalam pengaturan perkotaan, yang mencakup lingkungan, infrastruktur, dan                                                                                                                                                                                                                        |

| Referensi                                       | Kontribusi Utama                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
|-------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                                 | praktik sehari-hari warga perkotaan. Penulis menekankan perlunya pendekatan interdisipliner untuk memahami fenomena ini sepenuhnya.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| (Maisonobe, 2022)                               | Makalah ini mengkaji dinamika penelitian perkotaan dalam konteks Big Data dan AI, serta dampak transformatif dari teknologi ini pada manajemen perkotaan, khususnya di bidang transportasi dan sistem air. Dengan menggunakan metodologi campuran yang mencakup analisis bibliometrik dan wawancara dengan akademisi, penelitian ini mengidentifikasi tren dan perbedaan signifikan dalam bagaimana AI dan Big Data diintegrasikan ke dalam penelitian perkotaan.                                                                                                       |
| (Ouallane, Bahnasse, Bakali, & Talea, 2021)     | Artikel ini memberikan <i>review</i> tentang solusi manajemen lalu lintas yang memanfaatkan teknologi Artificial Intelligence (AI), Internet of Things (IoT), dan Big Data. Penulis mengklasifikasikan solusi tersebut ke dalam beberapa kategori, seperti mekanisme perutean, manajemen lampu lalu lintas, dan manajemen jaringan lalu lintas.                                                                                                                                                                                                                         |
| (Kadkhodayi, Jabeli, Aghdam, & Mirbakhsh, 2023) | Artikel ini memberikan kontribusi pada manajemen lalu lintas perkotaan dengan mengintegrasikan teknik AI dan IoT dalam arsitektur multi-agen terdistribusi. Strategi ini mengatasi keterbatasan model lalu lintas tradisional dengan mengelola skenario lalu lintas yang kompleks dan terdistribusi secara lebih efektif.                                                                                                                                                                                                                                               |
| (Faliagka et al., 2024)                         | Artikel ini menguraikan pengembangan Arsitektur METACITIES untuk mobilitas cerdas, yang merupakan bagian dari <i>Open Digital Twin Framework</i> yang dirancang untuk mengubah kota pintar menjadi metacities. Dengan memanfaatkan teknologi DT, inisiatif METACITIES bertujuan untuk menciptakan lingkungan perkotaan yang lebih efisien, aman, dan berkelanjutan. Pendekatan ini menekankan pentingnya pengujian dalam skala kecil sebelum implementasi skala besar.                                                                                                  |
| (Kušić, Schumann, & Ivanjko, 2023)              | Kontribusi artikel ini adalah dalam pengembangan dan implementasi model <i>Digital Twin</i> tersinkronisasi run-time untuk jalan raya di kota Jenewa, Swiss (DT-GM). Model ini mengintegrasikan data lalu lintas real-time dengan simulasi lalu lintas mikroskopis menggunakan simulator SUMO.                                                                                                                                                                                                                                                                          |
| (Marai, Taleb, & Song, 2021)                    | Artikel ini mempresentasikan pengembangan arsitektur sistem untuk menciptakan DT infrastruktur jalan. DT ini mengintegrasikan berbagai perangkat IoT dan <i>edge computing</i> untuk menyediakan model sistem jalan yang komprehensif dan cerdas. Arsitekturnya mencakup pengumpulan data real-time melalui kamera 360°, GPS, dan sensor lingkungan, yang diproses dan disimpan di cloud untuk berbagai aplikasi seperti keamanan, transportasi, dan pariwisata. Tujuannya adalah untuk meningkatkan efisiensi dan kecerdasan manajemen jalan perkotaan, mendukung visi |

| Referensi              | Kontribusi Utama                                                                                                                                                                                                                       |
|------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                        | kota pintar yang lebih luas dengan memungkinkan peningkatan pengambilan keputusan dan optimalisasi operasi perkotaan.                                                                                                                  |
| (Xu et al., 2023)      | Artikel ini memperkenalkan Ctwin, platform DT komprehensif yang dikembangkan untuk manajemen mobilitas perkotaan, menawarkan kemampuan canggih untuk pemantauan, kontrol, dan analisis sistem transportasi perkotaan secara real-time. |
| (Van Den Berghe, 2021) | Artikel ini mengusulkan arsitektur pemrosesan Smart City untuk manajemen sistem kota yang aktif dan real-time melalui DT, pemrosesan data real-time, dan pemodelan prediktif, menyoroti potensi manfaat bagi masyarakat.               |

Publikasi mutakhir tentang pemanfaatan AI dan DT pada transportasi perkotaan diatas menunjukkan transformasi yang signifikan dan beragam. AI menjadi elemen sentral dalam solusi mobilitas cerdas seperti kendaraan otonom dan layanan mobilitas yang terhubung, serta memerlukan pendekatan interdisipliner untuk memahami dampaknya secara menyeluruh. Big Data dan AI secara kolektif mengubah manajemen perkotaan, terutama dalam bidang transportasi, dengan identifikasi tren dan integrasi teknologi yang berbeda. Solusi manajemen lalu lintas berbasis AI dan IoT menawarkan peningkatan efisiensi melalui mekanisme perutean dan manajemen lampu lalu lintas. Integrasi AI dalam arsitektur multi-agen memperbaiki pengelolaan skenario lalu lintas yang kompleks. Pengembangan arsitektur METACITIES dan model DT lainnya menunjukkan bahwa penggunaan DT dapat meningkatkan efisiensi, keamanan, dan keberlanjutan lingkungan perkotaan. Platform DT komprehensif menyediakan kemampuan pemantauan dan analisis *real-time*, mendukung keputusan operasional yang lebih baik dan optimalisasi *smart city*. Secara keseluruhan, integrasi AI dan DT mendorong inovasi dalam transportasi perkotaan, menawarkan solusi yang lebih terintegrasi, efisien, dan adaptif terhadap dinamika perkotaan yang berkembang.

## PEMBAHASAN

Pada bagian ini, beberapa aspek penting dan konsep kunci yang diperlukan untuk keberhasilan penerapan teknologi AI dan DT dalam manajemen lalu lintas perkotaan akan dibahas. Latar belakang sejarah teknologi AI dan DT, serta implikasi potensial dari teknologi AI dan DT pada berbagai aspek sistem lalu lintas perkotaan. Selanjutnya, dampak teknologi AI dan DT terhadap efisiensi dan efektivitas manajemen lalu lintas perkotaan.

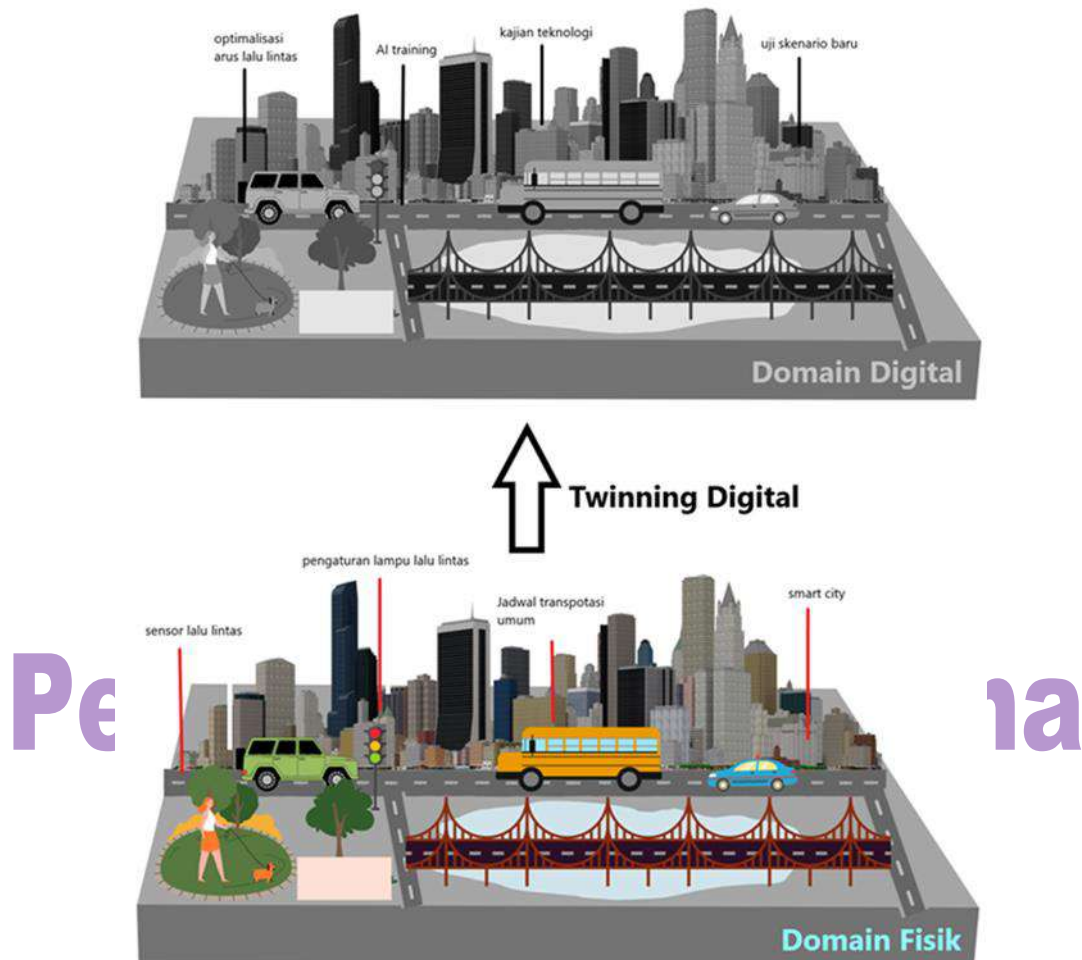
### AI dalam Perencanaan Kota dan Pengelolaan Lalu Lintas

AI semakin banyak diterapkan dalam perencanaan kota dan manajemen lalu lintas untuk meningkatkan efisiensi dan efektivitas infrastruktur perkotaan. Algoritma AI dapat menganalisis sejumlah besar data dari berbagai sumber, seperti sensor, kamera, dan media sosial, untuk mengidentifikasi pola dan tren yang dapat menginformasikan pengambilan keputusan dalam perencanaan kota dan manajemen lalu lintas. Misalnya, sistem pengelolaan lalu lintas berbasis AI dapat menganalisis data lalu lintas *real-time* untuk mengoptimalkan waktu sinyal lalu lintas, mengurangi kemacetan, dan meningkatkan arus lalu lintas. AI juga dapat digunakan untuk memprediksi pola lalu lintas dan mengoptimalkan rute lalu lintas, mengurangi waktu perjalanan dan meningkatkan kualitas udara.



### Digital Twin dalam Perencanaan Kota dan Pengelolaan Lalu Lintas

Teknologi DT telah mendapatkan perhatian dalam perencanaan kota dan manajemen lalu lintas, khususnya dalam konteks *smart city*. Konsep menciptakan replika digital dari sistem fisik, yang dikenal sebagai Digital Twin (DT), seperti diilustrasikan pada gambar 1, telah ada selama beberapa dekade.



**Gambar 1.** Layanan baru potensial, skenario masa depan dan kemampuan DT untuk manajemen lalu lintas perkotaan

Meskipun awalnya digunakan untuk desain produk, teknologi DT telah menjadi semakin penting di berbagai industri. Ide replikasi sistem fisik dengan model komputerisasi muncul pada awal 1990-an. Namun, formalisasi konsep dan penerapannya di bidang manufaktur datang kemudian, pada awal 2000-an. Sejak itu, DT telah mendapatkan daya tarik di berbagai sektor seperti penerbangan, perawatan kesehatan, dan *smart city*. Sejak 2012, DT telah muncul sebagai teknologi kunci untuk *smart city*. Dengan membuat replika virtual dari jaringan lalu lintas perkotaan, termasuk jalan, persimpangan, lampu lalu lintas, dan bahkan kendaraan. DT memungkinkan peningkatan dalam manajemen lalu lintas.

### Manfaat DT untuk Pengelolaan Lalu Lintas

Bayangkan sebuah kota virtual di mana simulasi lalu lintas dapat dijalankan untuk memprediksi kemacetan, menganalisis dampak kecelakaan atau penutupan jalan, dan menguji efektivitas penyesuaian lampu lalu lintas. Berikut beberapa manfaat yang diperoleh:

- **Prediksi lalu lintas dan mitigasi kemacetan:** Dengan menganalisis data *real-time* dari sensor dan kamera, DT dapat memprediksi pola lalu lintas dan mengidentifikasi potensi

kemacetan. Hal ini memungkinkan otoritas lalu lintas untuk secara proaktif menerapkan langkah-langkah seperti penerapan lampu lalu lintas dinamis atau pengaturan ulang rute untuk mencegah kemacetan.

- **Mengoptimalkan arus lalu lintas:** DT dapat digunakan untuk mensimulasikan berbagai skenario, seperti perubahan rute angkutan umum, pembangunan jalan baru, atau penerapan kebijakan baru untuk mengurangi kemacetan. Hal ini memungkinkan keputusan berdasarkan data untuk mengoptimalkan arus lalu lintas dan mengurangi waktu perjalanan.
- **Peningkatan tanggap darurat:** Data *real-time* dari DT dapat digunakan untuk mengoptimalkan rute kendaraan darurat dan meminimalkan waktu penanganan saat terjadi kecelakaan atau gangguan lainnya.

### Digital Twin Mengarahkan Arus Lalu Lintas di *Smart City*

Tujuan manajemen lalu lintas perkotaan adalah untuk meningkatkan kapasitas secara signifikan, mengurangi kemacetan, mendukung sistem transit yang efisien, dan mengatasi tantangan sosial yang muncul melalui penggunaan teknologi dan desain infrastruktur yang inovatif. Untuk mencapai tujuan ini, sistem lalu lintas perkotaan harus mengatasi berbagai tantangan, termasuk yang terkait dengan kinerja, operasi, infrastruktur, dan biaya. Pemanfaatan teknologi DT memainkan peran penting dalam mengatasi tantangan ini dengan memvisualisasikan seluruh ekosistem lalu lintas perkotaan dan lingkungan operasional. Hal ini memungkinkan pengelolaan layanan dan sumber daya lalu lintas secara otonom, serta analisis perilaku kendaraan dan pejalan kaki secara *real-time*. Mempertimbangkan kompleksitas dan skala infrastruktur perkotaan, semua elemen, termasuk jalan, sinyal lalu lintas, jaringan transportasi umum, aset fisik dan digital terkait, dapat dikembalikan secara digital. Replikasi digital ini memungkinkan perencana kota untuk memantau, menganalisis, mengendalikan, dan mengoptimalkan sistem lalu lintas dengan cara yang lebih efisien dan hemat biaya dibandingkan dengan alat perencanaan dan manajemen tradisional.

Untuk mengilustrasikan dampak teknologi DT pada manajemen lalu lintas perkotaan, pertimbangkan dua DT berbeda yang dapat dibuat oleh perencana: satu untuk lapisan infrastruktur yang mendasarinya dan satu lagi untuk pengguna akhir. Mitra virtual ini dapat digunakan secara independen atau bersama-sama. Dalam kedua kasus, penting untuk menjaga isolasi yang kuat di antara mereka untuk mencegah data dari satu DT terpapar ke yang lain. DT ini memungkinkan perencana kota untuk melakukan pengujian sistem virtual sebelum menerapkan perubahan di dunia nyata. Pelajaran yang dipetik dari lingkungan virtual dapat sangat berharga untuk mengoptimalkan kinerja dan pengoperasian sistem lalu lintas fisik. DT dari lapisan infrastruktur yang mendasarinya dapat memvisualisasikan komponen fisik dari sistem lalu lintas perkotaan, untuk mengelola semua elemen dan sumber daya yang terlibat secara mandiri. Kembaran digital infrastruktur ini dapat dicapai melalui beberapa fase. Misalnya, beberapa DT untuk jaringan jalan, sinyal lalu lintas, dan sistem transportasi umum dapat dibuat dan kemudian digabungkan untuk membentuk DT terintegrasi untuk seluruh infrastruktur lalu lintas perkotaan. Contoh spesifik adalah DT jaringan jalan, yang dapat dibuat untuk memfasilitasi pengelolaan jalan perkotaan yang efektif. DT ini meliputi berbagai sumber daya fisik seperti sinyal lalu lintas, kamera pengintai, sensor jalan, dan rambu-rambu lalu lintas. Fungsi manajemen jaringan jalan mengumpulkan data yang terkait dengan kinerja, fungsionalitas, dan operasi, yang dapat dianalisis menggunakan algoritma *machine learning* dan dimasukkan ke dalam DT. Melihat DT jaringan jalan sebagai replika komponen ini memungkinkan pengelola lalu lintas untuk melakukan pemeliharaan prediktif, meningkatkan kinerja, dan mengoptimalkan operasi, termasuk arus lalu lintas, manajemen kemacetan, dan respons insiden.

DT untuk pengguna akhir dapat mensimulasikan area cakupan, mengantisipasi kualitas layanan dan kualitas pengalaman yang diperlukan untuk komuter dan pejalan kaki secara *real-time*, memberikan pembaruan status yang akurat tentang keadaan operasional lalu lintas saat ini, dan mencegah kemacetan. Misalnya, DT untuk komuter perkotaan dapat memvisualisasikan data demografis, pola lalu lintas, dan mobilitas pengguna, memungkinkan perencana untuk memodelkan dan memprediksi lingkungan operasi dengan akurasi tinggi. Demikian pula, DT untuk pengguna akhir ini dapat memvisualisasikan jaringan jalan, sinyal lalu lintas, batas kecepatan, jam sibuk, dan pengukuran lainnya. Karakteristik DT untuk pengguna akhir ini membantu meningkatkan manajemen lalu lintas, meningkatkan penyampaian layanan kepada pengguna, dan mengoptimalkan operasi di wilayah perkotaan tertentu. Untuk memungkinkan perencana kota merancang dan mengimplementasikan DT ini atau jenis DT lainnya untuk manajemen lalu lintas, beberapa persyaratan harus dipenuhi. Pertama, setiap DT harus secara akurat mereplikasi perilaku objek fisik dengan menangkap konfigurasi lalu lintas, infrastruktur jaringan jalan, volume lalu lintas, dan dinamikanya. Kedua, perangkat lunak dan alat untuk kembar digital harus dapat secara otomatis menciptakan, mengelola, dan menghentikan DTs secara efisien. Ketiga, DT harus mampu terkoneksi dengan model perangkat lunak kembar digital lainnya untuk mengevaluasi skenario operasional yang masuk akal secara *real time*. Keempat, DT harus menggunakan teknik simulasi untuk mencapai kecepatan eksekusi lebih cepat daripada *real-time*. Akhirnya, DT harus menyediakan piranti untuk memvisualisasikan data lalu lintas, infrastruktur, dan aktivitas pengguna secara efisien, memungkinkan analis dan perencana untuk mendapatkan wawasan mendalam tentang operasi sistem lalu lintas perkotaan. Selain itu, piranti tersebut harus menghasilkan statistik terperinci dan laporan tepat waktu untuk membandingkan berbagai opsi skenario.

### **Masa Depan Mobilitas Perkotaan**

AI dan DT memiliki potensi besar untuk mengubah manajemen lalu lintas perkotaan. Dengan berbasiskan pada pengambilan keputusan berbasis data, simulasi berbagai skenario, dan pemantauan lalu lintas *real-time*, AI dan DT membuka jalan bagi arus lalu lintas yang lebih lancar, mengurangi kemacetan, dan pada akhirnya, sistem transportasi perkotaan yang lebih efisien dan berkelanjutan.

Beberapa implementasi DT yang berhasil, diantaranya Singapura, Melbourne, Dubai, London, Barcelona, Helsinki dan Amsterdam. Singapura telah secara efektif menerapkan teknologi DT untuk membuat replika virtual yang disebut Virtual Singapore (Ignatius, Wong, Martin, & Chen, 2019). DT mereplikasi semua bangunan, jalan, utilitas, serta data lalu lintas lingkungan dan manusia, dan terus diperbarui untuk mencerminkan perubahan kota. DT membantu pihak berwenang dalam perencanaan kota, manajemen bencana, dan alokasi sumber daya, yang pada akhirnya meningkatkan keberlanjutan sambil mengakomodir pertumbuhan populasi di ruang terbatas. Melbourne memanfaatkan teknologi DT untuk meningkatkan sistem transportasi umum (Allan, Rajabifard, & Foliente, 2024). DT dari jaringan kereta mensimulasikan skenario lalu lintas dan mengoptimalkan jadwal kereta. Dubai menggunakan teknologi DT untuk meningkatkan efisiensi infrastruktur energi (Dulaimi, Hamida, Naser, & Mawed, 2022). DT dari jaringan listrik mensimulasikan skenario bencana dan mengidentifikasi kerentanan. London menggunakan teknologi DT untuk mengoptimalkan sistem pengelolaan limbahnya. DT melacak aliran limbah, mengidentifikasi kemacetan, dan mengoptimalkan rute pengumpulan (Marin, 2024). Barcelona memanfaatkan teknologi DT untuk meningkatkan pengelolaan sumber daya air. Jaringan air DT kota melacak penggunaan, mengidentifikasi kebocoran, dan mengoptimalkan sistem distribusi (Argota Sánchez-Vaquerizo, 2022). Helsinki menggunakan teknologi DT untuk meningkatkan manajemen sistem lalu lintas (Hämäläinen, 2020a). DT



mensimulasikan berbagai skenario lalu lintas dan mengoptimalkan arus lalu lintas. Amsterdam menggunakan teknologi DT untuk mengelola sistem energinya. DT melacak konsumsi energi, mengidentifikasi inefisiensi, dan mengoptimalkan distribusi energi. Contoh-contoh kasus ini menggambarkan beragam aplikasi teknologi DT dalam perencanaan dan pengelolaan kota dan lalu lintas, menekankan potensinya untuk meningkatkan efisiensi, keberlanjutan, dan ketahanan kota di seluruh dunia.

## KESIMPULAN

Kemajuan teknologi AI dan DT memberikan pendekatan inovatif untuk perencanaan transportasi perkotaan, memungkinkan simulasi, analisis, dan optimasi sistem secara akurat. Teknologi ini menciptakan model virtual jaringan transportasi yang membantu pemangku kepentingan memahami sistem secara komprehensif, mengeksplorasi skenario, dan menguji intervensi dalam lingkungan virtual. Studi kasus menunjukkan bahwa AI dan DT dapat meningkatkan perencanaan, keterlibatan pemangku kepentingan, dan kolaborasi antar departemen, serta pengambilan keputusan berbasis data. Meskipun AI dan DT memiliki potensi besar untuk menciptakan sistem transportasi cerdas dan solusi mobilitas yang efisien dan berkelanjutan, terdapat tantangan terkait privasi data, pendanaan, dan ketersediaan sumber daya manusia. Penelitian lebih lanjut diperlukan untuk mengatasi kendala ini dan mengoptimalkan potensi AI dan DT dalam transformasi sistem transportasi perkotaan.

### Pertanyaan dan Diskusi

Beberapa pertanyaan sebagai bahan diskusi dan kajian lebih lanjut untuk refleksi.

#### 1. Potensi Keuntungan:

- Bagaimana AI dan DT dapat meningkatkan proses pengambilan keputusan dalam perencanaan transportasi perkotaan?
- Bagaimana AI dan DT dapat memfasilitasi keterlibatan pemangku kepentingan dan kolaborasi antar departemen?

#### 2. Tantangan dan Keterbatasan:

- Apa kekhawatiran utama terkait dengan penggunaan teknologi AI dan DT, seperti pengumpulan data dan masalah privasi?
- Bagaimana kota dapat mengatasi tantangan yang terkait dengan peningkatan berkelanjutan, pemeliharaan, dan ketersediaan sumber daya manusia?

#### 3. Penelitian dan Pengembangan Masa Depan:

- Bidang penelitian lebih lanjut apa yang penting untuk membuka potensi penuh AI dan DT dalam perencanaan transportasi perkotaan?
- Bagaimana kota dapat menyeimbangkan investasi dalam teknologi AI dan DT dengan manfaat jangka panjang yang diharapkan?

#### 4. Analisis Komparatif:

- Bagaimana pengalaman kota-kota di dunia dengan AI dan DT memberikan pelajaran bagi Jakarta dalam mempertimbangkan teknologi ini?
- Faktor apa yang berkontribusi terhadap keberhasilan atau tantangan yang dihadapi oleh kota-kota ini dalam menerapkan AI dan DT?

#### 5. Dampak pada Mobilitas Perkotaan:

- Bagaimana AI dan DT dapat berkontribusi dalam menciptakan solusi mobilitas perkotaan yang lebih efisien dan berkelanjutan?
- Dengan cara apa AI dan DT dapat mendukung pengembangan sistem transportasi

ramah lingkungan?

#### 6. Keterlibatan Pemangku Kepentingan:

- Bagaimana sifat interaktif AI dan DT dapat memberdayakan berbagai pemangku kepentingan, termasuk pemerintah, bisnis, dan masyarakat, untuk berpartisipasi dalam perencanaan transportasi?
- Strategi apa yang dapat digunakan untuk memastikan keterlibatan pemangku kepentingan yang aktif dan bermakna?

## REKOMENDASI KEBIJAKAN (*POLICY BRIEF*)

Untuk mengatasi kemacetan, inefisiensi, dan polusi lalu lintas, berikut beberapa rekomendasi kebijakan dalam mengadopsi teknologi AI dan DT untuk simulasi, analisis, dan optimasi sistem transportasi di Jakarta:

1. Membuat Strategi AI dan DT yang Komprehensif:
2. Membentuk *task force* untuk kajian implementasi AI dan DT.
3. Kolaborasi dengan penyedia teknologi dan perguruan tinggi.
4. Investasi dalam Infrastruktur dan Teknologi:
5. Pasang sensor IoT dan sistem pengumpulan data di seluruh jaringan transportasi.
6. Terapkan analitik big data dan AI untuk pemrosesan data real-time.
7. Tata Kelola dan Keamanan Data:
8. Pastikan privasi dan keamanan data.
9. Kembangkan kebijakan berbagi data dan integrasi antar pemangku kepentingan.
10. Proyek Percontohan dan Penerapan Skala Besar:
11. Lakukan proyek percontohan di beberapa lokasi.
12. Terapkan pada skala besar berdasarkan hasil yang sukses.
13. Sosialisasi dan Keterlibatan Publik:
14. Sosialisasikan manfaat AI dan DT.
15. Libatkan warga dalam perencanaan melalui platform interaktif.
16. Sumber Pendanaan dan Kemitraan.
17. Jajaki pendanaan dari sumber nasional dan internasional.
18. Bentuk kemitraan dengan sektor swasta dan kota-kota internasional yang sukses.

Dengan memanfaatkan AI dan DT, Jakarta diharapkan menjadi model mobilitas perkotaan yang cerdas dan berkelanjutan, menjadikannya kota yang modern dan efisien.

## DAFTAR PUSTAKA

- Allan, M., Rajabifard, A., & Foliente, G. (2024). Urban regeneration and placemaking: a Digital Twin enhanced performance-based framework for Melbourne's Greenline Project? *Australian Planner*. <https://doi.org/10.1080/07293682.2024.2342793>
- Argota Sánchez-Vaquerizo, J. (2022). Getting Real: The Challenge of Building and Validating a Large-Scale Digital Twin of Barcelona's Traffic with Empirical Data. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 11(1). <https://doi.org/10.3390/ijgi11010024>
- Badan Pusat Statistik. (2020). *Hasil Sensus Penduduk 2020 Provinsi DKI Jakarta*. Jakarta. Retrieved from <https://jakarta.bps.go.id/pressrelease/2021/01/22/541/jumlah-penduduk-hasil-sp2020-provinsi-dki-jakarta-sebesar-10-56-juta-jiwa.html>
- Calvio, A., Jindal, A., Bujari, A., Aujla, G. S., & Foschini, L. (2023). A Simulation-based Decision Support System for Urban Traffic Management. *IEEE International Workshop on Computer Aided Modeling and Design of Communication Links and Networks, CAMAD*, 128–133.

- Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc.  
<https://doi.org/10.1109/CAMAD59638.2023.10478428>
- CNBC Indonesia [Internet]. (2024). Jokowi Ungkap Kemacetan Jabodetabek Bikin Rugi Rp 100 Triliun. Retrieved May 17, 2024, from [www.cnbcindonesia.com](https://www.cnbcindonesia.com) website: <https://cnbcindonesia.com/news/20240203152506-4-511441/jokowi-ungkap-kemacetan-jabodetabek-bikin-rugi-rp-100-triliun>
- Deren, L., Wenbo, Y., & Zhenfeng, S. (2021). Smart city based on digital twins. *Computational Urban Science*, 1(1). <https://doi.org/10.1007/s43762-021-00005-y>
- Dulaimi, A., Hamida, R., Naser, M., & Mawed, M. (2022). Digital Twin Solution Implemented on Energy Hub to Foster Sustainable Smart Energy City, Case Study of Sustainable Smart Energy Hub. *ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 10(4/W3-2022), 41–48. Copernicus Publications. <https://doi.org/10.5194/isprs-annals-X-4-W3-2022-41-2022>
- Faliagka, E., Christopoulou, E., Ringas, D., Politi, T., Kostis, N., Leonardos, D., ... Voros, N. (2024). Trends in Digital Twin Framework Architectures for Smart Cities: A Case Study in Smart Mobility. *Sensors*, 24(5). <https://doi.org/10.3390/s24051665>
- Gracias, J. S., Parnell, G. S., Specking, E., Pohl, E. A., & Buchanan, R. (2023, August 1). Smart Cities—A Structured Literature Review. *Smart Cities*, Vol. 6, pp. 1719–1743. Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI). <https://doi.org/10.3390/smartcities6040080>
- Hämäläinen, M. (2020a). A Framework for a Smart City Design: Digital Transformation in the Helsinki Smart City. In *Contributions to Management Science* (pp. 63–86). Springer. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-23604-5\\_5](https://doi.org/10.1007/978-3-030-23604-5_5)
- Hämäläinen, M. (2020b). Smart City Development with Digital Twin Technology. *Proceedings - 33rd BLED EConference, Enabling Technology for a Sustainable Society*. <https://doi.org/https://doi.org/10.18690/978-961-286-362-3.20>
- Ignatius, M., Wong, N. H., Martin, M., & Chen, S. (2019). Virtual Singapore integration with energy simulation and canopy modelling for climate assessment. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 294(1). Institute of Physics Publishing. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/294/1/012018>
- Kadkhodayi, A., Jabeli, M., Aghdam, H., & Mirbakhsh, S. (2023). Artificial Intelligence-Based Real-Time Traffic Management. *J Electrical Electron Eng*, 2(4), 368–373.
- Kušić, K., Schumann, R., & Ivanjko, E. (2023). A digital twin in transportation: Real-time synergy of traffic data streams and simulation for virtualizing motorway dynamics. *Advanced Engineering Informatics*, 55. <https://doi.org/10.1016/j.aei.2022.101858>
- Kusumawati, D., Setiawan, D., & Suryanegara, M. (2017). Spectrum Requirement for IoT Services: A Case of Jakarta Smart City. *IEEE International Conference on Communication, Networks and Satellite (Commnetsat)*, 12–25.
- Luusua, A., Ylipulli, J., Foth, M., & Aurigi, A. (2023, June 1). Urban AI: understanding the emerging role of artificial intelligence in smart cities. *AI and Society*, Vol. 38, pp. 1039–1044. Springer Science and Business Media Deutschland GmbH. <https://doi.org/10.1007/s00146-022-01537-5>
- Maisonobe, M. (2022). The future of urban models in the Big Data and AI era: a bibliometric analysis (2000–2019). *AI and Society*, 37(1), 177–194. <https://doi.org/10.1007/s00146-021-01166-4>
- Marai, O. El, Taleb, T., & Song, J. (2021). Roads Infrastructure Digital Twin: A Step Toward Smarter Cities Realization. *IEEE Network*, 35(2), 136–143. <https://doi.org/10.1109/MNET.011.2000398>
- Marin, G. G. (2024). Digital Twin: an Emerging Tool for Urban Planning and Design. *Urbanism. Architecture. Constructions*, 15(1), 1–26.
- Mehmood, Y., Ahmad, F., Yaqoob, I., Adhane, A., Imran, M., & Guizani, S. (2017). Internet-of-Things-Based Smart Cities: Recent Advances and Challenges. *IEEE Communications Magazine*, 55(9), 16–24. <https://doi.org/10.1109/MCOM.2017.1600514>
- Nikitas, A., Michalakopoulou, K., Njoya, E. T., & Karampatzakis, D. (2020). Artificial intelligence, transport and the smart city: Definitions and dimensions of a new mobility era. *Sustainability (Switzerland)*, 12(7), 1–19. <https://doi.org/10.3390/su12072789>

- Ouallane, A. A., Bahnasse, A., Bakali, A., & Talea, M. (2021). Overview of Road Traffic Management Solutions based on IoT and AI. *Procedia Computer Science*, 198, 518–523. Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2021.12.279>
- Sharifi, A., Allam, Z., Bibri, S. E., & Khavarian-Garmsir, A. R. (2024). Smart cities and sustainable development goals (SDGs): A systematic literature review of co-benefits and trade-offs. *Cities*, 146. <https://doi.org/10.1016/j.cities.2023.104659>
- Syalianda, S. I., & Kusumastuti, R. D. (2021). Implementation of smart city concept: A case of Jakarta Smart City, Indonesia. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 716(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/716/1/012128>
- Van Den Berghe, S. (2021). A processing architecture for real-time predictive smart city digital twins. *Proceedings - 2021 IEEE International Conference on Big Data, Big Data 2021*, 2867–2874. Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc. <https://doi.org/10.1109/BigData52589.2021.9671660>
- Wang, Z., Han, K., & Tiwari, P. (2021). Digital twin simulation of connected and automated vehicles with the unity game engine. *Proceedings 2021 IEEE 1st International Conference on Digital Twins and Parallel Intelligence, DTPI 2021*, 180–183. Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc. <https://doi.org/10.1109/DTPI52967.2021.9540074>
- Xu, H., Berres, A., Yoginath, S. B., Sorensen, H., Nugent, P. J., Severino, J., ... Sanyal, J. (2023). Smart Mobility in the Cloud: Enabling Real-Time Situational Awareness and Cyber-Physical Control Through a Digital Twin for Traffic. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 24(3), 3145–3156. <https://doi.org/10.1109/TITS.2022.3226746>

# Penerbit Gunadarma





## MEMACU PERUBAHAN: MEMANFAATKAN AI UNTUK MENGATASI TANTANGAN TRANSPORTASI JAKARTA DARI PERSPEKTIF SUMBER DAYA & REGULASI

**Alex Iskandar Munaf<sup>1\*</sup>, Deddy Mahyarto Kresnoputro<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Sekolah Tinggi Manajemen IPMI, Jakarta 12750, Indonesia

<sup>2</sup>Sekolah Tinggi Manajemen IPMI, Jakarta 12750, Indonesia

\*Penulis Koresponden, e-mail: [deddy.kresnoputro@ipmi.ac.id](mailto:deddy.kresnoputro@ipmi.ac.id)

### ABSTRAK

Transportasi memainkan peran krusial dalam mendukung pertumbuhan sebuah kawasan, namun dengan pertumbuhan yang pesat sering kali muncul masalah yang kontra-produktif. Jakarta, sebagai salah satu kota metropolitan yang besar, menghadapi tantangan yang kompleks dalam sektor transportasinya. Dampak dari masalah transportasi ini meliputi pemborosan bahan bakar, peningkatan tingkat stres dan kelelahan, penurunan produktivitas, serta beragam permasalahan lainnya. Sebagaimana dilaporkan oleh CNBC Indonesia, Masyarakat Transportasi Indonesia (MTI) mencatat kerugian ekonomi akibat kemacetan lalu lintas di Kota Jakarta mencapai Rp 65 triliun per tahun. Meskipun telah dilakukan berbagai upaya, seperti peningkatan kenyamanan transportasi publik, pengenalan moda transportasi baru, rekayasa jam kerja, penerapan kebijakan ganjil genap, dan sebagainya, hingga akhir tahun 2023 belum terlihat hasil yang signifikan. Jakarta masuk dalam ranking 10 kota dengan tingkat kemacetan tertinggi di Indonesia. Bab ini bertujuan untuk mengulas potensi dan tantangan teknologi kecerdasan buatan (AI) dalam mengatasi kemacetan Jakarta, sesuai dengan semangat Jakarta Smart City, secara lebih efektif, baik dalam mendukung transportasi publik maupun mengatur kendaraan pribadi. Buku ini akan bermanfaat untuk memberikan gambaran tentang bagaimana penggunaan AI secara lebih luas untuk mengatasi tantangan transportasi seperti kemacetan dan pelanggaran lalu lintas dengan lebih signifikan. Metode penulisan bab ini adalah dengan menggunakan studi literatur sistematis (Systematic Literature Review) yang mencari database dari berbagai referensi, seperti jurnal penelitian, review jurnal, laporan tahunan, dan artikel-artikel baik dari artikel sains dan media massa, serta melalui diskusi interaktif yang dilakukan dengan para pengguna dan pengamat transportasi dan praktisi kecerdasan artifisial. Dalam upaya mengatasi kemacetan, Pemerintah Provinsi DKI Jakarta telah menerapkan Electronic Traffic Law Enforcement (ETLE) dan Network Operation Centre (NOC) Intelligent Traffic Light System (ITS). Kedua teknologi tersebut dianggap berhasil mengurangi tingkat kemacetan, dengan ETLE membuat pengendara lebih patuh terhadap peraturan lalu lintas dan NOC-ITS mengatur lampu lalu lintas secara otomatis berdasarkan informasi kepadatan lalu lintas.

Kata Kunci: *Artificial Intelligence*, Jakarta, Kecerdasan Buatan, Regulasi, *Smart city*, Transportasi, Sumber Daya.

### PENDAHULUAN

Kita memasuki era dimana revolusi digital berkembang secara terus menerus. Dalam hal ini, Jakarta telah mengambil langkah yang besar dalam penggunaan teknologi Artificial Intelligence (AI) untuk optimalisasi pengelolaan sektor transportasi. Kepadatan penduduk yang tinggi tentunya memicu pergerakan lalu lintas yang tinggi pula, dan hal tersebut telah membuat Jakarta menjadi “kelinci percobaan” dalam mengukur berbagai inovasi AI di bidang transportasi. Book chapter ini akan membahas kondisi persiapan sumber daya dan regulasi saat ini di Jakarta, serta menggarisbawahi prioritas strategis dalam penerapan AI di sektor transportasi selama lima tahun mendatang. Saat ini, Jakarta telah mengimplementasikan beberapa inovasi dalam memanfaatkan teknologi AI untuk meningkatkan kinerja sistem transportasi. Beberapa inisiatif yang telah dilakukan oleh pemerintah dan perusahaan swasta termasuk penerapan sistem pengendali lalu



lintas berbasis AI dan penggunaan data terbuka untuk memperkirakan arus lalu lintas. Namun, masih banyak tantangan yang harus dihadapi dalam memastikan penerapan AI yang efektif dan berkelanjutan. Prioritas strategis yang akan diuraikan dalam book chapter ini meliputi:

- Pengembangan sumber daya manusia yang berpengalaman dalam bidang AI dan transportasi.
- Memperluas akses dan penggunaan data terbuka untuk mendukung model AI dalam pengambilan keputusan transportasi.
- Memperkuat kerjasama antara pemerintah, perusahaan swasta, dan institusi pendidikan untuk membangun ekosistem AI yang kuat.
- Memperkenalkan regulasi yang jelas dan berorientasi pada inovasi untuk memastikan penerapan AI yang bertanggung jawab dan efektif.
- Melakukan investasi strategis dalam infrastruktur dan teknologi yang diperlukan untuk mendukung penerapan AI dalam transportasi.

Dalam lima tahun mendatang, penerapan AI di sektor transportasi Jakarta diharapkan membawa perubahan besar dalam meningkatkan kinerja sistem transportasi dan mengurangi beban lalu lintas. Dengan memanfaatkan sumber daya dan regulasi yang tepat, Jakarta bisa menjadi model bagi penerapan AI di sektor transportasi di seluruh dunia.

## **STATE OF THE ART**

Penulis mengangkat judul ini karena masih minimnya pembahasan terkait regulasi dan sumber daya yang dibutuhkan dalam penerapan AI, khususnya dalam bidang Transportasi. Prof. Ramli (2023) menuliskan bahwa Uni Eropa menjadi yang pertama dalam merumuskan undang-undang terkait dengan penggunaan AI. Undang-undang tersebut diharapkan dapat melindungi hak-hak sipil dan kemanusiaan, namun di sisi lain juga diharapkan dapat mendorong inovasi dan ekonomi mengikuti perubahan jaman dengan berkembangnya transformasi digital. UU ini juga akan menjadi dasar bagi UU yang akan berlaku di seluruh dunia, termasuk di Indonesia. Sumber daya diangkat oleh penulis karena penulis ingin menyikapi sejauh mana Jakarta perlu mengembangkan sumber daya untuk dapat menerapkan penggunaan AI untuk pengelolaan transportasi. Menurut Herath dan Mittal (2022), kota-kota cerdas modern memanfaatkan berbagai macam teknologi dan mendukung perkembangan yang dapat membantu kota-kota tersebut mencapai tujuan sosial-ekonomi jangka panjang dan potensi.

## **PEMBAHASAN**

### **PENGEMBANGAN SUMBER DAYA MANUSIA YANG BERPENGALAMAN DALAM BIDANG AI DAN TRANSPORTASI**

Menurut Solihati dan Indriyani (2021), Penggunaan AI di sektor transportasi umum diharapkan dapat meningkatkan kualitas dan kuantitas layanan untuk meminimalkan penggunaan kendaraan pribadi dan mengurangi potensi kerugian lainnya. Tidak dipungkiri lagi bahwa AI dapat memberikan manfaat yang tak terhingga bagi bidang transportasi. Terutama di kota-kota besar dengan tingkat kepadatan penduduk yang tinggi dan kebutuhan transportasi yang meningkat cepat. Contohnya Jakarta dan Manila. Dengan tingkat kemacetan yang sudah tidak terkendali, tentunya AI dapat memberikan solusi yang baik. Tantangan yang cukup nyata untuk solusi ini adalah kesiapan dari sumber daya manusia. Seberapa jauh pemahaman warga di kota besar mengenai penggunaan dan manfaat dari AI itu sendiri. Kecerdasan Buatan (AI) hanyalah



alat, sebuah penggerak. Keberhasilannya dalam mengubah cara kita melakukan bisnis sepenuhnya bergantung pada kemampuan Manusia (Gilonan & Meers, 2024). Untuk dapat membuat sumber daya manusia siap menggunakan AI, berikut beberapa hal yang perlu dilakukan:

1. Pengembangan/pelatihan keterampilan – mempelajari cara menggunakan AI, kesiapan data dan proses, serta penggunaan wawasan AI secara kolaboratif penting dalam keberhasilan implementasi AI.
2. Pengelolaan tuntutan (demand) – memiliki prioritas yang jelas tentang apa yang akan difokuskan dari AI.
3. Penyesuaian Sumber Daya – pastikan tersedianya sumber daya untuk mendukung implementasi AI.

Transportasi merupakan sarana utama pergerakan dan pertumbuhan ekonomi di Jakarta, sehingga tidak perlu diragukan sumber daya manusia yang memahami sektor transportasi sudah pasti tersedia. Tidak hanya dari kedinasan dan kementerian, pemerintah menggandeng perguruan tinggi untuk mencari solusi terbaik dalam penanganan transportasi di Jakarta. Untuk menuju *Smart City*, maka pemahaman akan potensi AI perlu ditingkatkan dan dikuasai oleh para implementor bidang transportasi. Dalam upaya mengatasi kemacetan, Pemerintah Provinsi DKI Jakarta telah menerapkan dua teknologi berbasis kecerdasan buatan (AI) yaitu *Electronic Traffic Law Enforcement* (ETLE) dan *Network Operation Centre* (NOC), *Intelligent Traffic Light System* (ITS). Masing-masing teknologi ini memiliki fungsi sebagai berikut:

1. *Electronic Traffic Law Enforcement* (ETLE):

- Fungsi: ETLE digunakan untuk menegakkan peraturan lalu lintas secara elektronik. Kamera dan sensor AI dipasang di berbagai titik di jalanan untuk memantau pelanggaran lalu lintas seperti menerobos lampu merah, melanggar garis marka jalan, dan menggunakan ponsel saat berkendara.
- Hasil: Dengan penerapan ETLE, pengendara menjadi lebih patuh terhadap peraturan lalu lintas karena mereka tahu bahwa setiap pelanggaran akan terdeteksi dan dikenai sanksi secara otomatis. Hal ini membantu mengurangi perilaku berkendara yang dapat menyebabkan kemacetan.

2. *Network Operation Centre* (NOC) *Intelligent Traffic Light System* (ITS):

- Fungsi: NOC-ITS digunakan untuk mengendalikan lampu lalu lintas secara otomatis sesuai dengan lalu lintas yang diperoleh dari sensor dan kamera yang terhubung dengan pusat operasi. Sistem ini menganalisis data real-time tentang volume kendaraan di berbagai persimpangan dan menyesuaikan durasi lampu hijau, kuning, dan merah secara dinamis untuk mengoptimalkan aliran lalu lintas.
- Hasil: Dengan NOC-ITS, lampu lalu lintas dapat berubah sesuai kebutuhan berdasarkan kepadatan lalu lintas, sehingga mengurangi kemacetan di persimpangan yang padat dan memperlancar arus lalu lintas di seluruh kota.

Kedua teknologi ini dianggap berhasil mengurangi tingkat kemacetan di Jakarta dengan cara masing-masing: ETLE meningkatkan kepatuhan pengendara terhadap peraturan lalu lintas, sementara NOC-ITS mengendalikan lampu lalu lintas dengan efisien sesuai dengan data kepadatan lalu lintas.

## MEMPERLUAS AKSES DAN PENGGUNAAN DATA TERBUKA UNTUK MENDUKUNG MODEL AI DALAM PENGAMBILAN KEPUTUSAN TRANSPORTASI

Dalam artikel yang ditulis setelah kunjungannya ke Shenzhen pada tahun 2018, Bintoro Agung menyatakan bahwa Huawei yakin AI mampu menekan biaya transportasi hingga 56 persen dan

juga menekan angka kemacetan hingga 86 persen. Hal ini dapat tercapai jika akses data dibuat terbuka dan diintegrasikan melalui berbagai perangkat AI. William Xu, Chief Strategy Marketing Huawei, melakukan studi di sejumlah kota dunia. Di Yanbu, terjadi penghematan anggaran sebesar 20 persen untuk pemeliharaan jalan dan 30 persen untuk penerangan. Hasilnya, angka kecelakaan menurun drastis dan mendorong pertumbuhan investasi sebesar 16 persen pada tahun 2017.

Di Nairobi, Kenya, implementasi AI berhasil mengurangi angka kejahatan sampai 46 persen di tahun yang sama. Kuncinya adalah keterbukaan informasi yang diolah melalui multi-tools berbasis AI serta akses informasi bagi publik. Penerapan AI dalam memprediksi lalu lintas tidak akan efektif jika informasi tidak dapat diakses oleh masyarakat luas. Google menyediakan Google Maps yang dapat diakses secara bebas agar pengguna jalan dapat mengambil keputusan dalam berlalu lintas. Pemerintah Provinsi DKI Jakarta juga menggunakan teknologi AI, antara lain untuk operasional lampu lalu lintas (traffic light). Jakarta telah menggunakan AI dalam pengelolaan lalu lintas selama beberapa tahun. Menurut Kepala Seksi Lalu Lintas Jalan Suku Dinas Perhubungan Jakarta Selatan, Prisno Jogiara, mereka memiliki program baru bernama Intelligent Transport System (ITS) Traffic Light berbasis AI. Program ini memungkinkan lampu lalu lintas menghitung sendiri jumlah kendaraan yang lewat.

Jogi menjelaskan bahwa sistem kecerdasan buatan ini dapat menghitung jumlah kendaraan dan mengatur antrean secara otomatis. Jadi, jika ada kemacetan di satu persimpangan, lampu lalu lintas di sana akan cepat berubah hijau untuk mengurai kemacetan.

Dengan teknologi AI ini, lalu lintas tidak perlu lagi diatur oleh petugas secara manual atau menggunakan pengeras suara di Area Traffic Control System (ATCS). Kepala Unit Pengelola Sistem Pengendalian Lalu Lintas Dinas Perhubungan (Dishub) Provinsi DKI Jakarta, Emanuel Kristanto, menyatakan bahwa penerapan teknologi AI ini adalah hasil kolaborasi dengan Google.

Mereka telah menandatangani nota kesepahaman pada November 2022 untuk proyek yang disebut Green Light. AI dari Google ini akan menganalisa kepadatan lalu lintas secara langsung atau real-time. Data dari analisis tersebut akan dikirim ke Dinas Perhubungan (Dishub) untuk mengatur waktu lampu lalu lintas di persimpangan. Data tersebut dikirim dan langsung diaplikasikan di lapangan. Dengan teknologi tersebut, durasi lampu lalu lintas akan berbeda setiap jam, sesuai dengan kondisi kepadatan kendaraan yang melintas.

## **MEMPERKUAT KERJASAMA ANTARA PEMERINTAH, PERUSAHAAN SWASTA, DAN INSTITUSI PENDIDIKAN UNTUK MEMBANGUN EKOSISTEM AI YANG KUAT**

AI merupakan hal yang sangat *powerful*, dan dianggap dapat mengatasi berbagai permasalahan di dunia ini. Namun untuk mendapatkan hasil yang optimal, tidak cukup hanya mengandalkan satu pihak. Dalam artikel di Bisnis.com, M. Faisal Nur Ikhsan menulis bahwa kerja sama dianggap menjadi hal yang paling penting untuk mempercepat AI di Indonesia. Diharapkan bahwa seluruh pemangku kepentingan untuk terlibat dalam upaya pengembangan AI yang bertanggung jawab di Indonesia.

Wakil Menteri Komunikasi dan Informatika, Nezar Patria, menyatakan bahwa AI tidak hanya memberikan manfaat, risiko seperti bias, halusinasi, dan potensi menggantikan peran manusia juga merupakan sesuatu yang harus dicermati. Seiring perkembangannya, AI telah mampu mengambil keputusan yang serupa dengan keputusan manusia, sehingga ada risiko bahwa

peran manusia bisa tergantikan oleh AI. Ia mencontohkan banyaknya pesawat dan mobil yang sekarang dapat dikendalikan tanpa intervensi manusia. Mesin dan fitur kecerdasan buatan dalam peralatan tersebut sudah bisa mengambil keputusan seperti manusia. Karena kompleksitas ini, menurutnya, pengembangan AI di Indonesia harus dilakukan secara kolaboratif dan tidak bisa hanya oleh Kemenkominfo. Perguruan tinggi memiliki peran penting dalam mengembangkan sumber daya manusia (SDM) di bidang digital atau talenta digital untuk dapat memberikan dukungan dalam hal riset dan inovasi di bidang AI dan komputasi awan (*cloud computing*).

Pendidikan memiliki peran kunci dalam pengembangan transformasi digital. Hal ini dilakukan melalui transformasi pendidikan 4.0 yang mencakup seluruh jenjang pendidikan, mulai dari pendidikan dasar hingga pendidikan tinggi, serta pendidikan non-formal. Pernyataan tersebut dikatakan oleh Direktur Jenderal Pendidikan Tinggi Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset dan Teknologi (Dirjen Dikti), Prof. Nizam. Dalam konteks ini, perguruan tinggi diharapkan dapat menyiapkan lulusan yang siap menghadapi tantangan dan peluang di era digital, dengan mengintegrasikan teknologi modern dan metodologi pembelajaran yang inovatif. Tujuannya adalah untuk menciptakan ekosistem pembelajaran yang mendukung pengembangan keterampilan dan pengetahuan yang relevan dengan kebutuhan industri dan masyarakat di era digital ini.

Pentingnya kolaborasi yang terpadu antara pemerintah, swasta, dan perguruan tinggi juga menjadi perhatian dari Presiden Joko Widodo dalam visi “Making Indonesia 4.0” yang digagas oleh beliau. Upaya penguatan kerja sama dengan sektor swasta dan universitas untuk menciptakan talenta berkualitas yang mampu bekerja di industri teknologi tinggi, seperti AI dan Cloud Computing Innovation Center dan Tokopedia AI Center of Excellence, menjadi salah satu inisiatif yang berdampak positif.

### **MEMPERKENALKAN REGULASI YANG JELAS DAN BERORIENTASI PADA INOVASI UNTUK MEMASTIKAN PENERAPAN AI YANG BERTANGGUNG JAWAB DAN EFEKTIF**

Meskipun penggunaan AI dalam pengelolaan transportasi secara spesifik dan implementasi Smart City secara umum sudah dilakukan, namun belum ada regulasi yang jelas mengenai penggunaan AI ini. M. Irfan Dwi Putra (2024) menuliskan bahwa hingga hari ini, Indonesia belum memiliki peraturan khusus untuk AI. Pada tahun 2020, pemerintah Indonesia menerbitkan Strategi Nasional Kecerdasan Artifisial Indonesia (Stranas KA) yang juga mencakup mengenai etika dan kebijakan AI, pengembangan sumber daya manusia di bidang AI, dan juga ekosistem data serta infrastruktur pengembangan AI. Hanya saja, Stranas AI bukanlah dokumen hukum yang mengikat, melainkan hanya arah kebijakan nasional saja. Namun, ini tidak berarti bahwa pemerintah Indonesia tidak mengatur teknologi AI. Ada beberapa peraturan terkait pemanfaatan teknologi AI di Indonesia, seperti Permenkominfo Nomor 3 Tahun 2021 yang mengatur aspek perizinan bagi pelaku usaha yang menggunakan AI.

Selain itu, Indonesia juga memiliki UU ITE lengkap dengan aturan turunannya yang mengatur tentang AI dengan terminologi agen elektronik. Indonesia juga memiliki UU Pelindungan Data Pribadi yang mengatur pemanfaatan AI yang menyangkut pemrosesan data pribadi. Panduan etika pemanfaatan AI bagi pelaku usaha juga sudah dikeluarkan oleh Kementerian Komunikasi dan Informatika (Kemenkominfo). Hal ini tertuang dalam Surat Edaran Menkominfo Nomor 9 Tahun 2023 tentang Etika Kecerdasan Artifisial.

Melihat pesatnya perkembangan dan penerapan AI baik oleh pemerintah maupun masyarakat, khususnya di bidang transportasi, perlu dirumuskan aturan hukum yang jelas agar penerapan AI di bidang transportasi ini memiliki dasar hukum yang jelas dan tidak disalah gunakan oleh pihak-pihak tertentu. Adanya landasan hukum yang jelas juga akan mempercepat penerapan AI dalam pengelolaan transportasi dan Smart City, dimana para pelaku AI memahami hal-hal yang boleh dan tidak boleh dilakukan dalam pengembangan yang mereka lakukan.

### **MELAKUKAN INVESTASI STRATEGIS DALAM INFRASTRUKTUR DAN TEKNOLOGI YANG DIPERLUKAN UNTUK MENDUKUNG PENERAPAN AI DALAM TRANSPORTASI**

Investasi menjadi kunci utama dalam pengembangan AI dalam transportasi di Jakarta. Bertumbuhnya berbagai startup di bidang AI dan perusahaan bidang teknologi yang mulai merambah AI menunjukkan bahwa minat masyarakat terhadap AI semakin tinggi. Bahkan beberapa ahli investasi mulai menyarankan investor untuk melakukan investasi di bidang-bidang terkait AI. Tidak hanya itu, beberapa perusahaan raksasa dunia yang bergerak di bidang teknologi juga mulai melirik Indonesia sebagai target investasi mereka untuk mengembangkan AI. Kristianti (2024) untuk Antara menuliskan bahwa Indonesia bakal memiliki Pusat Pengembangan kecerdasan buatan atau artificial intelligence (AI) bernama "Indonesia AI Nation" dengan investasi dari kolaborasi perusahaan teknologi senilai 200 juta dolar AS atau sekitar Rp3,1 triliun. Hal ini disampaikan oleh Menteri Komunikasi dan Informatika, Budi Arie Setiadi. Pusat Pengembangan AI ini akan dibangun di Solo Techno Park, dan akan di backing oleh NVIDIA dan Indosat Ooredoo Hutchison.

Akhir April lalu, Microsoft mengumumkan bahwa selama 4 tahun mendatang, perusahaan akan menginvestasikan US\$1,7 miliar untuk infrastruktur cloud dan AI baru di Indonesia, kesempatan pelatihan peningkatan keterampilan AI untuk 840.000 orang, dan berbagai bentuk dukungan bagi komunitas developer di Indonesia yang terus berkembang. Ini merupakan investasi tunggal terbesar dalam 29 tahun sejarah Microsoft di Indonesia. Memang untuk dapat menciptakan ekosistem yang tepat, investasi yang dibutuhkan tidaklah sedikit. Menurut Artificial Intelligence Center Indonesia (AICI), biaya pengembangan AI tidak hanya mencakup perangkat keras dan perangkat lunak, tetapi juga pengumpulan data, pelatihan model, dan pemeliharaan sistem.

### **KESIMPULAN**

Di Indonesia, ada dorongan besar untuk mengintegrasikan kecerdasan buatan (AI) ke berbagai sektor, termasuk transportasi, guna meningkatkan efisiensi dan keselamatan. Dinas Perhubungan Jakarta bekerja sama dengan Google untuk memasang 20 lampu lalu lintas bertenaga AI di seluruh kota, yang menggunakan AI untuk menganalisis durasi lampu hijau yang optimal berdasarkan jumlah kendaraan yang melewati segmen jalan dan perkiraan waktu mereka mencapai persimpangan berikutnya. Inisiatif ini bertujuan untuk mengurangi kemacetan lalu lintas, masalah yang kembali ke tingkat sebelum pandemi sejak pemerintah mencabut pembatasan aktivitas masyarakat terkait COVID-19. Dinas tersebut berencana untuk memperluas proyek ini dengan memasang lampu lalu lintas AI di 40 persimpangan lagi dalam tahun ini.

Pemerintah Indonesia juga mengambil langkah-langkah untuk memastikan AI digunakan secara bertanggung jawab dan menguntungkan semua pihak. Acara bertajuk “Making AI possible for all through pooling resources and regional collaboration” diadakan di Markas Besar PBB di New York pada 9 Mei 2024, yang menyoroti komitmen negara tersebut dalam mempromosikan pengembangan dan kolaborasi AI. Inisiatif-inisiatif ini mencerminkan tren yang lebih luas dalam industri transportasi, di mana AI dianggap sebagai teknologi transformatif yang dapat secara signifikan meningkatkan efisiensi, keselamatan, dan keberlanjutan dalam mobilitas perkotaan. Mulai dari mobil self-driving hingga taksi drone, AI menjanjikan revolusi dalam cara kita bergerak, menawarkan kemungkinan menarik untuk masa depan yang lebih efisien, aman, dan berkelanjutan.

## REKOMENDASI KEBIJAKAN (*POLICY BRIEF*)

Berikut adalah beberapa rekomendasi kebijakan yang perlu dikembangkan untuk mempercepat implementasi AI di bidang pengelolaan transportasi:

1. **Pengembangan Infrastruktur Data:** Menyediakan infrastruktur data yang kuat dan terintegrasi untuk mendukung penggunaan AI dalam pengaturan transportasi. Ini meliputi penyediaan sumber daya data yang berkualitas dan kemudahan akses bagi peneliti dan pengembang sistem AI.
2. **Peningkatan Keterlibatan Sektor Swasta:** Memperluas partisipasi sektor swasta dalam pengembangan dan penggunaan teknologi AI untuk transportasi. Ini bisa melalui program kerjasama dan investasi yang menguntungkan bagi pihak swasta.
3. **Peningkatan Keterampilan dan Pengetahuan Tenaga Kerja:** Memastikan bahwa tenaga kerja terkait pengaturan transportasi memiliki pengetahuan dan keterampilan yang cukup dalam bidang AI. Ini bisa dilakukan melalui program pendidikan dan pelatihan yang terfokus pada teknologi AI.
4. **Pemantauan dan Evaluasi Terpadu:** Melakukan pemantauan dan evaluasi terpadu atas sistem AI yang digunakan dalam pengaturan transportasi. Ini akan membantu menemukan perbaikan potensial dan memastikan sistem berjalan secara efisien dan efektif.
5. **Kebijakan Regulasi yang Pro-Inovasi:** Menetapkan regulasi yang mendukung dan mempercepat pengembangan dan penggunaan teknologi AI dalam pengaturan transportasi. Ini bisa meliputi mekanisme percepatan proses lisensi dan sertifikasi untuk produk dan layanan berbasis AI.
6. **Kebijakan Transparansi dan Keamanan Data:** Menetapkan kebijakan yang menjamin keamanan data dan transparansi dalam pengumpulan dan penggunaan data. Ini sangat penting untuk membangun kepercayaan masyarakat terhadap sistem AI.
7. **Kebijakan Inklusi dan Kesejahteraan Masyarakat:** Memastikan bahwa penggunaan teknologi AI dalam pengaturan transportasi memperhatikan kepentingan masyarakat luas, terutama bagi mereka yang rentan atau memiliki akses terbatas terhadap transportasi.

Hal-hal tersebut di atas meliputi aspek keamanan, kenyamanan, dan kemudahan akses bagi pengguna transportasi.



## DAFTAR PUSTAKA

- Agung, Bintoro. 2018. Laporan dari Shenzhen: Transportasi dan Kota Pintar Jadi 'Makanan Empuk' AI. CNN Indonesia
- Artificial Intelligence Center Indonesia. 2024. Aplikasi AI dalam Transportasi: Masa Depan Transportasi dengan Kecerdasan Buatan. <https://aici-umg.com/article/aplikasi-ai-dalam-transportasi/>
- Cabinet Secretariat of the Republic of Indonesia. 2021. National Police Launch Electronic Traffic Law Enforcement System. <https://setkab.go.id>
- Expat Life Indonesia. 2023. Electronic Traffic Law Enforcement (ETLE): Polri's High-Tech Solution to Traffic Violations. <https://expatlifeindonesia.com>
- Gilronan, Shawn, and Meers, Dan. 2024. Accelerating value with AI: Make your people AI-ready. <https://www.cohnreznick.com/insights/accelerating-value-make-your-people-ai-ready>
- H.M.K.K.M.B. Herath, Mamta Mittal, Adoption of artificial intelligence in smart cities: A comprehensive review, International Journal of Information Management Data Insights, Volume 2, Issue 1
- Ikhsan, M. Faisal Nur. 2024. Lanskap AI Kompleks, Kolaborasi Kunci Kembangkan Kecerdasan Buatan di RI. Bisnis Tekno. <https://teknologi.bisnis.com/read/20240308/84/1747863/lanskap-ai-kompleks-kolaborasi-kunci-kembangkan-kecerdasan-buatan-di-ri>
- Indonesia News Center. 2024. Microsoft umumkan investasi US\$1,7 miliar untuk dukung ambisi Cloud dan AI Indonesia. Microsoft News. <https://news.microsoft.com/id-id/2024/04/30/microsoft-umumkan-investasi-us17-miliar-untuk-dukung-ambisi-cloud-dan-ai-indonesia/>
- Kecerdasan Artifisial Indonesia. 2020. Strategi Nasional Kecerdasan Artifisial Indonesia 2020 – 2045. Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi.
- Kristianti, Livia. 2024. Pusat AI Indonesia bakal hadir dengan investasi sekitar Rp3,1 triliun. Antara. <https://www.antaranews.com/berita/4043289/pusat-ai-indonesia-bakal-hadir-dengan-investasi-sekitar-rp31-triliun>
- Nikitas, A.; Michalakopoulou, K.; Njoya, E.T.; Karampatzakis, D. Artificial Intelligence, Transport and the Smart City: Definitions and Dimensions of a New Mobility Era. Sustainability 2020, 12, 2789. <https://doi.org/10.3390/su12072789>
- Program Studi Matematika. 2023. Penerapan AI dan IoT dalam Smart City. Universitas Ahmad Dahlan. <https://tif.uad.ac.id/penerapan-ai-dan-iot-dalam-smart-city/>
- Putra, M. Irfan Dwi. 2024. Regulasi AI di Indonesia belum cukup, perlu aturan yang lebih spesifik. The Conversation. <https://theconversation.com/regulasi-ai-di-indonesia-belum-cukup-perlu-aturan-yang-lebih-spesifik-219827>
- Ramli, Ahmad M, 2023. UU Tentang Artificial Intelligence. Kompas.com. <https://www.kompas.com/tren/read/2023/05/13/071614165/uu-tentang-artificial-intelligence?page=all>
- Rapha, Albert Jehoshua. 2023. Momentum Pemanfaatan AI di Indonesia. Koran Tempo. <https://koran.tempo.co/read/ilmu-dan-teknologi/486084/momentum-pemanfaatan-ai-di-indonesia>
- Sachan, Alyssa. 2023. Teknologi AI Untuk Lalu Lintas Berhasil Kurangi Kemacetan Hingga 20 Persen. Metanesia by Telkom Indonesia. <https://metanesia.id/blog/teknologi-ai-untuk-lalu-lintas>
- Solihati, Keisha Dinya, and Indriyani, Dian, 2021, Managing Artificial Intelligence on Public Transportation (Case Study Jakarta City, Indonesia). IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci. 717 012021

- Tambunan, Muhammad Fadli. 2024. Artificial Intelligence Terhadap Industri Transportasi. Fakultas Teknologi Maju dan Multidisiplin Universitas Airlangga.  
<https://ftmm.unair.ac.id/artificial-intelligence-terhadap-industri-transportasi/>
- Waranggani, Arundati Swastika. 2022. Perguruan Tinggi Berperan Hadirkan SDM untuk Inovasi Cloud & Ai. Cloud Computing Indonesia.  
<https://www.cloudcomputing.id/berita/perguruan-tinggi-berperan-inovasi-cloud-ai>

# Penerbit Gunadarma





## MEMBUAT BANGUNAN PINTAR MENJADI LEBIH PINTAR DENGAN TEKNOLOGI ARTIFICIAL INTELLIGENCE

**Aryani Widyakusuma\***

Program Studi Arsitektur, Fakultas Teknik, Universitas Borobudur,  
Jakarta Timur 13410, Indonesia

\*Penulis Koresponden, e-mail: [aryaniwidyakusuma@alumni.ui.ac.id](mailto:aryaniwidyakusuma@alumni.ui.ac.id)

### ABSTRAK

Kecerdasan Buatan (AI) muncul sebagai pengubah permainan di bidang bangunan pintar. Dengan memanfaatkan algoritma pembelajaran mesin dan analisis data, AI memungkinkan bangunan untuk belajar, beradaptasi, dan mengoptimalkan operasi secara real-time. Bangunan pintar bertenaga AI unggul dalam manajemen energi, mengoptimalkan konsumsi berdasarkan data real-time, pola hunian, dan kondisi cuaca. Melalui analisis prediktif dan kontrol proaktif, algoritme AI mengidentifikasi peluang penghematan energi, mengurangi limbah, dan meminimalkan dampak terhadap lingkungan. Bangunan pintar yang dilengkapi dengan teknologi AI menghadirkan pengalaman penghuni lebih baik. Sistem yang didukung AI dapat menganalisis perilaku, preferensi, dan pola penghuni untuk mempersonalisasi kondisi lingkungan, seperti pencahayaan, suhu, dan kualitas udara. Algoritme AI memungkinkan bangunan pintar mendeteksi potensi masalah pemeliharaan dan kegagalan peralatan. Dengan terus memantau sistem bangunan dan menganalisis pola data, solusi bertenaga AI dapat memprediksi kebutuhan pemeliharaan dan memicu intervensi tepat waktu sehingga mengurangi waktu henti dan perbaikan yang mahal. Bangunan pintar yang didukung AI menghasilkan data yang dapat dimanfaatkan. Alat analisis tingkat lanjut memproses data ini untuk mengidentifikasi tren, pola, dan peluang pengoptimalan. Dengan memanfaatkan wawasan berbasis data, pemilik dan operator gedung dapat mengambil keputusan tepat untuk meningkatkan efisiensi, keberlanjutan, dan kinerja operasional. Tujuan bangunan pintar adalah Manajemen energi, mengurangi biaya, emisi karbon dan keberlanjutan. Manajemen kenyamanan menciptakan lingkungan kerja lebih menyenangkan, meningkatkan kesehatan dan kesejahteraan penghuni. Pengoptimalan sistem menghasilkan waktu operasional dan produktivitas lebih baik. Kunci untuk membuat bangunan pintar menjadi lebih baik adalah menggunakan data dengan benar. Bangunan pintar menghasilkan banyak data. Setiap detik, suhu, tekanan, status hidup atau mati masuk ke dalam sistem. Data bukan merupakan produk jadi sehingga dibutuhkan mesin untuk memproses dimana kecerdasan buatan digunakan. Data dalam jumlah besar sangat penting agar AI dapat bekerja dengan baik. Yang dapat dilakukan mesin namun tidak dapat dilakukan oleh manusia adalah memproses data tersebut dengan cukup cepat untuk mendapatkan hasil pada waktu yang tepat.

Kata Kunci: bangunan pintar, energi, teknologi, artificial intelligence, perilaku penghuni,

### PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi sedang mencapai era baru dalam hal konstruksi bangunan. Kantor tidak lagi cukup menyediakan ruang bagi pekerja untuk duduk di satu meja dan bekerja. Saat ini, berkat evolusi teknologi, sebuah bangunan dapat tidak hanya memberikan semua layanan yang dibutuhkan penghuninya, namun hal ini juga dapat dilakukan sambil membuat bangunan seefisien mungkin, meminimalkan biaya, dan meningkatkan penghematan energi sepanjang masa pakai bangunan. Era bangunan pintar telah tiba (Y. Strengers, 2017).

Bangunan pintar adalah struktur berteknologi maju yang menggabungkan berbagai sistem bangunan, termasuk HVAC, pencahayaan, alarm, dan keamanan, ke dalam satu infrastruktur jaringan yang dikelola oleh TI atau teknologi informasi. Bangunan pintar memanfaatkan solusi

inovatif untuk meningkatkan efisiensi sumber daya dan efektivitas biaya sekaligus memprioritaskan keselamatan dan kenyamanan penghuni. Bangunan-bangunan ini memanfaatkan kombinasi teknologi yang ada dan dirancang atau dipasang sedemikian rupa sehingga memungkinkan integrasi kemajuan teknologi di masa depan. Elemen kunci yang biasa ditemukan pada bangunan pintar meliputi: 1. Sensor Internet of Things (IoT), 2. sistem manajemen bangunan, 3. kecerdasan buatan (AI), 4. Augmented reality (AR). Mekanisme ini, bersama dengan robotika, digunakan untuk mengontrol dan mengoptimalkan kinerja bangunan. Pada tulisan dalam penelitian ini, akan dijelaskan lebih dalam tentang apa itu bangunan pintar dan bagaimana bangunan tersebut digunakan di dunia modern saat ini untuk menjadikan hidup dan bekerja pada bangunan menjadi lebih efisien dan saling terhubung.

## **STATE OF THE ART**

Bangunan cerdas adalah bangunan yang menggunakan teknologi untuk memungkinkan penggunaan sumber daya secara efisien dan ekonomis, sekaligus menciptakan lingkungan yang aman dan nyaman bagi penghuninya. Bangunan pintar dapat menggunakan beragam teknologi yang ada dan dirancang atau dipasang sedemikian rupa sehingga memungkinkan integrasi perkembangan teknologi di masa depan. Sensor Internet of Things (IoT), sistem manajemen gedung, kecerdasan buatan (AI), dan augmented reality adalah beberapa mekanisme dan robotika yang dapat digunakan dalam bangunan pintar untuk mengontrol dan mengoptimalkan kinerja. Bangunan cerdas memanfaatkan kecerdasan untuk mengumpulkan data berharga dari perangkat pengguna, sensor, sistem, dan layanan di lokasinya.

Penerbit Gunadarma

## **PEMBAHASAN**

### **TIPE-TIPE BANGUNAN PINTAR**

#### **Rumah pintar (*Smart Homes*)**

Dirancang khusus untuk meningkatkan keamanan dan kenyamanan penghuninya sekaligus memberikan kemudahan dalam mengendalikan berbagai peralatan rumah tangga dari jarak jauh. Mereka menggabungkan otomatisasi untuk jadwal pemeliharaan rumah, pemantauan energi, dan pengendalian sistem keamanan. Inti dari pengembangan rumah pintar terletak pada konsep teknologi bantu, yang secara tradisional mengacu pada alat bantu seperti kursi roda yang bertujuan membantu individu penyandang disabilitas dalam kehidupan sehari-hari.

Di era Internet of Things (IoT), cakupan teknologi pendukung telah meluas. Misalnya, teknologi bantu di rumah pintar mencakup perangkat yang memungkinkan penjadwalan otomatis untuk menghidupkan atau mematikan peralatan seperti lampu dan mesin cuci. Perangkat medis dan kesehatan pintar juga dianggap sebagai teknologi bantu dalam rumah pintar, yang memfasilitasi pemantauan jarak jauh terhadap warga lanjut usia atau orang sakit serta anak.

Sensor yang dapat dikenakan di rumah pintar memungkinkan pembukaan pintu otomatis, pemeliharaan suhu lingkungan, serta pemantauan dan analisis penggunaan energi. Dalam hal keamanan, rumah pintar menggunakan sensor yang dapat mendeteksi dan mengingatkan penghuni akan potensi kebocoran gas, kebocoran air, dan kerentanan keamanan. Sensor-sensor ini bertindak sebagai bagian integral dari infrastruktur keamanan, meningkatkan langkah-langkah keselamatan di dalam rumah (Gram-Hanssen, 2018).

Dengan menggabungkan teknologi dan sensor bantu tersebut, rumah pintar menawarkan solusi

komprehensif untuk mengatasi masalah keamanan, meningkatkan kenyamanan, dan mengoptimalkan penggunaan energi. Selain itu untuk mengotomatisasi dan mengendalikan berbagai aspek kehidupan sehari-hari dari jarak jauh, rumah pintar memberdayakan penghuninya untuk menciptakan lingkungan hidup yang dipersonalisasi, nyaman, dan aman.

### **Kantor Pintar (*Smart Offices*)**

Gedung perkantoran pintar atau kompleks komersial menawarkan kontrol otomatis dan terpusat atas berbagai aspek operasinya melalui jaringan IoT. Hal ini mencakup pengelolaan air dan listrik, pengendalian penerangan, sistem pemanas dan ventilasi, tindakan pengamanan, pengelolaan tempat parkir, pengelolaan limbah, pengoperasian lift, pintu keluar darurat, pengendalian akses ke sistem komputer, serta pemeliharaan taman dan peralatan.

Di industri ritel, penerapan sensor IoT di toko memungkinkan bisnis mengumpulkan data berharga seperti waktu masuk pelanggan, area minat, dan pola pembelian. Data ini membantu mengoptimalkan tata letak toko, mempertahankan tingkat stok yang sesuai, memantau perilaku staf, meningkatkan pelacakan produk (misalnya, tingkat pengembalian), mengukur waktu tunggu antrian dan lalu lintas pengunjung, serta memfasilitasi pembayaran otomatis. Solusi perdagangan cerdas berkontribusi pada strategi pemasaran dan produk yang lebih efisien.

Aplikasi IoT komersial diterapkan di berbagai lingkungan seperti supermarket, mall, hotel, fasilitas kesehatan, museum, pameran, dan kompleks rekreasi untuk meningkatkan pengalaman konsumen di luar batas rumah mereka. Aplikasi ini melibatkan pemantauan dan penyesuaian kualitas udara, pencahayaan, dan suhu di gedung-gedung publik untuk menciptakan lingkungan yang nyaman. Mereka juga mengelola kontrol akses dan keamanan, memantau inventaris toko ritel, mengumpulkan data tentang perilaku masyarakat di ruang publik, dan menyediakan layanan lokasi bagi pengunjung tempat perhotelan (Del Rio, 2020).

### **Tempat Kerja Pintar (*Smart Workplaces*)**

Tempat kerja cerdas dilengkapi dengan solusi perangkat keras dan perangkat lunak canggih untuk meningkatkan komunikasi dan kolaborasi, dengan fitur seperti sistem konferensi video. Lingkungan cerdas ini memanfaatkan sensor untuk melacak dan mengelola aset bisnis, seperti laptop perusahaan, sehingga memastikan pemantauan dan keamanan yang tepat.

Salah satu manfaat utama tempat kerja cerdas adalah otomatisasi tugas dan proses. Misalnya, kerentanan keamanan TI dapat dipantau secara otomatis, dan manajemen jarak jauh terhadap karyawan dan kontraktor di luar lokasi menjadi lebih efisien. Tugas sehari-hari seperti menjadwalkan ruang konferensi atau mengatur katering untuk rapat dapat ditangani secara efisien dari jarak jauh atau melalui asisten bisnis digital (McGuirk, 2019).

Tempat kerja cerdas juga memanfaatkan teknologi untuk memberikan pengalaman orientasi yang lancar bagi karyawan baru. Melalui pemberitahuan push, pendatang baru dapat menerima informasi dan panduan bermanfaat dalam lingkungan kantor baru mereka. Hal ini dapat mencakup pemberitahuan tentang lokasi mereka saat ini di dalam gedung atau izin keamanan yang diperlukan untuk mengakses kantor atau ruang perusahaan tertentu.

Integrasi sistem cerdas di tempat kerja memastikan pengoperasian yang lancar dan efisien. Mulai dari ketersediaan mesin penjual otomatis hingga toilet yang terawat baik dan pilihan parkir yang nyaman bagi pengunjung, lingkungan cerdas ini memprioritaskan kenyamanan dan kemudahan pengguna. Dengan memanfaatkan teknologi dan otomatisasi, tempat kerja cerdas bertujuan untuk menciptakan lingkungan kerja yang optimal bagi karyawan dan pengunjung.

### **Pabrik dan Gudang Cerdas (*Smart Factories & Warehouses*)**

Di lingkungan industri, pabrik dan gudang cerdas dikelola secara efektif melalui pemanfaatan jaringan IoT industri (IIoT). IIoT mencakup pabrik pintar, gudang, rantai pasokan, sistem logistik, dan mesin industri yang saling terhubung, yang berpuncak pada ekosistem industri pintar yang komprehensif. Ilustrasi menonjol dari manajemen gedung pintar di bidang industri adalah integrasi robot di dalam pabrik dan gudang. Penerapan robotika dalam industri pintar ini sering disebut sebagai Internet of Robotic Things (IoRT).

## **KEGUNAAN UTAMA BANGUNAN PINTAR**

### **Otomatisasi**

Inti dari smart building terletak pada keterhubungan. Karakteristik mendasar dari bangunan pintar adalah integrasi sistem intinya yang berjalan lancar. Dengan menghubungkan teknologi canggih seperti sensor hunian IoT real time dan sistem manajemen gedung, informasi berharga dapat dibagikan dan dimanfaatkan untuk mengotomatisasi berbagai proses. Tidak terbatas pada fungsi seperti pemanas, ventilasi, penerangan, AC, dan keamanan. Esensi sebenarnya dari smart building terletak pada kemampuan memfasilitasi komunikasi dan interaksi antar sistem internal. Keterhubungan inilah yang mendefinisikan sebuah bangunan sebagai “pintar” yaitu kapasitas sistem untuk berkomunikasi dan berkolaborasi secara efektif satu sama lain.

### **Integrasi dengan Sistem Bangunan Lain yang Berbeda**

Sinergi yang dicapai dengan berbagi dan mengintegrasikan data di antara sistem bangunan meningkatkan nilai keseluruhan bangunan pintar di luar komponen individualnya. Dengan mengintegrasikan data sensor hunian IoT ke dalam sistem pemesanan meja atau ruangan, organisasi dapat menyederhanakan proses manajemen dan menciptakan lingkungan cerdas bagi karyawan. Integrasi ini memungkinkan pemanfaatan aset secara efisien dengan memberikan informasi real-time mengenai ketersediaan, pemesanan, atau status hunian. Hasilnya, karyawan mendapatkan manfaat dari ruang kerja yang tanpa hambatan dan cerdas yang mengoptimalkan alokasi sumber daya dan meningkatkan produktivitas (Del Rio, 2021).

### **Optimasi Spasial**

Mengelola pemanfaatan ruang secara efektif sangat penting bagi bisnis karena bangunan dan real estat sering kali menempati urutan kedua dalam biaya tertinggi setelah gaji dan karyawan. Untuk mencapai penggunaan yang optimal, bangunan pintar mengandalkan integrasi sensor yang berperan penting dalam mengumpulkan data untuk pengambilan keputusan terkait alokasi sumber daya. Dengan menggabungkan sensor hunian dalam infrastruktur gedung, wawasan berharga dapat diperoleh mengenai alokasi sumber daya. Misalnya saja, sensor-sensor ini menyediakan data mengenai tingkat hunian, sehingga memungkinkan dunia usaha menilai apakah fasilitas mereka cukup memenuhi kebutuhan staf mereka.

Analisis pola hunian dapat membantu mengidentifikasi beberapa faktor utama, antara lain: 1. Mengevaluasi kecukupan ruang pertemuan dari segi ukuran dan kuantitas, 2. Memahami popularitas atau kekurangan wilayah komunal, 3. Menilai kecukupan ruang kerja yang disediakan. Dengan memanfaatkan data dan analisis tingkat hunian, perusahaan dapat mengambil keputusan yang tepat untuk meningkatkan pemanfaatan ruang dan memastikan keselarasan dengan kebutuhan tenaga kerja mereka. Pendekatan berbasis data ini meningkatkan efisiensi, memaksimalkan nilai sumber daya yang tersedia, dan berkontribusi

terhadap lingkungan kerja yang lebih produktif dan mudah beradaptasi (Zhang W., 2021).

### **Pemeliharaan Preventif**

Penggunaan kecerdasan buatan (AI) memungkinkan untuk mendeteksi kebutuhan pemeliharaan aset dengan mempelajari dan mengenali pola penggunaan yang tidak normal, serta memberi tahu ketika pola tersebut teridentifikasi. Melalui pengumpulan data yang akurat dari perangkat seperti sensor manusia, maka akan memperoleh pemahaman yang lebih akurat tentang frekuensi penggunaan fasilitas tertentu dalam bangunan. Hal ini akan memberdayakan untuk menerapkan pendekatan proaktif dalam mengelola pemeliharaan, pembersihan, penyetoran ulang, dan keausan secara keseluruhan, sehingga memperpanjang masa pakai peralatan, perabotan, dan peralatan. Dengan memanfaatkan wawasan berbasis AI juga dapat mengoptimalkan alokasi sumber daya secara efektif, meminimalkan waktu henti, dan memastikan pengoperasian aset bangunan secara efisien (Metallidou, 2020).

## **MANFAAT BANGUNAN PINTAR**

Bangunan pintar menghasilkan sejumlah besar data berharga mengenai pola penggunaannya. Dengan menganalisis data ini dapat memperoleh wawasan tentang tren dan pola, sehingga memberdayakan untuk membuat keputusan tepat tentang cara tingkatkan efisiensi bangunan. Proses ini menawarkan beberapa keuntungan:

### **Peningkatan Produktivitas**

Menciptakan ruang yang mendukung kualitas udara dalam ruangan yang baik, kenyamanan fisik, keamanan, kebersihan, pencahayaan yang efektif, proses yang efisien, dan ruang yang memadai untuk staf sangat penting dalam memungkinkan kinerja staf yang optimal. Untuk mencapai hal ini, penting untuk mengidentifikasi dan memahami bagaimana orang menavigasi dan memanfaatkan bangunan tersebut. Pengetahuan ini merupakan bagian integral dalam memperbaiki tata letak fisik, mengoptimalkan area yang sering dikunjungi, dan meminimalkan limbah. Misalnya, memperluas ruang sempit untuk pejalan kaki akan menjadi langkah praktis untuk mencapai tujuan ini. Di bidang bangunan pintar, fokusnya tidak hanya pada pengurangan biaya dan efisiensi energi. Menjadi penting untuk beroperasi secara cerdas demi kepentingan staf. Menerapkan sistem cerdas seperti pemesanan ruang rapat dan meja dapat membantu meminimalkan waktu staf yang terbuang dan meningkatkan kecerdasan ruang keseluruhan.

### **Mengurangi Biaya Operasional**

Sebuah bangunan cerdas memiliki kemampuan untuk memanfaatkan data yang dikumpulkan untuk mengoptimalkan operasinya. Misalnya saja, ia dapat menyesuaikan nuansa secara dinamis untuk memaksimalkan cahaya alami, sehingga mengurangi kebutuhan akan penerangan listrik. Manajemen pencahayaan yang efektif ini telah menunjukkan pengurangan konsumsi daya secara signifikan, membantu bangunan mencapai efisiensi energi yang lebih tinggi, dan memenuhi peraturan ketat terkait emisi gas rumah kaca (D. Marikyan, 2018).

Selain itu, data yang dikumpulkan oleh gedung pintar dapat memfasilitasi proses penjadwalan otomatis, mulai dari alokasi tempat parkir hingga penetapan ruang kerja dan reservasi ruang konferensi. Dengan memanfaatkan pendekatan berbasis data ini, bangunan dapat menyederhanakan dan mengoptimalkan alokasi sumber daya, meningkatkan efisiensi secara keseluruhan, dan memaksimalkan pemanfaatan ruang dan fasilitas yang tersedia.

### **Mengurangi Konsumsi Energi**

Bangunan pintar menawarkan peluang untuk meningkatkan efisiensi energi dan selanjutnya

mengurangi biaya energi. Dengan mengintegrasikan sensor Internet of Things (IoT) yang memantau hunian dengan sistem manajemen gedung dapat mengotomatiskan proses mematikan lampu dan sistem HVAC di ruangan atau ruang kosong. Pendekatan proaktif ini menghilangkan konsumsi energi yang tidak perlu. Dengan mengelola dan mengoptimalkan penggunaan energi secara efektif berdasarkan data hunian real-time, bangunan pintar berkontribusi terhadap penghematan energi yang signifikan dan mendorong keberlanjutan.

### **Fleksibilitas**

Data yang dikumpulkan dari bangunan pintar dapat dimanfaatkan untuk mengidentifikasi perubahan kepadatan hunian. Informasi ini membuat sistem HVAC gedung menyesuaikan aliran udara, kelembapan, dan suhu secara dinamis, sehingga memastikan kenyamanan optimal dan efisiensi energi. Selain itu, data bangunan pintar dapat dimanfaatkan untuk menerapkan sistem pencahayaan cerdas. Dengan menetapkan ambang kepadatan yang meningkat, warna pencahayaan dapat dimodifikasi untuk menunjukkan kepadatan berlebih di area seperti ruang konferensi, ruang kerja, atau keseluruhan bangunan. Isyarat visual ini berfungsi sebagai indikator yang berguna bagi penghuni dan pengelola fasilitas untuk mengambil tindakan yang diperlukan, seperti mencari ruang alternatif atau menerapkan tindakan pengelolaan kerumunan (Efkarpidis, 2020).

### **KELEMAHAN BANGUNAN PINTAR**

Penerapan sistem pelacakan dan pemantauan karyawan di tempat kerja menimbulkan kekhawatiran terkait privasi dan pengelolaan data, yang seringkali memerlukan panduan hukum untuk mengatasinya dengan tepat. Penerapan bangunan pintar sering kali memerlukan investasi modal yang besar dalam teknologi canggih seperti Sistem Manajemen Gedung (BMS) atau Sistem Otomasi Gedung (BAS). Sistem ini berfungsi sebagai hub digital, memfasilitasi pengelolaan perangkat dan aplikasi yang mengontrol berbagai aspek operasional gedung.

Meskipun teknologi pintar menawarkan banyak manfaat, beberapa orang mungkin menganggapnya menakutkan, terutama ketika menghadapi masalah seperti sensor yang tidak berfungsi atau pesan kesalahan yang membingungkan dari perangkat yang saling terhubung. Dalam kasus seperti ini, dukungan pengguna dan langkah-langkah pemecahan masalah menjadi penting untuk memastikan pengalaman positif dan penerimaan pengguna. Penting untuk diingat bahwa gedung pintar sangat bergantung pada koneksi internet yang andal dan persisten. Koneksi internet yang stabil dan tidak terputus sangat penting untuk kelancaran fungsi perangkat yang terhubung dan aliran data berkelanjutan dalam ekosistem gedung pintar.

### **CARA MEMBUAT BANGUNAN PINTAR**

Definisi bangunan cerdas yang sederhana adalah sebuah bangunan yang memberikan informasi tentang keseluruhan bangunan atau ruangan di dalamnya, memanfaatkan teknologi untuk menciptakan bangunan yang lebih cerdas, lebih aman, dan lebih memenuhi kebutuhan penghuninya. Tidak ada satu set perangkat lunak atau teknologi yang harus digunakan dalam bangunan pintar. Bangunan pintar dapat menggunakan berbagai macam teknologi berbeda yang sudah ada di dalam bangunan atau dipasang secara khusus untuk tujuan mengumpulkan informasi guna meningkatkan cara bangunan beroperasi. Kunci dari desain gedung pintar adalah integrasi, dengan sistem inti seperti penerangan, kamera keamanan bisnis, alarm, sensor, dan sistem kontrol, semuanya terhubung bersama untuk berbagi informasi guna menjadikan gedung lebih efisien, mengurangi biaya bagi penghuni, dan meningkatkan keselamatan. Teknologi bangunan cerdas memanfaatkan perangkat Internet of

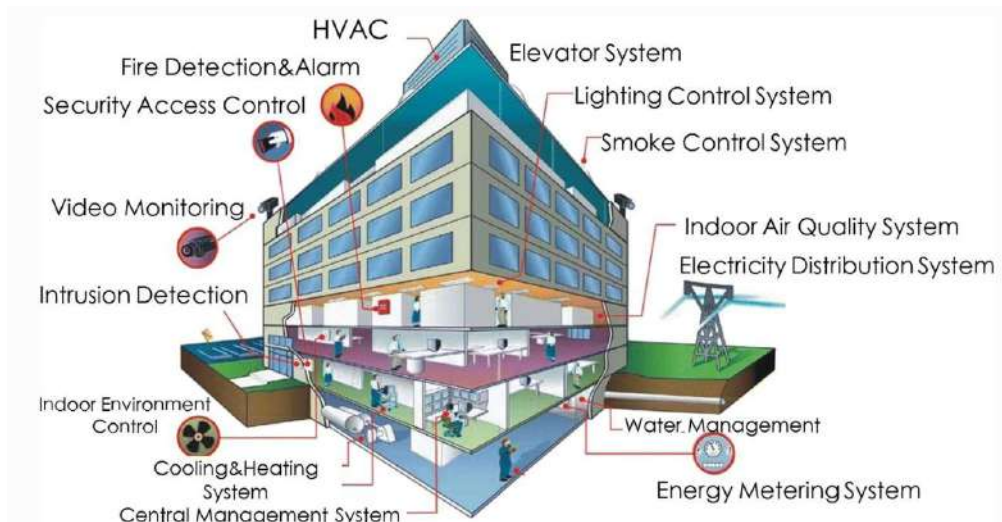


Things (IoT), yang dapat mencakup: Sensor, Aktuator, mikrochip, Perangkat lunak, Kamera.

Data yang dikumpulkan dari perangkat ini kemudian ditinjau dan diterapkan menggunakan kecerdasan buatan dan pembelajaran mesin untuk memahami bagaimana bangunan tersebut digunakan, menemukan pola dan tren penggunaan, serta mendeteksi anomali apa pun. Untuk mengubah suatu tempat menjadi gedung pintar secara efektif, penting untuk menyadari pentingnya data yang akurat dan andal. Landasan teknologi bangunan pintar terletak pada ketersediaan data akurat yang menangkap pemanfaatan fasilitas. Langkah awal memperoleh dan menganalisis data melibatkan penerapan solusi bangunan pintar, seperti sensor hunian. Sensor memungkinkan pencatatan informasi pemanfaatan berharga yang berfungsi sebagai titik awal untuk wawasan berbasis data. Setelah memiliki akses ke informasi ini maka dapat mengidentifikasi area yang perlu ditingkatkan dengan memanfaatkan integrasi dengan teknologi pintar dan sistem bangunan lainnya, memungkinkan otomatisasi dan meningkatkan efisiensi operasional. Selain itu, data memberdayakan proses pengambilan keputusan yang strategis.

### CONTOH BANGUNAN PINTAR

Untuk menunjukkan bagaimana fitur bangunan pintar dapat dimanfaatkan di dunia nyata, National Grid mendemonstrasikan bagaimana sensor penghitung orang digunakan untuk memberikan laporan tingkat hunian. Hal ini memungkinkan pengukuran penggunaan dan kapasitas di seluruh gedung dan membantu mendukung strategi ruang kerja yang lebih cerdas. University of Technology, Sydney, memanfaatkan teknologi bangunan pintar otomatis dalam sektor pendidikan untuk menyinkronkan kontrol AC dengan platform pemesanan kamar. Hal ini membantu menghemat biaya bisnis secara signifikan karena AC hanya perlu diaktifkan saat ruangan sedang digunakan (M. Himanen, 2017).



**Gambar 1.** Aplikasi teknologi AI dan IoT di bangunan pintar (sumber : Symmetry Electronics)

### PRODUK BANGUNAN PINTAR

### **Sistem video pintar**

Infrastruktur cerdas memberi tim keamanan wawasan yang dapat ditindaklanjuti, memungkinkan pengelola gedung meninjau apa yang terjadi di lokasi Anda secara real-time. Sistem CCTV pintar akan mendukung sistem kontrol akses gedung, memberikan verifikasi visual identitas orang melalui umpan video yang berkelanjutan. Sistem video cerdas juga memastikan bahwa dapat selalu memantau keamanan dari mana saja di dunia, dengan pelacakan jarak jauh untuk memberi tahu Anda tentang potensi ancaman keamanan bahkan saat penghuni atau pemilik bangunan tidak berada di dalam gedung (T. Hargreaves, 2017).

Selain itu, sistem manajemen video dapat dihubungkan ke perangkat alarm pintar, menggunakan sensor gerak atau detektor untuk memicu peringatan jika ada orang yang tidak berkepentingan memasuki lokasi bangunan sehingga akan diberitahu tentang peringatan apa pun secara instan melalui ponsel cerdas. Teknologi bangunan pintar juga dapat memicu tindakan tertentu, dan akan memiliki kemampuan untuk menghubungi layanan darurat secara otomatis. Tindakan lainnya termasuk, misalnya, secara otomatis memulai pengambilan video jika terjadi aktivitas yang tidak biasa atau mengirimkan peringatan kepada pemangku kepentingan utama jika ada pintu yang terbuka. Jenis teknologi ini dapat diterapkan pada semua area bangunan, termasuk pintu depan dan pintu interior, kamera panorama 360 dan model kamera umum lainnya, pintu putar dan kontrol elevator, untuk menciptakan sistem keamanan yang lebih terintegrasi yang menawarkan keamanan lebih kuat dibandingkan manajemen gedung dengan sistem tradisional (M. Gholamzadehmir, 2020).

### **Kemajuan teknologi kunci pintar**

Teknologi smart building bahkan dapat mengurangi risiko hilangnya kunci. Daripada memiliki banyak pemegang kunci, yang dapat menimbulkan risiko keamanan maka dapat memanfaatkan teknologi kunci pintar untuk mengunci dan membuka kunci pintu. Hal ini tidak hanya akan mengurangi risiko kehilangan kunci dan masuknya orang yang tidak berwenang, namun juga memastikan bahwa ada data berharga tentang setiap orang yang masuk dan keluar gedung, yang dapat digunakan untuk meningkatkan keamanan gedung.

### **Cakupan kamera ditingkatkan**

Teknologi bangunan cerdas juga dapat digunakan untuk menentukan area mana di gedung yang paling sering dikunjungi, meninjau data akses bersama dengan rekaman kamera untuk memahami apakah ada area di lokasi yang memerlukan cakupan kamera yang lebih baik. Memanfaatkan teknologi bangunan pintar bersama dengan sistem kamera yang ada dapat membantu meningkatkan keamanan bangunan komersial, serta meningkatkan efisiensi dan mengurangi biaya. Ada beberapa solusi bangunan cerdas masa depan luar biasa yang tersedia untuk bangunan komersial, menawarkan kepada pemilik dan manajemen bangunan kemampuan untuk menjadikan bangunan mereka cerdas dan mengumpulkan data guna meningkatkan operasi dan sistem bangunan keseluruhan demi masa depan yang lebih aman.

### **Pencahayaan yang lebih baik**

Sistem kamera dan pintu masuk juga dapat bekerja berdampingan dengan pencahayaan di suatu bangunan agar lebih aman, khususnya di tempat yang luas atau ruang terbuka seperti bandara, fasilitas pemasyarakatan, dan tempat parkir. Misalnya, ketika seseorang menekan kode kuncinya di pintu tertentu, informasi akan dikirim dari sistem akses ke penerangan, dan dapat menerangi jalan bagi mereka untuk berpindah dari A ke B. Artinya, penghuni tidak perlu nyalakan lampu setiap saat, dengan biaya energi yang lebih rendah sehingga menghemat uang.

Lampu akan menyala secara otomatis ketika ada orang di sekitar, memastikan penghuni dan pengunjung dapat menavigasi lokasi dengan aman. Selain itu juga dapat mengintegrasikan sistem keamanan video dengan sensor dan sistem pencahayaan, memungkinkan rekaman kamera keamanan tempat parkir video direkam dan dikirim ke tim keamanan secara instan.

### **Keamanan cyber**

Keamanan siber merupakan kekhawatiran yang semakin meningkat seiring dengan meningkatnya insiden malware dan spyware. Jenis serangan ini dapat membahayakan keamanan fisik dan keamanan cyber, namun bangunan cerdas IoT dapat membantu tetap terlindungi. Sistem ini akan memantau jaringan dari potensi ancaman apa pun, memberi informasi secara real time tentang aktivitas mencurigakan apa pun sehingga dapat selangkah lebih maju dari penyerang dunia maya serta menggunakan informasi yang diperoleh dari data untuk membangun keamanan dunia maya yang lebih kuat strategi untuk masa depan.

### **Sistem darurat**

Kontrol gedung yang cerdas dapat bekerja sama, memantau lokasi jika ada aktivitas yang tidak biasa atau pintu masuk yang tidak sah, dan kemudian menggunakan informasi tersebut untuk merespons dengan tepat. Selain itu dapat, misalnya, mengatur sistem untuk memicu penguncian total jika ada orang yang tidak berkepentingan memasuki gedung atau secara otomatis menghubungi layanan darurat jika situasi darurat terdeteksi. Secara keseluruhan, teknologi bangunan pintar, ketika digunakan sebagai bagian dari sistem keamanan, dapat memberi data real-time yang berguna untuk membantu mendapatkan pemahaman mendalam tentang seperti apa keamanan gedung saat ini dan apakah ada peluang untuk perbaikan.

## **MANFAAT ANALISIS BANGUNAN PINTAR**

Bangunan pintar menghasilkan sejumlah besar data bangunan berharga tentang bagaimana bangunan tersebut dimanfaatkan. Menganalisis data ini dapat memberi wawasan mengenai pola dan tren penggunaan, sehingga dapat membuat keputusan yang tepat tentang cara mengoptimalkan bangunan, sehingga memberikan keuntungan berikut (M.S. Aliero, 2021):

### **Peningkatan produktivitas**

Menyediakan ruang yang memfasilitasi kualitas udara dalam ruangan yang baik, kenyamanan fisik, keamanan, sanitasi, penerangan, proses yang efisien, dan ruangan yang dibutuhkan staf pada tingkat optimal akan memungkinkan mereka untuk bekerja dengan baik. Oleh karena itu, mengidentifikasi dan memahami bagaimana orang memanfaatkan dan bergerak di sekitar bangunan, merupakan bagian integral dari perbaikan tata letak fisik menuju optimalisasi ruang yang sering dikunjungi sekaligus meminimalkan limbah. Meningkatkan ukuran area pejalan kaki yang sempit dan sempit mungkin merupakan contoh praktis dari hal ini. Bangunan pintar tidak bisa lagi hanya fokus pada pengurangan biaya dan energi. Mereka perlu beroperasi dengan cerdas untuk staf. Menerapkan pengoperasian cerdas seperti pemesanan ruang rapat dan meja akan membantu mengurangi waktu staf yang terbuang dan menjadikan ruang cerdas.

### **Mengurangi konsumsi energi**

Bangunan pintar memungkinkan untuk meningkatkan efisiensi energi, dan pada gilirannya, meningkatkan biaya energi. Dengan menghubungkan sensor IoT yang memantau hunian dengan sistem manajemen gedung Anda, Anda dapat secara otomatis mematikan lampu atau

sistem HVAC di ruangan atau ruang kosong untuk mengurangi kebutuhan konsumsi energi yang tidak perlu yang dihasilkan oleh aspek-aspek ini (A. Malagnino, 2021).

### **Mengurangi biaya operasional**

Biaya overhead bangunan merupakan biaya yang signifikan bagi setiap pemilik atau pengguna bangunan. Dengan mengidentifikasi pola di sekitar ruang yang kurang dimanfaatkan, dapat memangkas biaya. Ada banyak manfaat penerapan sistem pintar di dalam gedung, mulai dari efisiensi biaya hingga meningkatkan kualitas konstruksi yang ramah lingkungan.

### **CARA MENJADIKAN BANGUNAN PINTAR DENGAN DATA**

Kunci sukses mengubah bangunan menjadi tempat yang cerdas dan efisien adalah memahami bahwa hanya data yang akurat dan andal yang dapat memfasilitasi hal ini. Pada dasarnya, data yang mengidentifikasi penggunaan fasilitas mendasari pengoperasian sistem bangunan pintar. Menerapkan solusi bangunan pintar seperti sensor hunian yang mencatat informasi pemanfaatan adalah langkah pertama untuk memperoleh dan menganalisis data ini. Setelah memiliki informasi ini maka dapat mengidentifikasi di mana perbaikan dapat dilakukan baik melalui integrasi dengan teknologi pintar lainnya dan membangun sistem yang memungkinkan otomatisasi atau dengan memfasilitasi pengambilan keputusan strategis (R. Yuliastri, 2017).

## **KESIMPULAN**

Teknologi Internet of Things (IoT) adalah jantung dari setiap sistem bangunan pintar. IoT mengacu pada jaringan objek yang memiliki sensor dan teknologi lain, memungkinkan mereka terhubung dengan perangkat lain dan bertukar data. Solusi IoT gedung pintar berarti bahwa jaringan 'benda' di dalam gedung dapat digunakan untuk berbagai tujuan, mulai dari menyederhanakan tugas hingga mendeteksi aktivitas yang tidak biasa. Teknologi bangunan pintar IoT mengumpulkan data bangunan pintar dan memprosesnya secara real-time untuk berbagai kegunaan berbeda, termasuk: Kontrol suhu dan kualitas udara, Efisiensi energi, Penggunaan listrik, Deteksi kebakaran, Sistem pemanas, ventilasi dan pendingin udara serta biaya energi, Kontrol pencahayaan, Perawatan gedung, Keamanan, Kontrol akses.

Otomatisasi gedung IoT cenderung memiliki tiga bagian berbeda yang semuanya bekerja sama untuk menjaga gedung berjalan lancar dan aman. Desain dan fitur bangunan cerdas ini di antaranya sensor cerdas, aktuator, dan microchip yang terintegrasi ke dalam perangkat seperti sistem pencahayaan dan kamera. Teknologi kecil ini mengumpulkan dan menyusun data tentang cara perangkat digunakan; Sistem kecerdasan buatan yang mengambil data dari sensor dan menggunakan pembelajaran mesin untuk memberikan wawasan yang cerdas dan berguna tentang cara perangkat digunakan. Bagaimanapun, data hanya berguna jika dapat digunakan untuk meningkatkan cara bisnis beroperasi dan bagaimana gedung digunakan; dan Satu dasbor pusat, yang memungkinkan semua data dilacak dan dianalisis di satu tempat.

Singkatnya, penerapan teknologi bangunan pintar menawarkan potensi besar untuk meningkatkan efisiensi, meningkatkan pengalaman penghuni, dan memaksimalkan penggunaan sumber daya. Dengan memanfaatkan data akurat yang dikumpulkan dari sensor dan mengintegrasikan berbagai sistem cerdas, pemilik dan pengelola gedung dapat membuat keputusan yang tepat, mengotomatisasi proses, dan menciptakan lingkungan yang

berkelanjutan dan nyaman. Dari manajemen energi yang efektif hingga optimalisasi pemanfaatan ruang, manfaat bangunan pintar sudah jelas. Seiring dengan kemajuan teknologi, penting bagi organisasi untuk memanfaatkan peluang yang diberikan oleh bangunan pintar dan sepenuhnya memanfaatkan kemampuannya dalam membentuk masa depan lingkungan binaan.

## REKOMENDASI KEBIJAKAN (*POLICY BRIEF*)

Bukan rahasia lagi bahwa saat ini masyarakat hidup di dunia dengan solusi yang terhubung. Rumah, kota, mobil, dan masih banyak lagi kini dibangun dengan infrastruktur cerdas sebagai fondasinya. Dikenal sebagai komponen kunci dalam pengembangan kota pintar, infrastruktur bangunan pintar mengintegrasikan banyak teknologi terhubung yang semakin dikenal. Berikut adalah cara yang dapat dilakukan Pemerintah Provinsi Jakarta mengembangkan kota pintar.

### MENDEFINISIKAN FITUR BANGUNAN PINTAR DAN MENGAPLIKASIKAN PADA KEHIDUPAN MASYARAKAT

Seperti halnya makro (kota pintar), bangunan pintar dapat berkomunikasi dan responsif terhadap perubahan kebutuhan pengguna. Misalnya, bangunan pintar mempunyai kemampuan untuk merespons perubahan kondisi cuaca, menyediakan informasi pemeliharaan prediktif, melakukan penyesuaian yang diperlukan sebagai respons terhadap konsumsi energi, dan bahkan dapat menjadi jaringan mikro lokal yang membantu menstabilkan fluktuasi pasokan. Ada empat fitur utama yang menentukan pengembangan bangunan pintar, yaitu :

1. Integrasi Sensor Internet of Things (IoT).

Sensor IoT menyediakan data yang dibutuhkan bangunan pintar untuk membuat keputusan cerdas. Sensor dalam ekosistem gedung pintar membantu memantau: Lokasi, Kualitas udara, Gerakan, Kelembaban, Suhu, Lampu, dan banyak lagi lainnya.

2. Analisis Data

Tanpa analisis data yang tepat, informasi yang dikumpulkan dari teknologi sensor akan menjadi perdebatan. Analisis data memberikan bangunan cerdas wawasan yang dapat ditindaklanjuti. Wawasan ini membantu bangunan pintar mengetahui respons tepat terhadap fluktuasi sistem.

3. Antarmuka Pengguna

Antarmuka pengguna bangunan pintar berfokus pada bagaimana pengguna berinteraksi langsung dengan sistem pintar di dalam bangunan. Antarmuka pengguna dapat mencakup layar komputer, layar sentuh, perintah suara, atau item apa pun yang menyediakan interkoneksi antara bangunan pintar dan penggunanya.

4. Solusi Konektivitas

Konektivitas adalah dasar bagi semua ekosistem cerdas. Perangkat dalam sistem cerdas tidak dapat berkomunikasi tanpa solusi konektivitas ideal. Beberapa metode jaringan teratas untuk lingkungan gedung pintar meliputi: Jaringan area luas berdaya rendah (LPWAN) berbasis seluler seperti NB-IoT, LoRa, LoRaWAN, Sigfox. Opsi jaringan LPWAN berbasis Wi-Fi seperti Zigbee



Pada tahun 2022, ukuran pasar kota pintar global bernilai \$1.226,9 miliar. Permintaan akan solusi bangunan pintar terus meningkat terutama dari sudut pandang lingkungan. Meningkatnya urbanisasi dan kebutuhan akan sarana yang lebih efisien untuk mengelola sumber daya menambah tekanan pada pengembangan solusi teknologi berkelanjutan di perkotaan. Menurut Program Lingkungan Hidup Perserikatan Bangsa-Bangsa, perkotaan mengonsumsi 75% sumber daya alam dunia, termasuk 80% pasokan energi global, dan menghasilkan sekitar 75% emisi karbon global. Bangunan pintar menawarkan komponen utama yang ramah lingkungan untuk kota pintar yang berkelanjutan. Peningkatan integrasi bangunan pintar dapat memberikan manfaat di antaranya berikut ini kepada kota: Peningkatan keamanan, Mengurangi konsumsi energi, Pengurangan biaya, Peningkatan kesejahteraan, dan Lebih banyak manfaat lainnya.

Pasar bangunan pintar sangat besar dan terus berkembang. Pada tahun 2022, terdapat 45 juta bangunan pintar di seluruh dunia, jumlah tersebut diperkirakan akan meningkat menjadi 115 juta pada tahun 2026. Hal ini merupakan proyeksi peningkatan lebih dari 150% hanya dalam empat tahun. Dengan 90% bangunan pintar bersifat komersial dibandingkan perumahan, menjadi jelas bahwa dunia usaha mulai memanfaatkan kegunaan aplikasi bangunan pintar untuk meningkatkan keamanan, meningkatkan efisiensi di seluruh lokasi mereka berada, dan memangkas biaya.

## DAFTAR PUSTAKA

- Aliero, M.S.; Qureshi, K.N.; Pasha, M.F.; Jeon, G. Smart Home Energy Management Systems in Internet of Things networks for green cities demands and services. *Environ. Technol. Innov.* 2021, 22, 101443.
- Chen, S.; Zhang, G.; Xia, X.; Setunge, S.; Shi, L. A review of internal and external influencing factors on energy efficiency design of buildings. *Energy Build.* 2020, 216, 109944. (PDF) Design and Implementation of Smart Buildings: A Review of Current Research Trend.
- C. K. Metallidou, K. E. Psannis, and E. A. Egyptiadou, "Energy efficiency in smart buildings: IoT approaches," *IEEE Access*, vol. 8, pp. 63679–63699, 2020, doi:10.1109/ACCESS.2020.2984461 (PDF) Smart building trend, role, and position: a systematic literature review.
- Del Rio, D.F.; Sovacool, B.K.; Bergman, N.; Makuch, K. Critically reviewing smart home technology applications and business models in Europe. *Energy Policy* 2020, 144, 111631.
- Del Rio, D.D.F.; Sovacool, B.K.; Griffiths, S. Culture, energy and climate sustainability, and smart home technologies: A mixed methods comparison of four countries. *Energy Clim. Chang.* 2021, 2, 100035.
- Gholamzadehmir, M.; Del Pero, C.; Buffa, S.; Fedrizzi, R.; Aste, N. Adaptive-predictive control strategy for HVAC systems in smart buildings—A review. *Sustain. Cities Soc.* 2020, 63, 102480. (PDF) Design and Implementation of Smart Buildings: A Review of Current Research Trend.
- Gram-Hanssen, K.; Darby, S. "Home is where the smart is"? Evaluating smart home research and approaches against the concept of home. *Energy Res. Soc. Sci.* 2018, 37, 94–101.
- Hakimi, S.M.; Hasanikhani, A. Intelligent energy management in off-grid smart buildings with energy interaction. *J. Clean. Prod.* 2019, 244, 118906.
- Hargreaves, T.; Wilson, C.; Hauxwell-Baldwin, R. Learning to live in a smart home. *Build. Res. Inf.* 2017, 46, 127–139.
- Kim, H.; Choi, H.; Kang, H.; An, J.; Yeom, S.; Hong, T. A systematic review of the smart energy conservation system: From smart homes to sustainable smart cities. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 2021, 140, 110755.
- Lu, Q.; Leng, Y.; Zhang, Z. Optimal household energy management based on smart residential energy hub considering uncertain behaviors. *Energy* 2020, 195, 117052. (PDF) Design and Implementation of Smart Buildings: A Review of Current Research Trend.
- M. Himanen, "The significance of user involvement in smart buildings within smart cities," in *Designing, Developing, and Facilitating Smart Cities*, Cham: Springer International Publishing, 2017, pp. 265–314. (PDF) Smart building trend, role, and position: a systematic literature



review.

- Malagnino, A.; Montanaro, T.; Lazoi, M.; Sergi, I.; Corallo, A.; Patrono, L. Building Information Modeling and Internet of Things integration for smart and sustainable environments: A review. *J. Clean. Prod.* 2021, 312, 127716.
- Marikyan, D.; Papagiannidis, S.; Alamanos, E. A systematic review of the smart home literature: A user perspective. *Technol. Forecast. Soc. Chang.* 2018, 138, 139–154 (PDF) Design and Implementation of Smart Buildings: A Review of Current Research Trend.
- N. A. Efkarpidis, G. C. Christoforidis, and G. K. Papagiannis, “Modeling of heating and cooling energy needs in different types of smart buildings,” *IEEE Access*, vol. 8, pp. 29711–29728, 2020, doi: 10.1109/ACCESS.2020.2972965 (PDF) Smart building trend, role, and position: a systematic literature review.
- P. M. McGuirk, R. Dowling, and C. Carr, “The material politics of smart building energy management: A view from Sydney’s commercial office space,” *Political Geography*, vol. 74, p. 102034, 2019, doi: 10.1016/j.polgeo.2019.102034 (PDF) Smart building trend, role, and position: a systematic literature review.
- R. Carli, G. Cavone, S. Ben Othman, and M. Dotoli, “IoT based architecture for model predictive control of HVAC Systems in smart buildings,” *Sensors*, vol. 20, no. 3, p. 781, Jan. 2020, doi: 10.3390/s20030781 (PDF) Smart building trend, role, and position: a systematic literature review.
- R. Yuliasri and H. Amani, “Indicators to measure a smart building: an Indonesian perspective,” *International Journal of Computer Theory and Engineering*, vol. 9, no. 6, pp. 406–411, 2017, doi: 10.7763/IJCTE.2017.V9.1176 (PDF) Smart building trend, role, and position: a systematic literature review.
- Strengers, Y.; Nicholls, L. Convenience and energy consumption in the smart home of the future: Industry visions from Australia and beyond. *Energy Res. Soc. Sci.* 2017, 32, 86–93.
- Shin, J.; Park, Y.; Lee, D. Who will be smart home users? An analysis of adoption and diffusion of smart homes. *Technol. Forecast. Soc. Chang.* 2018, 134, 246–253.
- Q. Ha and M. D. Phung, “IoT-enabled dependable control for solar energy harvesting in smart buildings,” *IET Smart Cities*, vol. 1, no. 2, pp. 61–70, Dec. 2019, doi: 10.1049 / iet-smc. 2019. 0052 (PDF) Smart building trend, role, and position: a systematic literature review
- W. Zhang and M. Yue, “The application of building energy management system based on IoT technology in smart city,” *International Journal of System Assurance Engineering and Management*, vol. 12, no. 4, pp. 617–628, 2021, doi: 10.1007/s13198-021-01054-6 (PDF) Smart building trend, role, and position: a systematic literature review.



## EFISIENSI ENERGI PADA BANGUNAN MELALUI OTOMATISASI SISTEM PENDINGIN BERBASIS *ARTIFICIAL INTELLIGENCE*

Aryani Widyakusuma<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Program Studi Arsitektur, Fakultas Teknik, Universitas Borobudur, Jakarta Timur  
13410, Indonesia

\*Penulis Koresponden, e-mail: [aryaniwidyakusuma@alumni.ui.ac.id](mailto:aryaniwidyakusuma@alumni.ui.ac.id)

### ABSTRAK

Dalam kehidupan masyarakat saat ini, kemajuan teknologi telah membuat hidup lebih mudah dengan memberi tingkat pengetahuan lebih tinggi melalui penemuan berbagai perangkat. Seiring dengan perjalanan menuju masa depan yang lebih berkelanjutan dan hemat energi, peran otomatisasi dalam mengoptimalkan sistem pendingin tidak bisa dilepaskan. Metode pendinginan tradisional seringkali boros energi dan tidak efisien. Masuknya AI merevolusi industri pendingin. Kekuatan Otomatisasi Sistem Pendingin di antaranya adalah Algoritme AI dapat terus menganalisis data dari sensor untuk mengoptimalkan kinerja sistem pendingin. Hal ini menghasilkan penghematan energi, pengurangan biaya operasional, dan dampak lingkungan lebih kecil. Teknologi ini dapat memprediksi kapan komponen dalam sistem pendingin mengalami kegagalan sehingga memungkinkan dilakukan pemeliharaan proaktif. Hal ini tidak hanya meminimalkan waktu henti tapi juga memperpanjang umur peralatan. Otomatisasi menyesuaikan tingkat pendinginan berdasarkan kondisi real-time untuk memastikan bahwa pendinginan dilakukan tepat pada waktu dan tempat yang dibutuhkan. Ketepatan ini dapat meningkatkan kenyamanan dan produktivitas di ruang komersial dan residensial. Pendinginan menyumbang porsi besar konsumsi energi di banyak bangunan. Otomatisasi dapat mengidentifikasi peluang mengurangi konsumsi energi selama jam puncak permintaan sehingga menghasilkan penghematan biaya. Otomatisasi sistem pendingin memastikan kinerja dan efisiensi energi tidak terganggu. Bagaimana tingkat hunian dapat mempengaruhi penggunaan HVAC. Dengan 40% penggunaan energi gedung berada di HVAC. Banyak bangunan telah memasang sensor untuk menghindari pemborosan energi di ruang kosong. Sensor akan menyala jika seseorang memasuki ruangan. Ruang kantor dapat memanfaatkan sistem HVAC berbasis AI yang beradaptasi dengan tingkat hunian dan kondisi cuaca. Otomatisasi sistem pendingin mengoptimalkan pendinginan untuk meminimalkan penggunaan energi sekaligus menjaga kondisi pengoperasian aman. Otomatisasi sistem pendingin meningkatkan kenyamanan hunian dan mengurangi tagihan energi. Pada unit kontrol terdapat algoritme untuk memproses berbagai data mulai dari permintaan pendinginan hingga pasokan suhu dan pengembalian serta mengontrol proses pengisian dan pengosongan baterai termal sehingga menghasilkan data operasional yang dapat diintegrasikan ke perangkat lunak pada manajemen gedung.

Kata Kunci: artificial intelligence, efisiensi energi, hvac, perilaku penghuni, teknologi

### PENDAHULUAN

Kecerdasan buatan atau *artificial intelligence* (AI) menciptakan gelombang kejutan di seluruh aspek Teknologi Informasi. Dari perspektif bangunan cerdas, AI sedang diintegrasikan ke dalam banyak teknologi yang dapat digunakan oleh pengguna untuk membantu meningkatkan keselamatan, kesehatan, dan fungsionalitas gedung dan kampus. Yang lebih penting dalam membangun inisiatif dan keuntungan operasional yang ramah lingkungan adalah integrasi AI dan pembelajaran mesin atau *machine learning* (ML) untuk memantau dan menganalisis penggunaan energi dan karbon (Aftab, 2017).

Meskipun sistem kelistrikan, penerangan, dan HVAC “pintar” telah ada sejak lama, kecerdasannya sebagian besar masih statis dan bergantung pada masukan dari operator sistem. Namun, dengan munculnya *artificial intelligence* atau AI dan *machine learning* atau ML, teknologi ini dapat berkembang ke tingkat berikutnya dengan mengidentifikasi pola konsumsi pada tingkat yang jauh lebih terperinci dan dapat lebih cepat beradaptasi terhadap perubahan ini, menurunkan penggunaan listrik dan pemanas maupun pendingin ke tingkat yang sangat rendah. Sedemikian rupa sehingga operator pada bangunan yang sudah tua umurnya sekalipun dapat memilih untuk meneruskan menggunakan teknologi infrastruktur bangunan pintar generasi awal dan tidak akan dapat mengabaikannya karena HVAC, penerangan, dan teknologi operasional lainnya pada bangunan lama atau tua usianya biasanya menghemat energi dan keluaran karbon dengan menjadwalkan kapan dan dimana sistem ini beroperasi atau diprogram untuk tidak digunakan. Meskipun proses statis ini terbukti meningkatkan efisiensi energi, masih banyak jenis efisiensi lainnya yang dapat diperoleh.

Tidak jarang sistem HVAC melakukan pemanasan atau pendinginan pada kapasitas penuh meskipun ada acara perusahaan yang dijadwalkan dan 90% karyawan berada di luar lokasi. Dalam kasus ini, AI dapat menggunakan informasi hunian real-time untuk mengidentifikasi perubahan perilaku ini. Meskipun ini adalah contoh sederhana, hal ini menunjukkan betapa mudahnya menghemat 5-20% penggunaan energi HVAC dan pemeliharaan dari tahun ke tahun jika sistem otomatisasi lebih cerdas diterapkan dengan baik. AI sepenuhnya menghilangkan faktor kesalahan manusia yang sering dikaitkan dengan penggunaan energi berlebih melalui kesalahan konfigurasi sistem dan penyesuaian HVAC yang dilakukan secara manual.

Intinya adalah bahwa AI mewakili evolusi signifikan dari teknologi efisiensi energi gedung pintar. Meskipun teknologi tersebut belum siap untuk digunakan secara komersial dan mungkin akan mahal dalam beberapa tahun pertama di pasaran, sekaranglah saatnya untuk mulai melakukan penelitian dan perencanaan. AI pada akhirnya akan menjadi terobosan dalam praktik efisiensi operasional gedung pintar yang melampaui apa yang ada saat ini. Bagi operator gedung yang belum beralih ke teknologi pintar, inilah saat yang tepat untuk ikut serta. Di sebagian besar negara, bangunan menyumbang sekitar 40% dari total energi yang dikonsumsi. HVAC dan pencahayaan mengkonsumsi sekitar setengah dari jumlah tersebut dimana AI sudah sangat membantu memberi peningkatan efisiensi energi dalam sistem ini.

## STATE OF THE ART

*Artificial Intelligence* atau AI saat ini sedang diterapkan di berbagai bidang sebagai teknologi yang mewujudkan kemampuan intelektual manusia seperti berpikir dan belajar melalui komputer. Teknologi ini AI dapat diidentifikasi sebagai kemampuan pembelajaran perangkat. Meskipun manusia telah mempelajari cara menggunakan perangkat dan mesin di masa lalu, pengenalan AI membuka era di mana mesin belajar tentang manusia. Dengan fungsi pembelajaran AI, perangkat dapat menafsirkan lingkungan sekitar dan menganalisis serta menentukan kondisi ideal untuk menyediakan konsumsi energi dan lingkungan hidup optimal.

Masyarakat modern menghabiskan lebih dari 90 persen hari-hari mereka di dalam ruangan. Pendingin udara mengatur suhu, kelembapan, aliran udara, distribusi udara, debu beterbangan, bau, bakteri, dan konsentrasi gas berbahaya dalam ruang yang ditempati. Oleh karena itu, AC berbasis AI memiliki sensor yang membantu mengalirkan aliran udara jernih ke lingkungan dalam ruang sekaligus mengatur suhu dan tingkat kelembapan yang nyaman.

Pengoperasian AC dapat dikontrol secara otomatis tergantung pada tingkat hunian di suatu ruangan sehingga tidak perlu lagi khawatir apa sudah mematikan AC di rumah saat para penghuni keluar rumah. Berkat kemampuan AC untuk mendeteksi gerakan, AC dapat mati sendiri ketika tidak ada gerakan yang terdeteksi. Selain itu, smartphone dapat digunakan untuk memantau atau mengontrol pengoperasian AC. Karena waktu pengoperasian dan konsumsi daya dapat dipantau sehingga tidak perlu lagi mengkhawatirkan tagihan energi karena konsumsi daya berlebihan dapat dicegah dengan mengkonfigurasi nilai target terlebih dahulu.

Manusia kini hidup di dunia yang belum pernah mereka alami sebelumnya dengan pemanasan global, berkurangnya energi berbasis karbon dan peningkatan gas rumah kaca, masyarakat hiperkoneksi berbasis Internet, dan mesin cerdas berbasis AI (Kecerdasan Buatan) dan teknologi data besar (big data). AI dan ML mengubah dunia dan gaya hidup masyarakat menjadi lebih baik. Lalu apa pengaruhnya ini bagi dunia HVAC. Tulisan ini berusaha selidiki dasar-dasar teknologi AI dan pelajari bagaimana teknologi ini berdampak pada para profesional di dunia industri dalam meningkatkan kehidupan masyarakat masa kini.

Sistem Pemanas, Ventilasi, dan Pendingin Udara (HVAC) merupakan bagian integral dari kenyamanan dan kesejahteraan sehari-hari. Kemajuan teknologi, khususnya Kecerdasan Buatan (AI), kini merevolusi industri HVAC. Dengan memanfaatkan algoritme AI dan ML, sistem HVAC menjadi lebih cerdas, efisien, dan mampu mengoptimalkan konsumsi energi. Tulisan ini mengeksplorasi bagaimana AI mengubah sistem HVAC, meningkatkan kenyamanan, meningkatkan efisiensi energi, dan mengurangi biaya. Menggabungkan keahlian dalam teknologi Artificial Intelligence atau AI dan Programmable Logic Controllers atau PLC menghadirkan sistem HVAC canggih yang maksimalkan efisiensi dan memberi kinerja unggul.

## PEMBAHASAN

### **Optimalkan Kenyamanan dan Penggunaan Energi Pada Bangunan dengan Pendingin Udara berbasis AI**

Pertama hal yang perlu diketahui adalah bagaimana memahami AI dalam sistem HVAC. Kecerdasan Buatan melibatkan pengembangan algoritme cerdas yang memungkinkan mesin belajar dari data, membuat keputusan, dan melakukan tugas tanpa pemrograman eksplisit. Dalam konteks sistem HVAC, algoritma AI menganalisis data dari berbagai sensor dan input untuk mengoptimalkan pengoperasian sistem, aliran udara, kontrol suhu, dan konsumsi energi.

### **Hal-hal yang Perlu Diketahui Pemilik atau Operator Gedung Mengenai AI**

Ilmu di balik berbagai bentuk kecerdasan buatan cukup rumit dan didasarkan pada berbagai model matematika, data latih, dan infrastruktur pusat data yang dibuat secara khusus. Namun, pemilik dan operator gedung tidak perlu mengetahui secara detail cara kerja teknologi tersebut. Ketika segala sesuatu menjadi rumit, hal ini berkaitan dengan pelatihan staf TI internal untuk mengelola backend AI sehingga sistem menganalisis data yang disimpan baik dapat digunakan untuk membuat keputusan yang tepat. Hal ini memerlukan pemahaman yang baik tentang data apa yang dikumpulkan dari tiap sistem internet of things dan bagaimana data tersebut dapat digunakan oleh AI. Dalam banyak kasus, pelatihan tambahan juga diperlukan. Agar sistem ini

berfungsi secara efisien sepanjang siklus hidup teknologi, operator TI harus terlibat dalam fase desain dan penerapan proyek IoT dan AI terkait. Dengan begitu, operator lebih memahami bagaimana dan mengapa sistem dirancang, bagaimana mengamankan dari ancaman internal maupun eksternal, dan bagaimana melakukan penyesuaian yang tepat.

### **AI Dapat Meningkatkan Kontrol HVAC**

Pada bulan September 2023, The Massachusetts Institute of Technology atau MIT mengumumkan program percontohan yang menggunakan AI dan ML untuk lebih meningkatkan efisiensi energi sistem HVAC di kampus. Tujuan mereka adalah menggunakan AI untuk menganalisis yang dikumpulkan dari berbagai sumber termasuk sensor suhu IoT, sensor hunian, dan prakiraan cuaca real time. Setelah data pelatihan ini dikumpulkan, data tersebut dapat dianalisis oleh AI dari waktu ke waktu untuk memprediksi target suhu pada bagian tertentu bangunan yang harus ditetapkan pada hari dan waktu tertentu.

Karena setiap bangunan berbeda, titik data spesifik seperti tingkat hunian dasar, lokasi kelompok hunian, jumlah waktu yang diperlukan untuk memanaskan atau mendinginkan ruangan tertentu, dan kondisi cuaca yang terus berubah akan dilacak. Seiring waktu, AI dapat mempelajari pola dan kondisi dinamis ini untuk memperkirakan tingkat HVAC secara tepat yang diperlukan dalam beberapa jam atau hari ke depan. Hal ini tidak hanya akan membantu menurunkan konsumsi energi dan penggunaan karbon secara keseluruhan dari waktu ke waktu, namun juga memberikan rincian biaya energi di masa depan dan rekomendasi peningkatan HVAC untuk mencapai efisiensi yang lebih besar di masa depan (Z. Deng, 2020).

### **Memajukan Layanan HVAC Melalui AI**

Di gedung berskala besar, sistem operasi berbasis cloud dapat mengidentifikasi kesalahan pengoperasian terlebih dahulu untuk pemeliharaan sistem yang lebih efektif. Jika AC rusak misalnya, administrator sistem dan pengguna dapat diberitahu tentang masalah tersebut melalui sensor dan alarm. Administrator sistem kemudian dapat menganalisis kesalahan sistem dan memberi tahu teknisi bagian pemeliharaan. Manajer pemeliharaan sekarang dapat memahami masalahnya dan menyiapkan alat, komponen, dan bahan yang diperlukan sebelum dikirim dan ditindaklanjuti. Layanan ini membantu dalam penyampaian perawatan yang cepat dan akurat. Selain itu, penggunaan database yang komprehensif, manajemen operasi, dan akses ke riwayat pemeliharaan sistem mendorong waktu respons yang lebih cepat dan mencegah konsumsi energi tambahan selama proses pemeliharaan berlangsung.

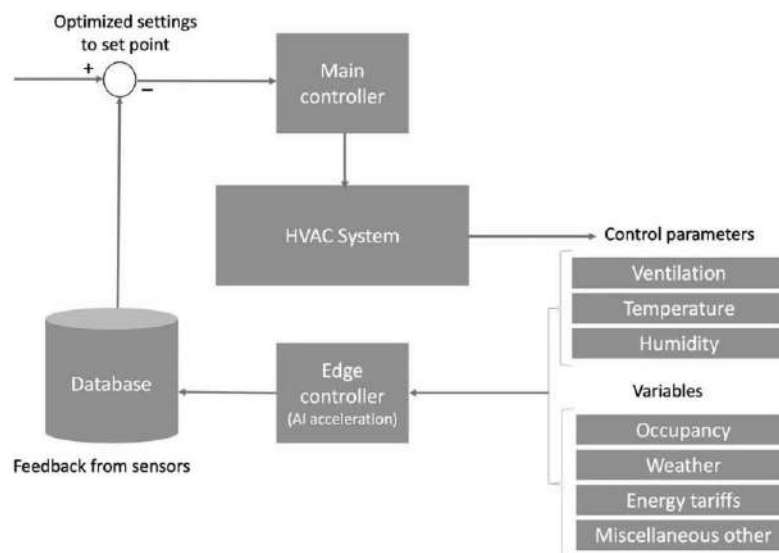
Seiring dengan berkembangnya sistem AI, sistem ini akan menjadi bagian integral dari dunia dan meningkatkan efisiensi energi pada banyak sistem yang digunakan sehari-hari. Di masa depan, teknologi AI diharapkan dapat memperbaiki dunia dengan mengembangkan AC hingga dapat mengenali aktivitas manusia dan memahami kesehatan serta suasana hati manusia pengguna ruang untuk pengendalian yang lebih tepat dan kondisi yang optimal.

### **AI dalam Pengoperasian dan Pemeliharaan HVAC**

Bangunan adalah lingkungan yang kompleks dan dinamis dengan aliran panas yang terus berubah akibat variasi hunian dan cuaca. Mengoptimalkan kinerja sistem pemanas, ventilasi, dan pendingin udara (HVAC) memerlukan karakterisasi aliran energi dan, idealnya, kemampuan untuk memprediksi bagaimana aliran tersebut kemungkinan akan berubah. Jumlah titik data dan kompleksitas persamaan pemodelan yang diperlukan untuk memastikan kinerja optimal sistem HVAC dalam segala kondisi memperluas kemampuan sistem manajemen energi tradisional. Kecerdasan buatan (AI) adalah alat yang ampuh untuk memodelkan aliran energi ini.

Salah satu cara mendasar AI berkontribusi terhadap kinerja sistem HVAC adalah melalui analisis data cerdas. Algoritme AI mengklasifikasikan, mengelompokkan, dan menganalisis sejumlah besar data untuk mengidentifikasi pola. Data tersebut meliputi suhu, kelembaban, hunian dan kondisi cuaca. Tarif energi bervariasi menurut waktu, jadi ini merupakan faktor lain yang dapat dipertimbangkan. Pemrosesan data dilakukan secara lokal, di pusat data di cloud, di edge (dekat sensor sistem), atau menggunakan beberapa kombinasi sumber daya ini.

Proses rancangan sederhana dari sistem HVAC tipikal ditunjukkan pada diagram blok di bawah ini



**Gambar 1.** Sistem kontrol HVAC berbantu AI maksimalkan efisiensi energi dan kenyamanan

Dengan menganalisis pola historis dan masukan waktu nyata, AI dapat mengidentifikasi tren, permintaan dan menyesuaikan pengaturan HVAC, memastikan tingkat kenyamanan optimal sekaligus meminimalkan konsumsi energi. Optimalisasi dinamis ini membantu menghilangkan pemborosan energi, menyempurnakan pengaturan sistem, dan dapat diintegrasikan dengan sistem manajemen gedung lainnya untuk manajemen energi yang lebih komprehensif.

### Pemeliharaan Prediktif Berbasis AI adalah Terobosan Baru

Praktik pemeliharaan tradisional sering kali mengandalkan jadwal tetap atau respons reaktif terhadap kegagalan, sehingga menyebabkan inefisiensi dan waktu henti yang tidak terduga. Dengan AI, sensor dan data dari sistem HVAC dapat terus dipantau, sehingga algoritma prediktif dapat mengidentifikasi potensi masalah sebelum masalah tersebut menjadi lebih besar. Dengan menganalisis pola kinerja dan mendeteksi anomali, AI dapat secara proaktif menjadwalkan pemeliharaan untuk mencegah kegagalan kritis, memaksimalkan waktu aktif sistem, dan mengurangi biaya (Gholamzadehmir, 2020).

AI juga menyederhanakan deteksi kesalahan dan diagnosis masalah sistem HVAC, yang bisa jadi rumit dan memakan waktu. Dengan menganalisis data sistem dan membandingkannya dengan ambang batas yang telah ditentukan, algoritme AI dapat mengidentifikasi penyimpangan dan mengingatkan personel pemeliharaan tentang potensi masalah. Deteksi dini ini memungkinkan pemecahan masalah dengan cepat, mengurangi waktu henti, dan mencegah kerusakan lebih lanjut. Selain itu, AI dapat memberikan wawasan tentang akar penyebab



kegagalan, sehingga memfasilitasi penyelesaian masalah yang efektif.

### **Menjaga Kualitas Udara dalam Ruangan yang Optimal**

AI meningkatkan manajemen kualitas udara ruang dalam sistem HVAC dengan memantau dan menganalisis parameter kualitas udara seperti tingkat CO<sub>2</sub>, materi partikulat, dan senyawa organik yang mudah menguap. Dengan mengintegrasikan AI dengan sistem ventilasi, sistem HVAC dapat secara dinamis menyesuaikan tingkat ventilasi berdasarkan data kualitas udara secara real-time, memastikan lingkungan dalam ruang sehat dan nyaman sekaligus meminimalkan pemborosan energi (Azuatalam, 2020).

### **Hasil Nyata AI dalam Penerapan HVAC**

Meskipun penggunaan AI dalam sistem HVAC relatif baru, beberapa contoh nyata keberhasilannya mulai bermunculan. Seperti dilansir International Society of Automation, pada tahun 2020, Yokogawa menggunakan AI untuk mengurangi konsumsi energi di pabrik pembuatan sensor semikonduktornya di Miyada-mura, Jepang. Model AI menggunakan algoritma pembelajaran penguatan dalam mengoperasikan sistem HVAC untuk lingkungan fabrikasi ruang bersih perusahaan. Tujuannya untuk menjaga kondisi lingkungan yang diatur secara ketat sambil meminimalkan penggunaan energi. Ruang bersih di fasilitas tersebut menyumbang 30% dari total konsumsi energi, berbahan bakar gas minyak cair. Sistem AI yang diterapkan Yokogawa melengkapi infrastruktur HVAC dan kontrol proses konvensional yang ada, sehingga diperlukan investasi modal minimal. Hasilnya adalah pengurangan konsumsi energi sebesar 3,6% setelah beberapa bulan penyempurnaan model mandiri.

Dalam salah satu dari beberapa studi kasus di situs webnya, BrainBox AI, sebuah perusahaan HVAC di Montreal, Kanada, menjelaskan bagaimana teknologi AI-nya digunakan untuk mengubah sistem HVAC tradisional di pusat perbelanjaan seluas 509.612 kaki persegi menjadi sistem otonom. Dalam hal ini, algoritme hasil kurasi khusus yang berjalan di cloud menggabungkan data bangunan yang dipetakan selama beberapa minggu dengan data cuaca eksternal dan tarif energi untuk mengoptimalkan pengoperasian sistem. Penghematan listrik sebesar 21% (205.214 kWh) setelah satu tahun, dengan AI yang memungkinkan suhu zona bangunan yang diperlukan dipertahankan secara akurat dengan waktu pengoperasian peralatan HVAC sangat berkurang. Ringkasan pengurangan runtime dalam tabel di bawah ini.

| AVERAGE RUNTIME REDUCTION BY HVAC EQUIPMENT TYPE |         |
|--------------------------------------------------|---------|
| SUPPLY FAN RUNTIME                               | -33.50% |
| HEATING STAGE RUNTIME                            | -62%    |
| COOLING STAGE RUNTIME                            | -5%     |
| REHEAT STAGES RUNTIME                            | -30%    |
| GLOBAL REHEAT UTILIZATION                        | -78%    |
| OVERALL FAN RUNTIME                              | -61%    |
| HEATING MODULATION RUNTIME                       | -91%    |
| HEATING STATE RUNTIME                            | -81%    |

**Gambar 2.** Ringkasan pengurangan runtime pada perangkat HVAC  
(Sumber: BrainBox AI)

Tabel menunjukkan analisis pengurangan waktu pengoperasian komponen HVAC yang dicapai dengan penerapan teknologi AI di pusat perbelanjaan seluas 509.612 kaki persegi di Kanada. Selain itu, Santagostino sebuah perusahaan yang mengoperasikan 35 pusat kesehatan di seluruh Italia, memilih untuk mengembangkan implementasi AI sendiri menggunakan platform Arduino Nano MCU untuk membantu pemeliharaan prediktif sistem HVAC. Studi kasus tersebut, yang dirinci di situs web Arduino, menunjukkan bahwa implementasi AI tidak perlu mahal dan penggunaan komponen standar siap pakai yang dijalankan pada perangkat lunak sumber terbuka menawarkan tingkat fleksibilitas yang tidak dimiliki oleh sistem khusus. Platform Arduino Nano RP2040 Connect dengan konektivitas Wi-Fi dan Bluetooth onboard menjalankan algoritma AI yang membaca dan menganalisis parameter sistem. Papan Arduino ringkas ditempatkan dalam kotak cetak 3D dan ditempatkan di pompa panas, unit AC, dan sistem ventilasi di seluruh lokasi Santagostino. Akselerometer integral platform mencatat parameter alat berat setiap 30 detik dan mendeteksi getaran. Selain mengidentifikasi dan menemukan kerusakan secara instan, analisis data yang berkelanjutan memungkinkan jadwal pemeliharaan dioptimalkan, meminimalkan biaya dan waktu henti, serta mengoptimalkan lingkungan rumah sakit untuk pasien, pengunjung, dan staf.

**Teknologi Baru Membuat Manajemen Gedung dan Sistem HVAC Menjadi Lebih Cerdas**  
Bangunan mempunyai kebutuhan energi yang tidak pernah terpuaskan. Bangunan publik dan komersial khususnya menggunakan banyak energi. Karena manusia menghabiskan sebagian besar hidupnya di dalam bangunan ini, maka bangunan tersebut tunduk pada persyaratan kesehatan dan keselamatan yang ketat.

Sistem manajemen gedung modern (BMS) digunakan untuk membantu mengelola persyaratan ini. BMS sering kali dilengkapi dengan sistem pengatur suhu (HVAC, atau pemanas, ventilasi, dan AC). Dalam beberapa hal, BMS terlibat dalam pertarungan berkelanjutan dengan sistem HVAC karena tujuannya belum tentu selaras. BMS akan berupaya maksimal untuk mengurangi penggunaan energi, sedangkan sistem HVAC hanya berfokus pada pemeliharaan lingkungan ramah manusia. Jika dunia mereka, dalam hal ini bangunan adalah sistem tertutup, keduanya bisa hidup harmonis. Namun bangunan bukanlah

sistem tertutup dan manusia adalah variabel. Dunia akan selalu berubah dinamis.

### **Memindahkan Pengelolaan Gedung Secara Online**

Internet of Things (IoT) telah membuka dimensi baru bagi produsen BMS dan HVAC. Algoritme kontrol kini dapat dipengaruhi oleh operator jarak jauh. Pengawas gedung dapat memantau parameter seperti suhu, kelembapan, hunian, dan keamanan dari mana saja. Meskipun IoT telah memperluas jangkauan kendali pengawasan, arsitektur sistemnya masih relatif tidak fleksibel. Menambahkan konektivitas, secara teori, memungkinkan BMS dapat diperluas setelah instalasi awal. Ini mungkin termasuk menambahkan sensor baru pada pintu dan jendela. Namun, data yang diberikan oleh sensor jendela juga akan berguna bagi HVAC jika sensor tersebut memahami bagaimana jendela yang terbuka dapat menyebabkan penurunan suhu atau peningkatan kelembapan.

Menambahkan sensor ke suatu sistem mungkin relatif sederhana namun mengintegrasikan data tersebut kepada kedua sistem memerlukan tingkat interoperabilitas dan ekstensibilitas yang lebih tinggi. Skenario ini tidak hanya terjadi pada manajemen gedung. IoT menciptakan peluang bagi sistem yang dapat diperluas untuk mengakses lebih banyak data. Sumber data mungkin bersifat publik, atau tersedia secara komersial melalui langganan. Antarmuka pemrograman aplikasi (API) adalah cara standar industri untuk mengakses data di luar sistem langsung melalui koneksi internet. Oleh karena itu, perangkat yang menyediakan data harus terhubung dengan layanan internet yang mengelola koneksi tersebut.

Dimungkinkan untuk memperluas BMS menggunakan data yang dikumpulkan melalui API. Sebagai contoh, hal ini mungkin mencakup peringatan lalu lintas dari persimpangan terdekat, yang dapat mempengaruhi arus penggunaan ruang masuk dan keluar gedung. Jika hal ini tampaknya tidak mungkin terjadi, hal ini mungkin karena manfaat yang diperoleh tampaknya tidak sebanding dengan upaya yang dilakukan. Namun bagaimana jika BMS dapat secara otomatis beradaptasi dengan data baru saat data tersebut tersedia. Di sinilah kecerdasan buatan (AI) dan pembelajaran mesin dapat membantu (Sala-Cardoso, 2018).

### **Menambahkan AI ke BMS dan HVAC**

BMS adalah investasi jangka panjang dan bukan jenis sistem yang akan sering diganti. IoT telah ada cukup lama untuk diintegrasikan ke dalam manajemen gedung untuk sementara waktu, sehingga banyak BMS yang memiliki konektivitas internet. Sebagai layanan berbasis cloud, AI dapat digunakan untuk memantau pola dan membuat penilaian terhadap anomali dalam pola tersebut. Hal ini berguna untuk BMS yang terhubung, yang umumnya menggunakan pemrograman berbasis aturan. Manusia tidak selalu berperilaku sama. Dengan menggunakan AI, tindakan yang diambil bisa berubah dan beradaptasi. Mengizinkan AI mengambil keputusan secara real-time mengenai pengelolaan gedung dapat berguna jika digunakan dengan cara benar dan kini ada produsen yang melakukan hal ini. Beralih dari algoritme berbasis aturan ke AI dalam sistem yang variabelnya mencakup pintu terkunci dan jendela terbuka dapat menghasilkan otomatisasi yang lebih baik.

AI akan lebih berdampak pada sistem yang input kontrolnya benar-benar bervariasi. HVAC adalah contoh baik yang paling relevan aplikasinya. Tujuan dari sistem HVAC adalah untuk mengontrol parameter penting bagi penghuninya: suhu dan kelembapan, serta kualitas udara dan tekanan udara sampai batas tertentu. Parameter ini dapat berubah sewaktu-waktu, disebabkan oleh masukan yang berada di luar kendali sistem. Karena cara masukan ini berinteraksi rumit dan cara sistem bereaksi terhadap masukan ini juga lebih kompleks.

Suhu luar akan mengikuti norma musiman, namun bisa juga berubah secara tiba-tiba berdasarkan kecepatan dan arah angin, tingkat tutupan awan, dan jumlah curah hujan. Hal yang sama juga berlaku untuk kelembapan. Tingkat kelembapan di dalam gedung dipengaruhi oleh kelembapan luar, setiap perubahan perlu dideteksi dan dilakukan penyesuaian. Pendekatan loop tertutup terhadap apa yang sebenarnya merupakan sistem loop terbuka memerlukan lebih dari sekedar aturan sederhana. Di sinilah AI dapat berperan.

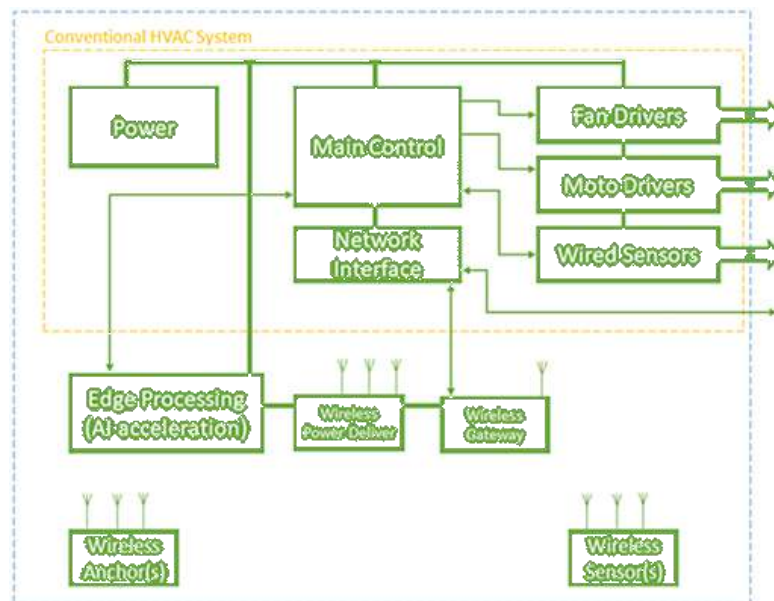
Seperti namanya, sistem HVAC sedang dalam perjalanan. Mereka mulai dengan pemanasan dan kemudian menambahkan ventilasi dan sekarang termasuk AC, dengan R untuk pendinginan kadang-kadang ditambahkan untuk mengukur baik. Sensor suhu, kelembapan dan tekanan memainkan peranan penting dalam menciptakan bagian tertutup dari sistem loop terbuka yang inheren ini. American Society of Heating, Refrigeration and Air-Conditioning Engineers (ASHRAE) perannya menjadi sangat aktif di sini, memberikan panduan mengenai sensor apa yang harus digunakan dan dimana dapat menggunakannya.

Kebutuhan akan sensor juga berkembang seiring dengan HVAC. Suhu dan kelembapan kini menjadi lebih penting untuk menjaga kesehatan lingkungan. Dorongan untuk efisiensi energi yang lebih tinggi dalam sistem HVAC juga semakin cepat. ASHRAE meluncurkan gugus tugas dekarbonisasi bangunan guna menurunkan emisi dari energi yang mereka gunakan. Oleh karena itu, menambahkan lebih banyak sensor ke sistem terutama yang menggunakan AI, akan menghasilkan kontrol lebih baik. Hal ini menciptakan beberapa tujuan desain yang dapat diatasi dengan menggunakan produk sensor terbaru ditambah dengan teknologi baru.

#### **Usulan Sistem HVAC Dengan Daya Nirkabel, Sensor Nirkabel, dan AI**

Di sini disajikan skenario masa depan dimana produk dan teknologi digabungkan untuk menciptakan HVAC generasi berikutnya. Sensor pintar bukanlah hal baru, mereka mendukung IoT. Mengintegrasikan sensor ke dalam sistem adalah satu hal, namun kami berupaya memperluas jangkauan sistem HVAC menggunakan sensor cerdas secara terdistribusi. Dalam sistem HVAC yang kami usulkan, AI akan digunakan untuk memanfaatkan data suhu dan kelembapan yang disediakan oleh sensor jarak jauh yang didistribusikan ke seluruh gedung (Jazaeri, 2019).

Langkah pertama adalah memilih sensor suhu dan kelembapan terbaik untuk tugas tersebut. Yang diinginkan adalah sensor pintar ini berukuran kecil dan berdaya rendah, namun juga harus memberikan akurasi yang tinggi. Sistem HVAC awal tidak menggunakan sensor sama sekali. Ketika ditambahkan, unsur-unsur tersebut sederhana, seringkali hanya elemen resistif. Beberapa sistem HVAC masih menggunakan sensor sederhana ini, bahkan yang kini menggunakan kontrol digital langsung (DDC).



**Gambar 3.** Usulan sistem HVAC dengan daya nirkabel, sensor nirkabel, dan AI

Selain memberi daya pada sensor pintar dan memahami data apa yang ditawarkannya, ada persyaratan lain yang perlu dipertimbangkan. Untuk sistem HVAC, lokasi sensor juga sangat penting. Agar sistem kecerdasan buatan dapat bekerja, sistem tersebut perlu mengetahui area bangunan mana yang datanya terkait. Variasi suhu dan kelembapan di seluruh gedung merupakan hal mendasar untuk pengoperasian yang efisien.

Jika arsitektur sistem diperbaiki sebelum dipasang, lokasi sensor sudah diketahui. Namun dalam visi sistem HVAC masa depan menggunakan AI untuk beradaptasi dan beroperasi lebih efisien, tidak ada asumsi bahwa jumlah dan lokasi sensor pintar tetap. Sekali lagi, teknologi datang untuk menyelamatkan. Dalam hal ini adalah penginderaan posisi dalam ruangan menggunakan sinyal nirkabel. Hampir semua teknologi nirkabel populer kini menyediakan cara untuk menentukan posisi termasuk Wi-Fi, Bluetooth, Zigbee, UWB dan banyak lagi. Alasan utamanya adalah karena GPS tidak berfungsi dengan baik dalam ruang.

Secara umum, suatu posisi ditentukan relatif terhadap titik-titik yang diketahui. Titik-titik yang diketahui biasanya merupakan transceiver nirkabel lainnya di lokasi tetap. Perangkat bergerak dapat menentukan posisinya sendiri dengan menganalisis kekuatan, waktu terbang, atau sudut datangnya sinyal yang datang dari transceiver tetap. Setiap teknologi nirkabel melakukan hal ini sedikit berbeda tergantung pada kemampuan perangkat kerasnya. Beberapa sistem penentuan posisi dalam ruangan dapat memberikan akurasi sentimeter dan untuk pelacakan aset dimana hal ini sangat penting. Untuk tujuan ini, posisi tepatnya tidak terlalu penting. Sistem HVAC akan memiliki peta bangunan sehingga mengetahui lantai, ruangan, dan dinding mana yang dekat dengan sensor sudah cukup.

### **Peningkatan Kenyamanan dan Personalisasi**

Sistem HVAC yang didukung AI memiliki kemampuan untuk mempelajari preferensi penghuni dan menyesuaikan pengaturannya. Dengan menganalisis pola dan perilaku pengguna, algoritme AI dapat membuat profil kenyamanan yang dipersonalisasi, memastikan kontrol suhu dan aliran udara individual di berbagai zona bangunan. Pendekatan yang dipersonalisasi ini meningkatkan kenyamanan dan kepuasan penghuni.

**Efisiensi Energi dan Penghematan Biaya**

Algoritme AI mengoptimalkan pengoperasian sistem HVAC dengan terus menganalisis dan beradaptasi dengan kondisi waktu nyata. Dengan mempertimbangkan faktor seperti suhu luar ruang, pola hunian, dan beban termal, sistem bertenaga AI menyesuaikan pengaturan secara dinamis sehingga memaksimalkan efisiensi energi. Hal ini menyebabkan berkurangnya konsumsi energi, tagihan listrik lebih rendah, dan jejak karbon lebih kecil.

**Pemeliharaan Prediktif dan Deteksi Kesalahan**

Algoritme AI memungkinkan kemampuan pemeliharaan prediktif dalam sistem HVAC. Dengan menganalisis data kinerja, AI dapat mengidentifikasi tanda-tanda awal penurunan kualitas peralatan atau potensi kesalahan. Pendekatan proaktif ini memungkinkan intervensi pemeliharaan tepat waktu, mengurangi waktu henti, dan mengoptimalkan keandalan sistem. AI juga membantu dalam deteksi kesalahan dan diagnostik, menunjukkan dengan tepat akar penyebab masalah dan memungkinkan penyelesaian yang cepat (Ahmadi-Karvigh, 2019).

**Manajemen Beban Cerdas dan Respon Permintaan**

Algoritme AI mengoptimalkan penggunaan energi dengan mengelola beban HVAC secara cerdas. Selama periode permintaan puncak, sistem bertenaga AI dapat secara otomatis menyesuaikan titik setel suhu atau mengaktifkan strategi pelepasan beban untuk mengurangi konsumsi energi tanpa mengurangi kenyamanan penghuni. Manajemen beban cerdas ini berkontribusi pada stabilitas jaringan dan menurunkan biaya energi keseluruhan.

**Semua Pihak Bisa Membuat Sistem HVAC yang Lebih Baik**

Ada motivasi kuat untuk meningkatkan efisiensi energi pada bangunan komersial. Hal ini berkaitan dengan cara kerja sistem BMS dan HVAC. Semua penghuni pernah berada di ruangan yang suhu dan kelembapannya sepertinya tidak tepat. Hal ini sering kali mengarah pada siklus pendinginan dan pemanasan saat sistem kontrol mencoba mencapai target. Lebih banyak data juga akan membantu membuat AI lebih efektif, sehingga memunculkan konsep sensor pintar terdistribusi. Dalam skenario yang dijelaskan di sini, sensor pintar menggunakan posisi dalam ruangan dan pengiriman daya nirkabel, serta pendekatan berorientasi layanan untuk mengirimkan data tersebut. Ini semua adalah teknologi nyata yang tersedia saat ini. Saat ini sudah ditemukan jalan menuju HVAC masa depan. AI sudah digunakan di BMS dan HVAC, dan HTU31 juga disukai oleh para produsen HVAC.



## KESIMPULAN

Kecerdasan Buatan merevolusi industri HVAC, memberdayakan sistem untuk memberikan kenyamanan yang dipersonalisasi, memaksimalkan efisiensi energi, dan mengurangi biaya. Melalui integrasi algoritme AI dan pembelajaran mesin atau machine learning ML, sistem HVAC dapat beradaptasi terhadap perubahan kondisi, mengoptimalkan konsumsi energi, dan secara proaktif mengatasi kebutuhan pemeliharaan. Dengan keahlian dalam teknologi Otomasi dan Kontrol Bangunan serta AI berada di garis depan revolusi ini, maka akhirnya dapat menyediakan sistem HVAC bertenaga AI yang canggih dan dapat memperoleh manfaat dari kemampuan AI yang canggih, efisiensi energi yang unggul, dan kenyamanan yang optimal. Semua pengguna dapat merasakan masa depan sistem HVAC dan menikmati manfaat teknologi AI mutakhir untuk kenyamanan dan kebutuhan dalam manajemen energi.

AI membawa kemajuan luar biasa pada sistem HVAC. Kemajuan tersebut mencakup analisis data cerdas, pemeliharaan prediktif, optimalisasi energi, deteksi kesalahan dan diagnostik, manajemen kualitas udara dalam ruangan, dan peningkatan berkelanjutan melalui pembelajaran mesin. Dengan memanfaatkan AI terdapat berbagai keuntungan yaitu dapat meningkatkan tingkat kenyamanan, mengurangi konsumsi energi, meningkatkan kinerja sistem, dan meningkatkan keberlanjutan. Seiring dengan terus berkembangnya AI, masa depan sistem HVAC menjanjikan inovasi dan efisiensi di lingkungan yang dibangun.

## REKOMENDASI KEBIJAKAN (POLICY BRIEF)

Tren masa depan dalam integrasi AI terkait Integrasi Kecerdasan Buatan (AI) dalam sistem HVAC merupakan proses berkelanjutan yang menarik dibahas. Seiring dengan kemajuan teknologi, integrasi AI dalam sistem HVAC akan menghasilkan beberapa tren transformatif:

1. Analisis Prediktif Tingkat Lanjut: Algoritme AI akan menjadi lebih canggih dalam menganalisis data dari sensor, kinerja peralatan, prakiraan cuaca, dan pola hunian. Hal ini akan memungkinkan sistem HVAC memprediksi dan mengoptimalkan konsumsi energi, mengantisipasi kebutuhan pemeliharaan, dan beradaptasi terhadap perubahan kondisi secara real-time.
2. Peningkatan Efisiensi Energi: Sistem HVAC bertenaga AI di masa depan akan memiliki kemampuan yang lebih baik untuk lebih mengoptimalkan efisiensi energi. Algoritme AI akan memanfaatkan teknik pembelajaran mesin canggih untuk terus belajar dan beradaptasi dengan dinamika bangunan, perilaku penghuni, dan kondisi cuaca. Hal ini akan menghasilkan pengelolaan energi yang lebih tepat dan dinamis, mengurangi limbah dan memaksimalkan penghematan energi.
3. Integrasi dengan Sistem Bangunan Cerdas: Sistem HVAC yang didukung AI akan berintegrasi secara mulus dengan teknologi bangunan pintar lainnya, seperti kontrol pencahayaan, pemantauan hunian, dan sistem manajemen gedung. Integrasi ini akan memungkinkan pendekatan holistik untuk membangun otomatisasi, di mana algoritma AI mengoptimalkan konsumsi energi di berbagai sistem, sehingga memastikan efisiensi operasional secara keseluruhan.

Keahlian dalam Sistem HVAC yang Didukung AI akan menggabungkan keahlian dalam algoritme AI dan Pengontrol Logika yang Dapat Diprogram (PLC) untuk menghadirkan solusi HVAC mutakhir. Dengan pengetahuan mendalam tentang otomasi industri dan sistem HVAC, Pemerintah Provinsi DKI Jakarta dapat mendorong pelaku industri untuk merancang dan mengimplementasikan sistem HVAC bertenaga AI yang disesuaikan untuk memenuhi kebutuhan unik bisnis di seluruh industri. Komitmen Pemerintah Provinsi Jakarta terhadap kualitas dan inovasi harus memastikan bahwa masyarakat mendapat manfaat dari kemajuan terbaru dalam teknologi AI untuk kebutuhan HVAC dalam menunjang kehidupan sehari-hari.

## DAFTAR PUSTAKA

- Aftab, M.; Chen, C.; Chau, C.K.; Rahwan, T. Automatic HVAC Control with Real-Time Occupancy Recognition and Simulation-Guided Model Predictive Control in Low-Cost Embedded System. *Energy Build.* **2017**, *154*, 141–156.
- Ahmadi-Karvigh, S.; Becerik-Gerber, B.; Soibelman, L. Intelligent Adaptive Automation: A Framework for an Activity-Driven and User-Centered Building Automation. *Energy Build.* **2019**, *188–189*, 184–199.
- Azuatalam, D.; Lee, W.-L.; de Nijs, F.; Liebman, A. Reinforcement Learning for Whole-Building HVAC Control and Demand Response. *Energy AI* **2020**, *2*, 100020.
- Capozzoli, A.; Piscitelli, M.S.; Gorrino, A.; Ballarini, I.; Corrado, V. Data Analytics for Occupancy Pattern Learning to Reduce the Energy Consumption of HVAC Systems in Office Buildings. *Sustain. Cities Soc.* **2017**, *35*, 191–208.
- Deng, Z.; Chen, Q. Development and Validation of a Smart HVAC Control System for Multi-Occupant Offices by Using Occupants' Physiological Signals from Wristband. *Energy Build.* **2020**, *214*, 109872.
- Du, Y.; Zandi, H.; Kotevska, O.; Kurte, K.; Munk, J.; Amasyali, K.; Mckee, E.; Li, F. Intelligent Multi-Zone Residential HVAC Control Strategy Based on Deep Reinforcement Learning. *Appl. Energy* **2021**, *281*, 116117.
- Gholamzadehmir, M.; del Pero, C.; Buffa, S.; Fedrizzi, R.; Aste, N. Adaptive-Predictive Control Strategy for HVAC Systems in Smart Buildings—A Review. *Sustain. Cities Soc.* **2020**, *63*, 102480.
- Jung, W.; Jazizadeh, F. Human-in-the-Loop HVAC Operations: A Quantitative Review on Occupancy, Comfort, and Energy-Efficiency Dimensions. *Appl. Energy* **2019**, *239*, 1471–1508.
- Jazaeri, J.; Gordon, R.L.; Alpcan, T. Influence of Building Envelopes, Climates, and Occupancy Patterns on Residential HVAC Demand. *J. Build. Eng.* **2019**, *22*, 33–47.
- Nikdel, L.; Janoyan, K.; Bird, S.D.; Powers, S.E. Multiple Perspectives of the Value of Occupancy-Based HVAC Control Systems. *Build. Environment*. **2018**, *129*, 15–25.
- Pang, Z.; Chen, Y.; Zhang, J.; O'Neill, Z.; Cheng, H.; Dong, B. Nationwide HVAC Energy-Saving Potential Quantification for Office Buildings with Occupant-Centric Controls in Various Climates. *Appl. Energy* **2020**, *279*, 115727.
- Peng, Y.; Rysanek, A.; Nagy, Z.; Schlüter, A. Using Machine Learning Techniques for Occupancy-Prediction-Based Cooling Control in Office Buildings. *Appl. Energy* **2018**, *211*, 1343–1358.

- Sala-Cardoso, E.; Delgado-Prieto, M.; Kampouropoulos, K.; Romeral, L. Activity-Aware HVAC Power Demand Forecasting. *Energy Build.* **2018**, *170*, 15–24.
- Shi, J.; Yu, N.; Yao, W. Energy Efficient Building HVAC Control Algorithm with Real-Time Occupancy Prediction. *Energy Procedia* **2017**, *111*, 267–276.
- Yang, Z.; Ghahramani, A.; Becerik-Gerber, B. Building Occupancy Diversity and HVAC (Heating, Ventilation, and Air Conditioning) System Energy Efficiency. *Energy* **2016**, *109*, 641–649.

# Penerbit Gunadarma



## **MENINGKATKAN EFISIENSI DAN PENGALAMAN PENUMPANG DALAM TRANSPORTASI PUBLIK JAKARTA MELALUI PENGUNAAN KECERDASAN BUATAN**

**Basri Fahriza<sup>1\*</sup>, Ahmad Faisal<sup>2</sup>, Intan Maesti<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>Manajemen, Fakultas Manajemen dan Bisnis, Institut Transportasi dan Logistik  
Trisakti, Jakarta 13410, Indonesia

<sup>2</sup>Manajemen, Pascasarjana, Universitas Dirgantara Marsekal Suryadharma,  
Jakarta 13610, Indonesia

<sup>3</sup>Manajemen, Fakultas Manajemen dan Bisnis, Institut Transportasi dan Logistik  
Trisakti, Jakarta 13410, Indonesia

\*Penulis Koresponden, e-mail: [basrifahriza@itltrisakti.ac.id](mailto:basrifahriza@itltrisakti.ac.id)

### **ABSTRAK**

Kecerdasan Buatan (AI) telah menjadi pendorong utama dalam transformasi transportasi publik, termasuk di Jakarta, ibu kota Indonesia. Dalam artikel ini, penulis mengeksplorasi bagaimana AI telah mengubah lanskap transportasi publik di Jakarta dengan fokus pada aplikasi praktis dan tren masa depan penggunaan chatbot. Penulis juga mengidentifikasi tantangan dan hambatan dalam penerapan chatbot dalam transportasi publik serta memberikan rekomendasi kebijakan untuk mengatasi hal tersebut. Temuan utama dari penelitian ini adalah bahwa penggunaan AI dalam transportasi publik dapat meningkatkan efisiensi operasional dan pengalaman penumpang. Jakarta memiliki peluang besar untuk memperbaiki layanan transportasi publiknya dengan mengadopsi teknologi AI, terinspirasi oleh kesuksesan TfL dan Bus Uncle. Oleh karena itu, penulis menyampaikan rekomendasi kebijakan kepada Pemerintah Provinsi DKI Jakarta, termasuk alokasi dana yang memadai, pembentukan regulasi yang jelas, dan kolaborasi antar berbagai pemangku kepentingan. Dengan demikian, artikel ini memberikan gambaran menyeluruh tentang penggunaan AI dalam transportasi publik Jakarta, menggambarkan temuan, implikasi, dan rekomendasi kebijakan untuk mencapai sistem transportasi yang lebih efisien dan berkelanjutan. Penulis berkontribusi pada diskusi tentang masa depan transportasi kota yang lebih adaptif dan efisien, sambil memberikan wawasan tentang bagaimana Jakarta dapat mengoptimalkan layanan transportasi publiknya melalui pemanfaatan teknologi AI.

Kata Kunci: AI, Chatbot, Efisiensi, Kecerdasan Buatan, Pengalaman Penumpang, Transportasi Publik

### **PENDAHULUAN**

Transportasi publik memainkan peran sentral dalam mendukung mobilitas perkotaan dan gaya hidup berkelanjutan. Jakarta, sebagai salah satu kota metropolitan terpadat di dunia, dihadapkan pada tantangan besar dalam menyediakan sistem transportasi yang efisien, terjangkau, dan ramah lingkungan bagi penduduknya. Masalah keamanan, kenyamanan, dan kurangnya regulasi kepemilikan kendaraan pribadi telah menyebabkan hanya 25% dari penduduk Jakarta yang menggunakan transportasi publik, mengakibatkan kerugian finansial dan kemacetan lalu lintas yang merugikan. Jakarta memasuki era kota pintar dengan memanfaatkan Teknologi Informasi dan Komunikasi, termasuk Kecerdasan Buatan (AI).

Kecerdasan buatan menawarkan solusi yang menjanjikan untuk meningkatkan transportasi publik Jakarta. Artikel ini bertujuan untuk mengeksplorasi dampak penerapan kecerdasan buatan dalam mengubah lanskap transportasi publik di Jakarta. Penulis akan menguraikan berbagai aplikasi AI

yang telah diterapkan untuk meningkatkan efisiensi operasional dan pengalaman penumpang dalam sistem transportasi publik kota ini. Dengan melalui telaah literatur, analisis data, dan studi kasus, penulis akan membahas bagaimana AI menjadi alat revolusioner dalam mengatasi tantangan kompleksitas mobilitas perkotaan di Jakarta.

Dalam konteks pembahasan ini, penting untuk memahami bahwa keberhasilan penerapan AI dalam transportasi publik tidak hanya menjadi persoalan teknis, tetapi juga melibatkan aspek regulasi, keamanan data, dan kesiapan infrastruktur. Tantangan dan hambatan ini menjadi bagian penting dalam memahami progres dan potensi AI dalam meningkatkan sistem transportasi publik Jakarta.

Dengan memberikan gambaran singkat tentang pentingnya transportasi publik dalam konteks perkotaan yang berkembang pesat, serta peran revolusioner kecerdasan buatan dalam mengatasi tantangan tersebut, artikel ini berupaya untuk memberikan wawasan yang mendalam dan relevan bagi pembaca tentang bagaimana AI dapat dijadikan alat untuk meningkatkan efisiensi dan pengalaman penumpang dalam transportasi publik Jakarta. Dengan demikian, diharapkan artikel ini dapat menjadi panduan yang bermanfaat dalam memahami dampak dan potensi AI dalam merancang masa depan transportasi publik yang lebih baik di Jakarta.

## **STATE OF THE ART**

Meskipun kecerdasan buatan (AI) menjanjikan peningkatan besar dalam transportasi publik, tantangan dan peluang yang terkait dengan penerapannya masih menjadi fokus utama. Potensi positif penerapan AI telah terbukti melalui penggunaannya dalam manajemen lalu lintas dan pelayanan pelanggan di banyak kota, termasuk Jakarta. Analisis terhadap penggunaan AI dalam transportasi publik menunjukkan adopsi yang semakin meningkat dari berbagai teknologi AI untuk meningkatkan efisiensi operasional dan pengalaman penumpang.

Salah satu aspek utama dari penerapan AI dalam transportasi publik adalah dalam pengelolaan lalu lintas. Banyak kota telah memperkenalkan aplikasi AI untuk meramalkan pola perjalanan, mengoptimalkan pengaturan tempo lampu lalu lintas, dan mengurangi kemacetan di titik-titik rawan. Penggunaan AI dalam perencanaan rute juga telah membantu dalam menyusun rekomendasi terbaik berdasarkan kondisi lalu lintas, preferensi pengguna, dan faktor-faktor lainnya guna meminimalkan waktu tempuh dan meningkatkan kenyamanan perjalanan.

Selain manajemen lalu lintas, perkembangan terbaru dalam penggunaan AI dalam transportasi publik mencakup penerapan chatbot dan analisis data untuk meningkatkan pelayanan pelanggan. Chatbot berbasis AI memberikan respons yang cepat dan tepat terhadap pertanyaan dan permintaan penumpang, sementara analisis data membantu dalam memahami pola perjalanan penumpang dan tingkat kepuasan mereka.

Dengan inovasi dan perkembangan terbaru ini, penggunaan AI dalam transportasi publik semakin meluas dan terdiversifikasi. Hal ini membuka peluang besar untuk menciptakan sistem transportasi yang lebih adaptif, efisien, dan ramah pengguna di berbagai kota di seluruh dunia, termasuk Jakarta. Meskipun masih ada tantangan yang perlu diatasi, potensi positif dari penerapan AI dalam transportasi publik sangat menjanjikan untuk meningkatkan pengalaman penumpang dan efisiensi operasional secara keseluruhan. Dengan langkah-langkah strategis yang tepat, Jakarta dapat terus memperkuat posisinya sebagai pusat transportasi yang modern dan adaptif.

## PEMBAHASAN

### Konsep dan Teori Dasar AI dalam Transportasi Publik

Pembahasan tentang konsep dan teori dasar kecerdasan buatan (AI) dalam konteks transportasi publik menuntut pemahaman mendalam tentang prinsip-prinsip fundamental yang mendasarinya. AI mengacu pada kemampuan sistem komputer untuk melakukan tugas-tugas yang memerlukan kecerdasan manusia, seperti pembelajaran, pengambilan keputusan, dan pengenalan pola. Konsep dasar AI mencakup beberapa pendekatan, termasuk machine learning, deep learning, dan natural language processing (NLP).

Machine learning, sebagai cabang utama dari AI, memungkinkan komputer untuk belajar dari data dan membuat prediksi atau keputusan tanpa perlu diprogram secara eksplisit. Deep learning, sebuah subbidang dari machine learning, menggunakan jaringan saraf tiruan yang terinspirasi oleh struktur otak manusia. Sementara itu, natural language processing (NLP) adalah kemampuan komputer untuk memahami, menganalisis, dan menghasilkan bahasa manusia secara alami (Jevinger et al., 2024).

Kecerdasan buatan (AI) merupakan inovasi dalam ilmu komputer yang sangat penting di era sekarang dan masa depan. Berasal dari bahasa Latin "intelligo" yang berarti "saya mengerti", AI bertujuan untuk memahami dan mengambil tindakan. Perkembangan AI dimulai dari kemunculan komputer sekitar tahun 1940-an (Solihati & Indriyani, 2021). AI mencerminkan kemampuan untuk mereplikasi kecerdasan manusia dalam berbagai perangkat, memungkinkan mereka untuk menyelesaikan masalah dan memahami konteks seperti manusia (Prathamesh et al., 2021).

Dalam konteks transportasi publik, konsep dan teori dasar AI diterapkan untuk meningkatkan efisiensi operasional dan pengalaman penumpang. Penggunaan AI dalam pengelolaan lalu lintas dapat membantu meramalkan pola perjalanan, mengoptimalkan pengaturan tempo lampu lalu lintas, dan mengurangi kemacetan. Sementara itu, dalam layanan pelanggan, chatbot berbasis AI memberikan respons yang cepat dan akurat terhadap pertanyaan penumpang, meningkatkan kepuasan dan pengalaman pengguna secara keseluruhan. Pengalaman penumpang yang positif sangat penting karena dapat berpengaruh pada pilihan seleksi perjalanan dan loyalitas pengguna terhadap transportasi publik.

Efisiensi dalam transportasi publik tidak hanya berarti penghematan biaya tetapi juga optimalisasi sumber daya yang ada untuk memberikan layanan yang lebih baik. Efisiensi atau kegunaan adalah proses menghemat 7M + 1I (manusia, uang, material, mesin, metode, pemasaran, menit + informasi) dengan melakukan pekerjaan dengan benar (Alkaf et al., 2021). Dalam manajemen, efisiensi berarti melakukan pekerjaan yang benar, yaitu mencapai tujuan yang tepat, dan menghasilkan hasil yang baik untuk organisasi (Abdul & Al-Sayed Omar, 2023). Efisiensi didefinisikan sebagai: "kemampuan untuk menghasilkan hasil yang diharapkan atau membawa perubahan yang diharapkan" (Abdul & Al-Sayed Omar, 2023). Dalam konteks transportasi publik, tujuan efisiensi adalah untuk meningkatkan operasional sistem, berkurangnya waktu tunggu, dan menyediakan layanan yang dapat diandalkan dan nyaman bagi penumpang.

Atribut produk atau layanan yang menentukan pengalaman perjalanan memainkan peran penting dalam pilihan seleksi perjalanan oleh penumpang. Penting untuk memahami atribut-atribut ini guna memberikan pengalaman yang lebih baik (Ittamalla & Srinivas Kumar, 2021). Pengalaman penumpang dimulai dari keputusan untuk bepergian, yang berarti bahkan sebelum perjalanan dimulai ketika penumpang mulai mencari transportasi di situs web, mereka mulai merasakan



layanan penyedia jasa. Pengalaman penumpang total dapat dipahami sebagai integrasi dari berbagai komponen pengalaman penumpang mulai dari pra-pembelian hingga pasca-pembelian atau konsumsi pasca-layanan (Ittamalla & Srinivas Kumar, 2021).

Chatbot adalah aplikasi produk yang membantu dalam melakukan percakapan menggunakan metodologi berbasis audio atau teks. Program dalam chatbot dikembangkan untuk meniru percakapan manusia. Penggunaan chatbot untuk berbagai tujuan mencakup layanan pelanggan, pengalihan permintaan, atau pengumpulan informasi. Beberapa chatbot banyak digunakan untuk pemrosesan urutan kata dengan menggunakan natural language processing (Prathamesh et al., 2021).

Dengan pemahaman yang mendalam tentang konsep dan teori dasar AI serta penerapannya yang bijaksana dalam konteks transportasi publik, diharapkan dapat terwujud sistem transportasi yang lebih efisien, adaptif, dan berkelanjutan bagi masyarakat Jakarta. Penggunaan AI diharapkan tidak hanya meningkatkan efisiensi tetapi juga memberikan pengalaman perjalanan yang lebih baik dan lebih memuaskan bagi penumpang.

### **Aplikasi Praktis AI dalam Transportasi Publik**

Penerapan kecerdasan buatan (AI) dalam konteks transportasi publik Jakarta melibatkan pemanfaatan teknologi untuk meningkatkan efisiensi dan kenyamanan perjalanan penumpang. Salah satu aplikasi praktis AI dalam transportasi publik adalah dalam manajemen lalu lintas. AI digunakan untuk memprediksi pola perjalanan, mengoptimalkan pengaturan tempo lampu lalu lintas, dan berkurangnya kemacetan di titik-titik rawan. Selain itu, dalam perencanaan rute, AI digunakan untuk menyusun rekomendasi terbaik berdasarkan kondisi lalu lintas, preferensi pengguna, dan faktor-faktor lainnya guna meminimalkan waktu tempuh dan meningkatkan kenyamanan perjalanan.

Penerapan kecerdasan buatan (AI) dalam transportasi publik tidak hanya berfokus pada aspek operasional, melainkan juga menjangkau layanan pelanggan. Salah satu contohnya adalah penggunaan chatbot berbasis AI yang signifikan dalam meningkatkan interaksi antara penyedia layanan dan penumpang. Sebagai contoh, Transport for London (TfL) menciptakan chatbot mereka sendiri sebagai layanan resmi untuk menyediakan informasi perjalanan yang terstruktur kepada pengguna melalui platform seperti Facebook Messenger (Saran, 2017). TfL memastikan chatbot mereka memberikan respons yang formal dan informatif, memenuhi kebutuhan pengguna untuk mendapatkan informasi perjalanan yang akurat dan berguna. Sebaliknya, Bus Uncle, yang dibuat oleh pengguna dengan pendekatan yang lebih lucu dan menarik, mungkin lebih fleksibel dalam interaksi dan kontennya. Orang-orang menyukai Bus Uncle karena dia cerdas, sinis, lucu, informatif, dan yang paling penting, lokal dan mudah dipahami. Ketika Anda bertanya kapan bus akan datang, responsnya sesuai dengan yang Anda harapkan dari seorang kapten bus Singapura. Dia merespons dengan gaya bahasa yang khas, seperti lah, aiyo, jialat, walao. Dia juga memiliki selera humor. Jika Anda menunggu lebih dari 15 menit, dia mungkin bahkan menawarkan Anda untuk lim kopi (minum kopi dalam bahasa Hokkien)” (Nan et al., 2021).

Perbedaan dalam pendekatan ini menggarisbawahi pentingnya konteks dan tujuan penggunaan AI dalam transportasi publik. Di satu sisi, lembaga industri seperti TfL cenderung memberikan informasi resmi dan terstruktur untuk memastikan keandalan dan kepercayaan penumpang terhadap layanan transportasi. Di sisi lain, pendekatan yang lebih santai dan personal dari aplikasi seperti Bus Uncle mungkin lebih sesuai untuk meningkatkan keterlibatan pengguna dan menyediakan layanan yang lebih adaptif.

Penggunaan AI dalam transportasi publik Jakarta tidak hanya terbatas pada manajemen lalu lintas dan layanan pelanggan, tetapi juga melibatkan analisis data untuk memahami pola perjalanan penumpang, preferensi, serta tingkat kepuasan mereka. Informasi ini dapat digunakan untuk menyusun strategi pelayanan yang lebih personal dan terukur, meningkatkan pengalaman penumpang secara keseluruhan.

### **Tantangan dan Hambatan dalam Penerapan Chatbot dalam Transportasi Publik**

Penerapan chatbot dalam transportasi publik menghadapi beberapa tantangan yang signifikan. Pertama, perubahan dalam kebiasaan komunikasi menjadi hambatan, karena banyak pelanggan masih terbiasa dengan saluran komunikasi tradisional seperti telepon dan email. Untuk mengatasi ini, penting bagi perusahaan untuk tetap menyediakan saluran komunikasi tradisional sambil secara proaktif mendorong penggunaan chatbot.

Selanjutnya, isu privasi dan perlindungan data menjadi krusial, terutama ketika menggunakan platform pihak ketiga seperti Facebook Messenger. Perusahaan harus memprioritaskan keamanan data pengguna dan memastikan transparansi dalam pengumpulan dan penggunaan data. Ketidakpastian tentang privasi dan keamanan data dapat menjadi penghalang serius bagi adopsi chatbot, terutama dalam lingkungan bisnis yang sangat sensitif terhadap privasi (Zumstein & Hundertmark, 2017).

Tantangan lainnya adalah integrasi teknis chatbot dengan sistem transportasi yang sudah ada. Proses ini seringkali rumit dan membutuhkan investasi waktu serta sumber daya yang signifikan. Selain itu, kesuksesan adopsi chatbot juga sangat tergantung pada edukasi dan insentif yang diberikan perusahaan kepada pengguna. Terakhir, keterbatasan fungsionalitas chatbot membatasi kemampuannya dalam menangani situasi kompleks yang memerlukan interaksi manusia. Meskipun menawarkan potensi besar, tantangan ini harus diatasi dengan cermat untuk memastikan implementasi chatbot yang sukses dalam transportasi publik (Zumstein & Hundertmark, 2017).

Tantangan lainnya yang juga patut diperhatikan adalah persiapan yang diperlukan dalam mengelola dan memelihara chatbot secara efektif. Meskipun chatbot dapat memberikan respons 24/7, mereka memerlukan perawatan dan pembaruan terus-menerus untuk tetap relevan dan efektif. Hal ini memerlukan alokasi sumber daya dan biaya tambahan bagi perusahaan (Kuberkar & Singhal, 2020). Dalam konteks keamanan data, penting untuk memperhatikan tantangan yang terkait dengan privasi dan keamanan data pengguna. Kesadaran akan pentingnya perlindungan data pribadi dan implementasi kebijakan yang ketat dalam hal pengelolaan data sangat diperlukan untuk mengatasi hambatan ini (Solihati & Indriyani, 2021). Begitu juga, penting untuk mempertimbangkan tantangan dalam mengelola dataset yang besar dan beragam, serta memilih metode AI yang sesuai dengan masalah yang dihadapi (Abduljabbar et al., 2019).

Selain itu, tantangan teknis seperti keamanan dan integritas sistem juga menjadi perhatian utama dalam mengimplementasikan teknologi AI, termasuk chatbot (Abduljabbar et al., 2019). Dalam menghadapi tantangan ini, penting bagi perusahaan dan pemerintah untuk mempertimbangkan kebijakan dan strategi yang tepat untuk memastikan kesuksesan adopsi chatbot dalam transportasi publik.

### **Trend Masa Depan Penggunaan Chatbot dalam Transportasi Publik**

Tren masa depan penggunaan chatbot dalam transportasi publik menunjukkan perkembangan yang menarik yang perlu diperhatikan untuk meningkatkan pengalaman pengguna dan memenuhi kebutuhan pasar yang terus berkembang. Salah satu tren utama adalah peningkatan kepercayaan dan penerimaan pengguna terhadap chatbot setelah tahap uji coba awal. Meskipun sebagian besar pengguna telah yakin dengan prototipe chatbot, masih ada yang enggan melanjutkan penggunaannya. Oleh karena itu, pengembang perlu terus meningkatkan fungsionalitas dan kinerja chatbot untuk memberikan nilai tambah yang lebih besar bagi pengguna (Zumstein & Hundertmark, 2017).

Selain itu, perkembangan chatbot juga harus memperhatikan preferensi pengguna terkait integrasi chatbot dengan platform yang umum digunakan, seperti aplikasi mandiri atau messenger seperti WhatsApp atau Facebook Messenger. Meskipun tren global menunjukkan pergeseran ke arah integrasi chatbot dalam aplikasi pesan, survei menunjukkan bahwa pengguna cenderung lebih memilih penggunaan chatbot sebagai aplikasi mandiri. Hal ini menunjukkan bahwa pengguna masih menghargai kejelasan dan kekhususan dari aplikasi mandiri dalam mengakses layanan chatbot (Zumstein & Hundertmark, 2017).

Selain itu, pengembangan chatbot harus mempertimbangkan peningkatan kebutuhan pengguna akan fleksibilitas dan keberagaman dalam jenis tiket dan layanan yang ditawarkan. Pengguna menginginkan kemampuan untuk memasukkan preferensi tiket yang berbeda dan mengakses semua jenis tiket yang tersedia. Oleh karena itu, chatbot harus terus ditingkatkan dan diperluas fungsionalitasnya agar dapat memenuhi berbagai kebutuhan pengguna dengan lebih baik (Zumstein & Hundertmark, 2017).

Dengan memperhatikan tren-tren ini, penggunaan chatbot dalam transportasi publik diprediksi akan terus berkembang seiring dengan peningkatan kemampuan teknologi dan adaptasi terhadap kebutuhan pengguna yang terus berkembang. Dengan mengikuti tren ini, pengembang dapat memastikan bahwa chatbot tetap menjadi solusi yang relevan dan efektif dalam menyediakan layanan informasi dan pemesanan dalam industri transportasi publik yang dinamis. Di masa depan, chatbot juga dapat berperan sebagai pendamping perjalanan digital yang memberikan informasi perjalanan real-time dan menawarkan layanan personalisasi kepada pengguna (Kuberkar & Singhal, 2020). Selain itu, dengan kemampuan pemrosesan bahasa alami, chatbot dapat menganalisis dan memahami data tak terstruktur, seperti umpan balik penumpang, postingan media sosial, dan artikel berita, untuk membantu meningkatkan sistem transportasi secara keseluruhan (Singh, 2023).

Pada masa mendatang, kemampuan ChatGPT dalam pemrosesan bahasa alami akan menjadi semakin penting dalam pengembangan chatbot untuk transportasi publik. ChatGPT dapat digunakan untuk menganalisis dan memahami data tak terstruktur, seperti umpan balik penumpang, postingan media sosial, dan artikel berita (Singh, 2023). Dengan demikian, ChatGPT dapat membantu meningkatkan pemahaman tentang cara orang berbicara tentang sistem transportasi publik dan kekhawatiran yang mereka miliki. Kemampuan ini akan membantu pengembang dalam menghasilkan chatbot yang lebih responsif dan dapat memenuhi kebutuhan pengguna dengan lebih baik di masa depan.

## KESIMPULAN

Artikel ini mengeksplorasi bagaimana Kecerdasan Buatan (AI) mengubah transportasi publik di Jakarta dan memberikan rekomendasi kebijakan untuk penerapan chatbot. AI dapat meningkatkan efisiensi operasional dan pengalaman penumpang, memberikan Jakarta peluang untuk memperbaiki layanannya. Penulis merekomendasikan alokasi dana, regulasi yang jelas, dan kolaborasi pemangku kepentingan untuk mengatasi tantangan penerapan AI. Artikel ini menyajikan temuan, implikasi, dan rekomendasi untuk mencapai sistem transportasi yang lebih efisien dan berkelanjutan di Jakarta.

## REKOMENDASI KEBIJAKAN (*POLICY BRIEF*)

Sebagai langkah menuju transformasi yang lebih baik dalam sistem transportasi publik, penulis merekomendasikan Pemerintah Provinsi DKI Jakarta untuk mengambil langkah-langkah sebagai berikut:

1. Mengalokasikan Dana Penelitian dan Pengembangan yang cukup oleh Pemerintah untuk penelitian dan pengembangan teknologi kecerdasan buatan (AI) dalam transportasi publik. Dana ini dapat digunakan untuk pengembangan aplikasi AI yang lebih canggih, pelatihan model prediksi, dan eksperimen lapangan untuk meningkatkan efisiensi dan kenyamanan perjalanan penumpang.
2. Membentuk Regulasi yang jelas diperlukan untuk melindungi keamanan data dan privasi pengguna dalam implementasi AI. Pemerintah perlu bekerja sama dengan ahli hukum, pemangku kepentingan industri, dan masyarakat sipil untuk merumuskan kebijakan yang memastikan perlindungan data yang memadai tanpa menghambat inovasi teknologi.
3. Mendorong Kolaborasi antara pemerintah, operator transportasi, dan sektor swasta sangat penting dalam pengembangan dan implementasi teknologi AI. Pemerintah dapat memfasilitasi forum kolaborasi untuk memperkuat kerjasama antara berbagai pemangku kepentingan dan memastikan kesuksesan jangka panjang dalam menerapkan solusi AI dalam transportasi publik.

Dengan mengambil langkah-langkah ini, Pemerintah Provinsi DKI Jakarta dapat memperkuat infrastruktur transportasi publiknya, meningkatkan kualitas layanan, dan memberikan pengalaman perjalanan yang lebih baik bagi penduduk dan pengunjung kota Jakarta.

## DAFTAR PUSTAKA

- Abdul, A., & Al-Sayed Omar, R. (2023). Efficiency and effectiveness in management. *Journal of Survey in Fisheries Sciences*, 10(3S), 3382–3392.
- Alkaf, A., Yusliza, M. Y., Saputra, J., Muhammad, Z., & Bon, A. T. (2021). A review of work effectiveness and efficiency, service quality and organisational performance literature: A mini-review approach. *Proceedings of the International Conference on Industrial Engineering and Operations Management*, April 2022, 5127–5141. <https://doi.org/10.46254/an11.20210873>
- Ittamalla, R., & Srinivas Kumar, D. V. (2021). Determinants of holistic passenger experience in public transportation: Scale development and validation. *Journal of Retailing and Consumer Services*, 61(February), 102564. <https://doi.org/10.1016/j.jretconser.2021.102564>

- Jevinger, Zhao, C., Persson, J. A., & Davidsson, P. (2024). Artificial intelligence for improving public transport: a mapping study. In *Public Transport* (Vol. 16, Issue 1). Springer Berlin Heidelberg. <https://doi.org/10.1007/s12469-023-00334-7>
- Kuberkar, S., & Singhal, T. K. (2020). Factors influencing adoption intention of ai powered chatbot for public transport services within a smart city. *International Journal on Emerging Technologies*, 11(3), 948–958.
- Nan, W. Y., Hoe Siu Loon, & Jovina Ang. (2021). *Bus Uncle Chatbot-Creating a Successful Digital Business* (a). Singapore Management University. <https://www.tradegecko.com/blog/tradegecko/the-story-behind-tradegeckos-usd-10m-series-b>,
- Prathamesh, L., Akshay, B., Omkar, B., & Sanket, D. (2021). *AI CHATBOT FOR TRANSPORTATION SYSTEM*. 9(10), 908–913.
- Saran, C. (2017). *TfL develops artificial intelligence app on Facebook Messenger*. TechTarget. <https://www.computerweekly.com/news/450420639/TfL-develops-artificial-intelligence-app-on-Facebook-Messenger>
- Singh, J. (2023). *How ChatGPT will be game changer for Public Transit*. Mobility Innovators. <https://mobility-innovators.com/how-chatgpt-will-be-game-changer-for-public-transit-agencies/>
- Solihati, K. D., & Indriyani, D. (2021). Managing Artificial Intelligence on Public Transportation (Case Study Jakarta City, Indonesia). *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 717(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/717/1/012021>
- Zumstein, D., & Hundertmark, S. (2017). Communicating and transacting with chatbots: Insights from public transport. *Proceedings of the International Conference on WWW/Internet 2017 and Applied Computing 2017, October 2017*, 55–62.

Penerbit Gunadarma



## PENERAPAN IOT DALAM MENGATASI KEMACETAN LALU LINTAS PADA PUTAR BALIK JALAN RAYA

**Ben Rahman<sup>1\*</sup>, Septi Andryana<sup>2</sup>, Aris Gunaryati<sup>3</sup>**

<sup>1,2,3</sup> Sistem Informasi, Fakultas Teknologi Komunikasi dan  
Informatika, Universitas Nasional, Jakarta 12520, Indonesia

\*Penulis Koresponden, e-mail: [benrahman@civitas.unas.ac.id](mailto:benrahman@civitas.unas.ac.id)

### ABSTRAK

Kemacetan lalu lintas di sekitar putar balik jalan raya merupakan masalah yang sering dihadapi dalam sistem transportasi perkotaan khususnya Jakarta. Penyebaran kendaraan yang tidak teratur dan kurangnya pengaturan lalu lintas menyebabkan peningkatan risiko kecelakaan, penundaan perjalanan, dan ketidaknyamanan bagi pengguna jalan. Penelitian ini bertujuan untuk mengatasi kemacetan lalu lintas di sekitar putar balik jalan raya dengan memanfaatkan teknologi Artificial Intelligence (AI) dan sistem IoT (Internet of Things). Tujuan utama adalah untuk mengurangi kemacetan tanpa memerlukan pelebaran jalan, yang seringkali tidak memungkinkan dilakukan. Meskipun telah ada upaya untuk mengatasi kemacetan lalu lintas dengan memperluas jalan atau mengatur lampu lalu lintas, belum ada solusi yang sepenuhnya efektif dan efisien dalam mengatasi masalah ini di sekitar area u-turn (putar balik). Penelitian ini menggunakan pendekatan AI dan sistem IoT dengan pemanfaatan sensor dan kamera untuk mendeteksi kepadatan lalu lintas dan kondisi jalan raya di sekitar putar balik. Integrasi antara sensor jarak jauh dan kontrol lampu merah digunakan untuk mengoptimalkan arus lalu lintas. Solusi yang diusulkan mencakup penempatan sensor pada tiang otomatis di sekitar putar balik untuk mendeteksi kepadatan lalu lintas dan sensor ditempatkan di beberapa meter disekitar u-turn di satu(kedua) sisi jalan, serta penggunaan kamera untuk mendeteksi kondisi jalan. Lampu merah di sekitar putar balik berperan sebagai pendukung dalam mengatur dan mengurangi arus lalu lintas. Implementasi solusi ini memerlukan kerjasama antara berbagai pihak, termasuk pengembang teknologi, kepolisian, dinas perhubungan, dan pekerjaan umum. Evaluasi perbaikan dan monitoring dilakukan secara berkelanjutan untuk memastikan efektivitas solusi dalam mengatasi kemacetan lalu lintas. Selain itu, solusi ini juga dapat memberikan kontribusi terhadap peningkatan keselamatan dan kenyamanan pengguna jalan serta efisiensi sistem transportasi perkotaan secara keseluruhan.

Kata Kunci: *Artificial Intelligence, Internet of Things, Kemacetan lalu lintas, U-turn*

### PENDAHULUAN

Kemacetan lalu lintas merupakan salah satu masalah utama yang dihadapi oleh banyak kota besar di dunia, termasuk Jakarta. Kemacetan ini tidak hanya menyebabkan penundaan perjalanan dan ketidaknyamanan bagi pengguna jalan, tetapi juga meningkatkan risiko kecelakaan dan menurunkan efisiensi sistem transportasi secara keseluruhan. Salah satu titik rawan kemacetan adalah area putar balik (u-turn) jalan raya, di mana kendaraan sering kali tertahan dan menyebabkan antrian panjang untuk putar balik dan berpindah jalur.

Keberadaan "polisi cepek" yaitu individu yang secara informal membantu mengatur lalu lintas dengan meminta imbalan kecil, sering kali tidak efektif dan justru memperparah situasi kemacetan. Metode tradisional seperti pelebaran jalan atau pengaturan lampu lalu lintas belum mampu memberikan solusi yang optimal dan efisien untuk mengatasi masalah ini, terutama di area putar balik yang memiliki keterbatasan ruang.

Dengan berkembangnya teknologi, muncul peluang untuk mengatasi masalah kemacetan ini melalui penerapan Artificial Intelligence (AI) dan Internet of Things (IoT). Teknologi AI dapat digunakan untuk menganalisis pola lalu lintas dan memprediksi kepadatan kendaraan, sementara IoT memungkinkan integrasi berbagai perangkat sensor dan kamera untuk



memantau kondisi jalan secara real-time. Kombinasi kedua teknologi ini dapat menghasilkan sistem pengaturan lalu lintas yang lebih cerdas dan responsif.

Penelitian ini berfokus pada penerapan teknologi AI dan IoT untuk mengurangi kemacetan di sekitar area putar balik jalan raya. Dengan memanfaatkan sensor jarak jauh dan kamera, sistem ini dapat mendeteksi kepadatan lalu lintas dan mengatur lampu merah secara otomatis untuk mengoptimalkan arus kendaraan. Diharapkan, solusi ini tidak hanya mengurangi kemacetan tetapi juga meningkatkan keselamatan dan kenyamanan pengguna jalan. Implementasi solusi ini memerlukan kolaborasi antara berbagai pihak, termasuk pengembang teknologi, kepolisian, dinas perhubungan, dan pekerjaan umum. Selain itu, monitoring dan evaluasi yang berkelanjutan sangat penting untuk memastikan bahwa sistem yang diterapkan dapat berfungsi secara efektif dan berkelanjutan.

## STATE OF THE ART

Kemacetan lalu lintas merupakan masalah global yang telah menjadi fokus banyak penelitian dan inovasi teknologi. Di berbagai belahan dunia, berbagai pendekatan telah diimplementasikan untuk mengatasi masalah ini, termasuk perluasan jalan, penggunaan lampu lalu lintas cerdas, dan penerapan teknologi terbaru seperti AI dan IoT. Pertumbuhan jumlah kendaraan yang pesat menyebabkan daya tampung jalan menjadi tidak memadai. Di Jakarta khususnya, belum ada pembatasan usia kendaraan, yang turut memperparah kemacetan. Selain itu, kontrol dan pemeliharaan yang kurang optimal sering kali menyebabkan kecelakaan, seperti kendaraan yang mengalami rem blong. Hal ini menunjukkan perlunya solusi yang lebih efektif dan inovatif untuk mengatasi kemacetan lalu lintas, khususnya di area putar balik jalan raya.

### Pendekatan Tradisional

Pendekatan tradisional dalam mengatasi kemacetan lalu lintas biasanya melibatkan pelebaran jalan dan pengaturan lampu lalu lintas. Meskipun efektif dalam beberapa kasus, solusi ini sering kali tidak memungkinkan di area perkotaan yang padat karena keterbatasan ruang dan biaya yang tinggi. Selain itu, pendekatan ini tidak selalu mampu merespon perubahan dinamis dalam pola lalu lintas.

### Sistem Transportasi Cerdas (Intelligent Transportation Systems - ITS)

ITS adalah salah satu inovasi yang menggabungkan teknologi informasi dan komunikasi untuk meningkatkan efisiensi sistem transportasi. ITS mencakup berbagai aplikasi seperti pengaturan lampu lalu lintas adaptif, sistem manajemen lalu lintas, dan informasi real-time untuk pengguna jalan. Beberapa contoh implementasi ITS yang sukses antara lain:

#### Adaptive Traffic Control Systems (ATCS)

Sistem ini menggunakan sensor untuk memantau kondisi lalu lintas dan secara otomatis menyesuaikan lampu lalu lintas untuk mengoptimalkan aliran kendaraan. Contoh implementasi ATCS dapat ditemukan di beberapa kota besar di Amerika Serikat dan Eropa.

#### Vehicle-to-Infrastructure (V2I) Communication

Teknologi ini memungkinkan kendaraan untuk berkomunikasi dengan infrastruktur jalan seperti lampu lalu lintas dan papan informasi. V2I dapat meningkatkan keselamatan dan efisiensi dengan memberikan informasi real-time kepada pengemudi.

#### Artificial Intelligence (AI) dan Internet of Things (IoT)

AI dan IoT telah membuka peluang baru dalam mengatasi kemacetan lalu lintas dengan menawarkan solusi yang lebih cerdas dan responsif. Beberapa implementasi AI dan IoT dalam

manajemen lalu lintas meliputi:

1. *Machine Learning for Traffic Prediction*

Algoritma pembelajaran mesin digunakan untuk menganalisis data lalu lintas historis dan memprediksi kepadatan kendaraan di masa depan. Prediksi ini membantu dalam pengambilan keputusan untuk pengaturan lalu lintas yang lebih efektif.

2. *IoT-based Traffic Monitoring*

Jaringan sensor IoT digunakan untuk memantau kondisi lalu lintas secara real-time. Sensor ini dapat mendeteksi kepadatan lalu lintas, kecepatan kendaraan, dan kondisi jalan. Data yang dikumpulkan oleh sensor IoT kemudian dianalisis oleh sistem AI untuk memberikan rekomendasi pengaturan lalu lintas, Yao, L., & Yang, Y. (2020), Khanna, A., & Kaur, S. (2016).

### Studi Kasus di Jakarta

Di Jakarta, upaya untuk mengatasi kemacetan lalu lintas telah dilakukan melalui berbagai inisiatif, namun hasilnya masih belum memadai. Penggunaan teknologi cerdas masih dalam tahap awal, dan masih banyak peluang untuk meningkatkan efisiensi sistem transportasi melalui penerapan AI dan IoT. Beberapa proyek yang sedang berjalan di Jakarta meliputi:

1. *Jakarta Smart City Initiative*

Proyek ini mencakup penggunaan teknologi informasi untuk meningkatkan layanan publik, termasuk manajemen lalu lintas. Namun, penerapan teknologi AI dan IoT khusus untuk area putar balik masih belum optimal.

2. *Pilot Projects for Smart Traffic Lights*

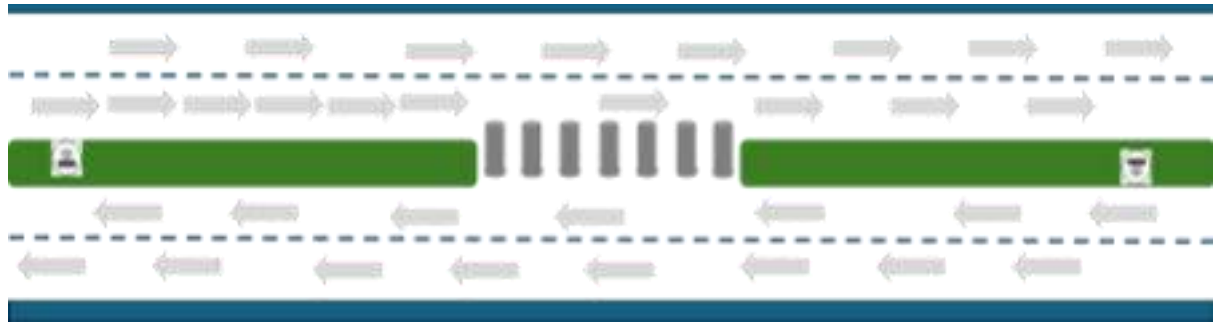
Beberapa daerah di Jakarta telah mulai menguji coba lampu lalu lintas cerdas yang dapat beradaptasi dengan kondisi lalu lintas. Namun, implementasi secara luas masih menghadapi berbagai tantangan, termasuk infrastruktur yang belum memadai dan keterbatasan dana.

## PEMBAHASAN

Pada penelitian ini, teknologi IoT digunakan untuk mengatasi kemacetan lalu lintas di sekitar putar balik jalan raya dengan memantau dan mengatur arus lalu lintas secara *real time*. Sistem yang diusulkan terdiri dari sensor jarak jauh, tiang kontrol, dan kamera yang bekerja secara terintegrasi untuk mendeteksi kepadatan lalu lintas dan mengoptimalkan pengaturan lampu merah.

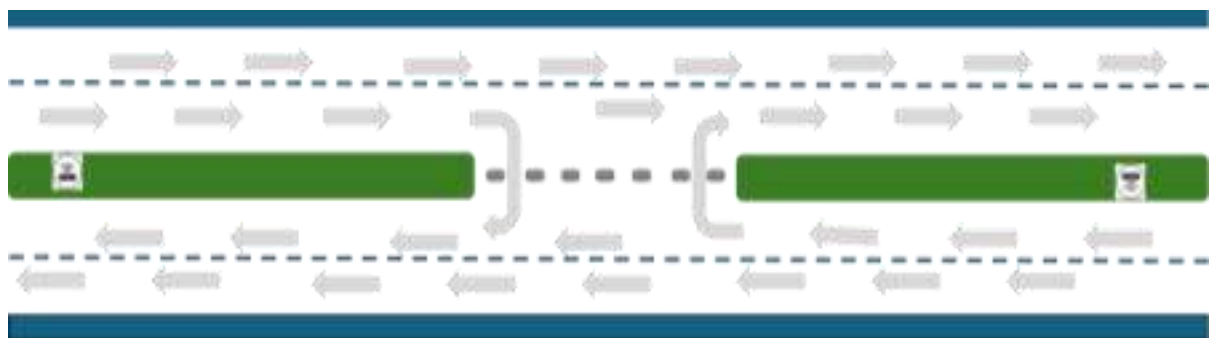
### Sistem Monitoring Lalu Lintas

Sistem monitoring terdiri dari sensor yang ditempatkan pada tiang otomatis di sekitar putar balik dan kamera yang memantau kondisi jalan. Sensor ini berfungsi untuk mendeteksi jumlah kendaraan yang melewati area tersebut dan mengirimkan data secara real-time ke pusat kontrol, Chen, Z., et al. (2019). Kamera digunakan untuk memberikan gambaran visual kondisi lalu lintas, yang dapat membantu dalam analisis lebih lanjut.



**Gambar 1.** ON / mobil dan motor tidak bisa putar balik

Penjelasan gambar 1 adalah tinggi tiang naik menjadi 60 cm dari permukaan jalan, jarak antar tiang dengan tiang 40 cm. Dalam kondisi ini, mobil dan motor tidak dapat melakukan putar balik karena tiang menghalangi jalan.



**Gambar 2.** OFF / mobil dan motor dapat putar balik

Penjelasan gambar 2, tinggi tiang adalah 12 cm, Jarak antar tiang adalah 40 cm. Dalam kondisi ini, mobil dan motor dapat melakukan putar balik karena tiang tidak menghalangi jalan.

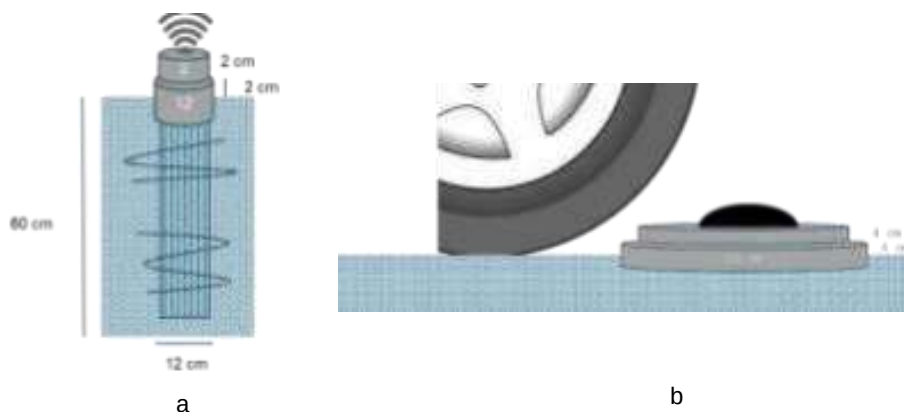
## Penerbit Gunadarma

### Status Kendaraan Berdasarkan Lalu Lintas

Berdasarkan data yang dikumpulkan dari sensor dan kamera, status lalu lintas dapat dikategorikan sebagai berikut:

#### Lancar

Jika jumlah kendaraan yang melewati sensor lebih dari 12 mobil per menit, arus lalu lintas dianggap lancar. Dalam kondisi ini, sistem kontrol tetap dalam status OFF.



**Gambar 3.** a) OFF status, b) Contoh perbadingan roda mobil dan tiang dalam keadaan OFF

Penjelasan gambar 3a) adalah pada gambar ini, tiang berada dalam kondisi OFF dengan tinggi  $\pm 6$  cm (4+4 cm dapat disesuaikan) dari permukaan jalan. Dalam kondisi ini, tiang tidak

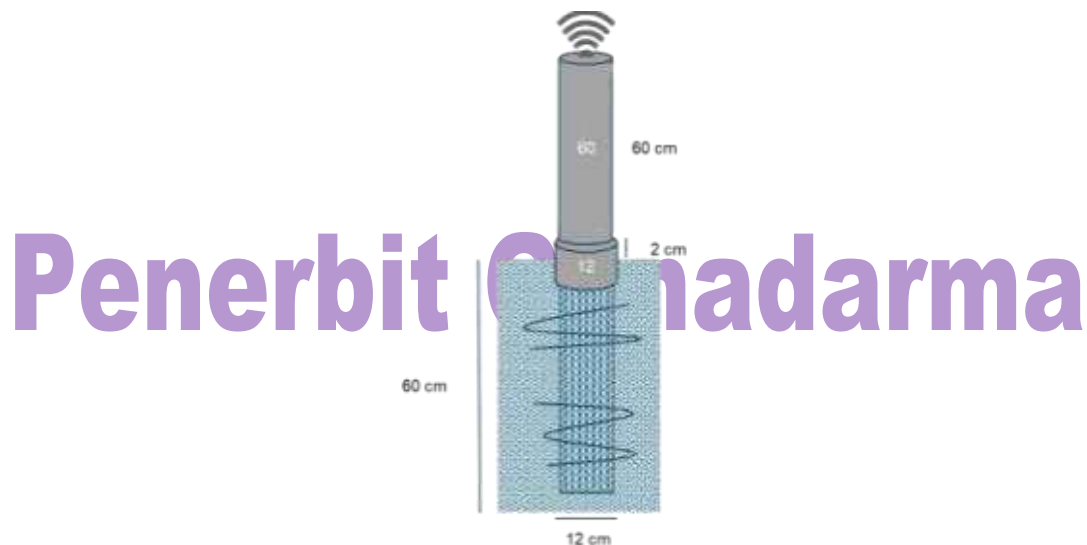
menghalangi kendaraan, sehingga mobil dan motor dapat dengan mudah melakukan putar balik. Tiang-tiang ini diatur sedemikian rupa sehingga tidak mengganggu arus lalu lintas saat tidak diperlukan untuk mengontrol kemacetan, sedangkan gambar 3b) adalah menunjukkan perbandingan antara roda mobil dan tiang dalam keadaan OFF. Dengan tinggi tiang hanya  $\pm 6$  cm, terlihat jelas bahwa kendaraan dapat melewati tiang tanpa hambatan. Perbandingan ini memberikan visualisasi tentang bagaimana tiang tidak mengganggu kendaraan saat berada dalam status OFF, memungkinkan arus lalu lintas tetap lancar saat tidak ada kemacetan parah.

#### Mulai Macet

Jika jumlah kendaraan yang melewati sensor antara 8 hingga 12 mobil per menit, arus lalu lintas mulai menunjukkan tanda-tanda kemacetan. Pada kondisi ini, sistem kontrol mulai aktif untuk memantau lebih lanjut.

#### Parah (Macet Total)

Jika jumlah kendaraan yang melewati sensor kurang dari 8 mobil per menit, arus lalu lintas dianggap macet parah. Sistem kontrol berubah ke status ON, dan lampu merah serta alat pengatur lalu lintas lainnya diaktifkan untuk mengurai kemacetan.



Gambar 4. ON status

Penjelasan gambar 4 adalah tiang ditanam ke dalam tanah dengan kedalaman 60 cm untuk memastikan stabilitas dan kekuatannya.

#### Integrasi Sensor dan Tiang Kontrol

Sensor yang ditempatkan sekitar 1 km dari tiang kontrol saling berintegrasi untuk memberikan data yang akurat dan tepat waktu. Integrasi ini memungkinkan sistem untuk merespons perubahan kondisi lalu lintas dengan cepat dan efektif. Ketika sensor mendeteksi peningkatan kepadatan lalu lintas, data tersebut dikirim ke tiang kontrol (Zhang, W., & Zhang, X. (2018), yang kemudian mengaktifkan atau menonaktifkan lampu merah dan alat pengatur lalu lintas lainnya sesuai kebutuhan.



**Gambar 5.** Sensor

Penjelasan gambar 5 adalah Sensor dan kamera dipasang untuk memantau arus lalu lintas di sekitar area putar balik. Jika arus lalu lintas kurang dari 8 kendaraan per menit, sistem mendeteksi kemacetan parah dan tiang kontrol berubah ke status ON untuk mencegah putar balik, naiknya tiang secara pelan2 demi keamanan, jika ada sesuatu benda diatas tiang, tiang tidak bisa naik. Sensor ditempatkan sekitar 1 km dari tiang kontrol dan terintegrasi untuk memberikan data real-time mengenai kepadatan lalu lintas.

### **Efektivitas Sistem IoT dalam Mengurai Kemacetan**

Implementasi sistem IoT ini telah menunjukkan beberapa keuntungan signifikan dalam mengurai kemacetan di area putar balik:

1. **Deteksi Dini dan Respons Cepat**

Sensor mampu mendeteksi peningkatan kepadatan lalu lintas secara dini, memungkinkan sistem untuk merespons dengan cepat sebelum kemacetan menjadi parah, (Doshi, J., & Patil, D. (2019), Li, Y., Ma et al. (2020)).

2. **Pengaturan Lalu Lintas yang Optimal**

Dengan data real-time, sistem dapat mengatur lampu lalu lintas secara dinamis untuk mengoptimalkan arus kendaraan dan mengurangi antrian, (Barba, C. et al. (2017), Ahmed et al. (2018), Kastrenakes, J. (2019)).

3. **Peningkatan Keselamatan**

Dengan pengaturan lalu lintas yang lebih baik, risiko kecelakaan dapat diminimalkan, memberikan keselamatan tambahan bagi pengguna jalan.

4. **Tantangan Riset**

Meskipun sistem ini menawarkan banyak manfaat, ada beberapa tantangan yang perlu diatasi untuk implementasi yang lebih luas:

5. **Infrastruktur dan Biaya**

Implementasi sistem IoT memerlukan investasi awal yang signifikan untuk pemasangan sensor dan tiang kontrol. Diperlukan kerjasama antara pemerintah dan sektor swasta untuk mendanai proyek ini.

6. **Pemeliharaan Sistem**

Sistem IoT memerlukan pemeliharaan yang terus-menerus untuk memastikan kinerja optimal. Pemeliharaan ini termasuk kalibrasi sensor, pembaruan perangkat lunak, dan perbaikan perangkat keras.

7. **Integrasi dengan Sistem Lain**

Untuk efektivitas yang maksimal, sistem IoT harus terintegrasi dengan sistem manajemen lalu lintas lainnya dan berbagi data dengan pihak berwenang terkait.

Implementasi sistem ini diharapkan dapat memberikan solusi jangka panjang untuk mengatasi kemacetan lalu lintas di area putar balik jalan raya, meningkatkan efisiensi transportasi, serta keselamatan dan kenyamanan pengguna jalan.

### **Rekomendasi**

Berdasarkan temuan dan analisis yang telah dilakukan, berikut adalah beberapa rekomendasi untuk desain sistem yang diusulkan:

1. **Material Tiang**

Pastikan tiang terbuat dari material yang kuat seperti baja atau beton dengan ketebalan disarankan 4 mm untuk menahan tekanan dari kendaraan.

2. **Stabilitas**  
Dengan kedalaman tanam 60 cm, tiang seharusnya stabil dan kokoh. Perhatikan kualitas pemasangan untuk menghindari tiang menjadi longgar.
3. **Penempatan Sensor dan Kamera**  
Pastikan sensor dan kamera ditempatkan di titik yang strategis untuk memantau semua kendaraan yang mendekati putar balik.
4. **Responsivitas Sistem**  
Sistem harus responsif terhadap perubahan arus lalu lintas secara real-time untuk memastikan efektivitas pengaturan lalu lintas.

## KESIMPULAN

Penelitian ini menunjukkan bahwa penerapan teknologi AI dan IoT dapat menjadi solusi efektif untuk mengatasi kemacetan lalu lintas di sekitar putar balik jalan raya, khususnya di Jakarta. Dengan menggunakan sensor jarak jauh, kamera, dan tiang kontrol yang terintegrasi, sistem ini mampu mendeteksi dan merespons kondisi lalu lintas secara *real-time*.

Implementasi sistem ini memungkinkan pengaturan lalu lintas yang lebih dinamis dan responsif, yang dapat mengoptimalkan arus kendaraan dan mengurangi kemacetan tanpa memerlukan pelebaran jalan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem ini dapat mengidentifikasi kondisi lalu lintas sebagai lancar, mulai macet, atau parah, dan mengaktifkan kontrol lalu lintas sesuai dengan kebutuhan untuk mengurai kemacetan.

Selain meningkatkan efisiensi transportasi, sistem ini juga berkontribusi terhadap peningkatan keselamatan dan kenyamanan pengguna jalan. Meskipun ada tantangan dalam hal infrastruktur dan biaya, serta kebutuhan akan pemeliharaan yang berkelanjutan, manfaat yang diberikan oleh sistem ini jauh lebih besar. Kedepan, kerjasama antara berbagai pihak, termasuk pemerintah, pengembang teknologi, dan dinas terkait, sangat diperlukan untuk mendukung implementasi dan pemeliharaan sistem ini. Evaluasi berkelanjutan juga penting untuk memastikan sistem tetap efektif dan dapat disesuaikan dengan perubahan kondisi lalu lintas. Dengan solusi ini, diharapkan kemacetan lalu lintas di area putar balik jalan raya dapat diatasi secara signifikan, sehingga meningkatkan efisiensi sistem transportasi perkotaan secara keseluruhan.

## REKOMENDASI KEBIJAKAN (POLICY BRIEF)

Berdasarkan temuan penelitian ini, beberapa rekomendasi kebijakan untuk mengatasi kemacetan lalu lintas di area putar balik jalan raya menggunakan teknologi AI dan IoT adalah sebagai berikut:

### 1. Investasi Infrastruktur Teknologi

Pemerintah perlu mengalokasikan dana untuk pemasangan sensor, kamera, dan tiang kontrol otomatis di area putar balik yang rawan kemacetan. Kerjasama dengan sektor swasta dapat dipertimbangkan untuk mendanai proyek ini, misalnya melalui skema public-private partnership (PPP).

### 2. Pengembangan Sistem Transportasi Cerdas (ITS)

Mengintegrasikan solusi AI dan IoT dengan sistem transportasi cerdas yang sudah ada, seperti Adaptive Traffic Control Systems (ATCS) dan Vehicle-to-Infrastructure (V2I) communication, Kumar, A., & Kumar, V. (2017). Mengembangkan pusat kontrol lalu lintas yang mampu menganalisis data real-time dan mengambil keputusan yang cepat dan tepat.

### 3. Peningkatan Kapasitas dan Pelatihan



Memberikan pelatihan kepada petugas lalu lintas dan teknisi mengenai penggunaan dan pemeliharaan sistem IoT dan AI. Meningkatkan kapasitas institusi terkait dalam mengelola dan mengoperasikan teknologi baru ini.

**4. Regulasi dan Standar**

Menetapkan regulasi dan standar teknis untuk pemasangan dan operasional sistem IoT dan AI di jalan raya. Mengembangkan kerangka hukum yang mendukung penggunaan data lalu lintas real-time untuk pengambilan keputusan.

**5. Kolaborasi dan Partisipasi Publik**

Melibatkan berbagai pihak, termasuk dinas perhubungan, kepolisian, akademisi, dan masyarakat, dalam perencanaan dan implementasi solusi ini. Mendorong partisipasi publik melalui sosialisasi dan edukasi mengenai manfaat teknologi AI dan IoT dalam mengatasi kemacetan lalu lintas.

**6. Monitoring dan Evaluasi Berkelanjutan**

Melakukan monitoring dan evaluasi secara berkala untuk memastikan efektivitas sistem yang diterapkan. Menggunakan data evaluasi untuk melakukan penyesuaian dan peningkatan sistem secara berkelanjutan.

**7. Pengembangan Kebijakan Jangka Panjang**

Mengintegrasikan penggunaan teknologi AI dan IoT dalam rencana induk transportasi perkotaan untuk mencapai tujuan jangka panjang terkait efisiensi lalu lintas dan keselamatan jalan. Menyusun kebijakan yang mendukung inovasi dan adaptasi teknologi baru dalam sektor transportasi. Implementasi rekomendasi kebijakan ini diharapkan dapat mengurangi kemacetan lalu lintas di area putar balik jalan raya, meningkatkan keselamatan pengguna jalan, dan memperbaiki efisiensi sistem transportasi perkotaan secara keseluruhan.

# Penerbit Gunadarma

## DAFTAR PUSTAKA

- Yao, L., & Yang, Y. (2020). Smart traffic light control system based on Internet of Things for reducing traffic congestion. *IEEE Access*, 8, 116219- 116230.
- Khanna, A., & Kaur, S. (2016). Internet of Things (IoT), applications and challenges: A comprehensive review. *Wireless Personal Communications*, 86(1), 401-426.
- Chen, Z., Jiang, C., & Li, X. (2019). A survey on artificial intelligence for traffic signal control. *ACM Computing Surveys (CSUR)*, 51(5), 1-36.
- Zhang, W., & Zhang, X. (2018). Real-time traffic flow prediction model based on deep learning. *Journal of Advanced Transportation*, 2018, 1-10.
- Doshi, J., & Patil, D. (2019). A study on IoT-based real-time vehicle monitoring and traffic management system. *International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering (IJITEE)*, 8(11), 1201-1206.
- Li, Y., Ma, T., & Liu, H. (2020). An IoT-based system for traffic flow prediction and control. *IEEE Internet of Things Journal*, 7(7), 6063-6071.
- Ahmed, M. S., Hawas, Y. E., & Haouari, M. (2018). Integrated traffic management system for urban roads based on IoT. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 92, 372-389.
- Kastrenakes, J. (2019). How AI is transforming traffic management systems. *IEEE Spectrum*, 56(3), 48-54.
- Barba, C., Mateos, A., & Soto, A. (2017). Smart cities and traffic management: A survey of state-of-the-art and future prospects. *Journal of Advanced Transportation*, 2017, 1-18.
- Kumar, A., & Kumar, V. (2017). An intelligent traffic management system using IoT and big data analytics. *International Journal of Advanced Research in Computer Science*, 8(9), 528-533.

# Penerbit Gunadarma



## REVOLUSI SMART PARKING SYSTEM DI DAERAH KHUSUS JAKARTA

**Yulius Denny Prabowo<sup>1</sup>, Dina Fitria Murad<sup>2</sup> and Maria Loura Christhia<sup>3\*</sup>**

<sup>1</sup>Computer Science Department, Binus Online, Bina Nusantara University,  
Jakarta 11480, Indonesia

<sup>2</sup>Information Systems Department, Binus Online, Bina Nusantara  
University, Jakarta 11480, Indonesia

<sup>3</sup>Industrial Engineering Department, Binus Online, Bina Nusantara  
University, Jakarta 11480, Indonesia

\*Penulis Koresponden, e-mail: [maria.loura@binus.ac.id](mailto:maria.loura@binus.ac.id)

### ABSTRAK

Smart parking sensor mengubah proses pencarian tempat parkir bagi pengemudi dengan memberikan solusi yang efisien terhadap permasalahan lama terkait kesulitan menemukan tempat parkir yang tersedia. Sensor ini biasanya ditempatkan di area parkir atau sepanjang jalan, menggunakan teknologi canggih untuk mengidentifikasi ketersediaan tempat parkir. Saat tempat parkir kosong terdeteksi, sensor secara otomatis mengirimkan data ke sistem terpusat secara real time, yang kemudian menginformasikan pengemudi melalui aplikasi seluler. Metode ini membawa sejumlah manfaat, termasuk mengurangi waktu dan tenaga yang dibutuhkan untuk mencari tempat parkir, sehingga menurunkan penumpukan kendaraan dan kemacetan. Selain itu, teknologi ini juga dapat meningkatkan aksesibilitas yang secara tidak langsung mengurangi emisi kendaraan yang berputar-putar untuk mencari parkir di wilayah perkotaan. Salah satu fungsi penting yang mendukung efektivitas teknologi smart parking sensor adalah kemampuannya dalam menggunakan kecerdasan buatan untuk menganalisis data yang dikumpulkan. Teknologi ini memungkinkan sensor untuk mengenali pola-pola yang muncul dari data ketersediaan tempat parkir, seperti tren penggunaan parkir pada waktu-waktu tertentu atau preferensi lokasi parkir tertentu oleh pengemudi. Dengan demikian, sistem dapat memberikan rekomendasi parkir yang lebih akurat dan mengoptimalkan pemanfaatan ruang parkir yang tersedia. Selain itu, teknologi smart parking dapat memungkinkan sistem untuk memprediksi permintaan parkir di masa depan berdasarkan pola-pola historis yang teridentifikasi. Hal ini memungkinkan pihak terkait, seperti pengelola parkir atau pemerintah daerah, untuk merencanakan strategi parkir yang lebih efisien dan responsif terhadap kebutuhan pengguna jalan. Secara tidak langsung, melalui pemanfaatan teknologi ini berperan dalam mengurangi kemacetan lalu lintas, meningkatkan kualitas udara, meningkatkan mobilitas, dan memfasilitasi perencanaan kota, sehingga dapat tercipta kota yang lebih layak huni dan ramah lingkungan bagi semua orang. Secara keseluruhan, penggunaan teknologi smart parking sensor tidak hanya meningkatkan kemampuan sistem untuk menganalisis data secara cepat dan akurat, tetapi juga memungkinkan pengambilan keputusan yang lebih cerdas dalam pengelolaan parkir di wilayah perkotaan.

Kata Kunci: Internet of thing, smart parking, IoT, AI, framework, Jakarta

### PENDAHULUAN

Permasalahan parkir merupakan salah satu tantangan utama yang dihadapi oleh warga dan pemerintah Daerah Khusus Jakarta. Dengan populasi yang terus meningkat dan jumlah kendaraan yang semakin bertambah, keterbatasan ruang parkir menjadi semakin terasa. Hal ini memicu berbagai masalah, mulai dari kemacetan lalu lintas hingga konflik antarwarga. Jumlah kendaraan pribadi di Daerah Khusus Jakarta terus meningkat pesat. Pada tahun 2022, tercatat 23,67 juta kendaraan bermotor di Jakarta, dengan 13,64 juta di antaranya adalah sepeda motor dan 10,03 juta

mobil (Badan Pusat Statistik Jakarta, n.d.). Rasio kepemilikan mobil di Jakarta memang tergolong tinggi, yaitu 1:7,5, artinya 1 dari 7,5 orang di Jakarta memiliki mobil (Dinas Daerah Khusus Jakarta, n.d.) Rasio ini jauh di atas rasio ideal yang ditetapkan Kementerian Perhubungan, yaitu 1:10. Kondisi demikian tidak diimbangi dengan penambahan lahan parkir, mengingat lahan kosong di DAERAH KHUSUS Jakarta terbatas. Menurut Dinas Perhubungan Daerah Khusus Jakarta, kebutuhan lahan parkir di Jakarta mencapai 800.000 unit, sedangkan yang tersedia baru sekitar 500.000 unit ((Dinas Perhubungan Daerah Khusus Jakarta, n.d.) Pemerintah Daerah Khusus Jakarta telah melakukan berbagai upaya, mulai dari penambahan infrastruktur parkir hingga pengembangan sistem parkir yang lebih efisien. Namun, masih diperlukan langkah-langkah lebih lanjut, termasuk edukasi masyarakat tentang pentingnya parkir yang tertib dan beretika, serta peningkatan pengawasan dan penegakan hukum terhadap pelanggaran. Permasalahan parkir di Daerah Khusus Jakarta merupakan masalah yang kompleks dan membutuhkan solusi yang komprehensif. Pemerintah, pengusaha, dan masyarakat perlu bekerja sama untuk mengatasi permasalahan ini. Paparan ide dalam chapter ini tentu tidak dimaksudkan untuk dapat menjawab semua permasalahan parkir di Daerah Khusus Jakarta, namun diharapkan dapat memberikan kontribusi dalam penerapan teknologi untuk pelayanan parkir kendaraan bermotor di Daerah Khusus Jakarta.

Analisis terhadap permasalahan parkir di Jakarta ini didasarkan atas data yang diperoleh dari badan pusat statistik (Badan Pusat Statistik Jakarta, n.d.), dinas perhubungan (Dinas Perhubungan Daerah Khusus Jakarta, n.d.), serta artikel dalam jurnal kebijakan publik (Asmara, 2020). Berdasarkan literatur tersebut, simptom permasalahan parkir di Jakarta secara singkat dapat dikelompokkan menjadi beberapa kelompok: tingginya pertumbuhan kendaraan pribadi, kurangnya lahan, sistem parkir yang tidak efisien, dan lemahnya penegakan hukum. Sehingga mengakibatkan penurunan kualitas lingkungan dan kualitas hidup yang dalam arti tertentu kontra produktif terhadap tujuan Sustainable Development Goals (SDG's) yang diratifikasi oleh pemerintah Indonesia. Sehingga diperlukan kajian-kajian yang dapat berkontribusi sekecil apapun untuk mengurai permasalahan ini. Artikel ini akan melihat melalui sudut pandang penerapan teknologi untuk mengatasi permasalahan parkir ini, tentu saja dari data yang ada jelas terlihat bahwa pemanfaatan teknologi tidak akan banyak membantu mengatasi permasalahan, karena persoalan utamanya terletak pada perbandingan kendaraan dan luas lahan yang tersedia. Meskipun demikian, penerapan teknologi smart parking ini diharapkan dapat memberikan data yang bisa diakses secara publik sehingga masyarakat dapat menggunakannya untuk membantu perencanaan aktivitas mereka, dengan demikian diharapkan dapat sedikit membantu mewujudkan kota yang lebih ramah terhadap penghuninya.

Smart parking merupakan sebuah konsep pengelolaan parkir yang memanfaatkan teknologi informasi dan komunikasi untuk meningkatkan efisiensi, transparansi, dan kemudahan bagi pengguna. Untuk dapat mewujudkan hal tersebut, diperlukan beberapa komponen dalam smart parking, beberapa elemen utama dalam konsep smart parking adalah: Sistem informasi parkir terintegrasi yang dapat memberikan informasi real-time kepada pengguna mengenai ketersediaan ruang parkir, baik di area publik maupun komersial. Teknologi seperti *Automatic Number Plate Recognition* (ANPR) dapat mendeteksi nomor kendaraan yang masuk dan keluar area parkir, serta memantau okupansi parkir secara otomatis. Sistem pembayaran parkir non-tunai, seperti menggunakan kartu atau aplikasi digital. Penerapan tarif parkir yang disesuaikan dengan waktu, lokasi, dan tingkat okupansi dapat membantu mengoptimalkan penggunaan lahan parkir. Serta, integrasi dengan sistem transportasi kota lainnya untuk mendukung mobilitas masyarakat yang lebih efisien.

Di Indonesia, penerapan smart parking telah dilakukan oleh Kementerian PUPR dengan menerapkan sistem smart parking di kompleks perkantoran, dilengkapi dengan teknologi ANPR dan sistem parkir otomatis. Pemerintah Kota Bandung telah mengimplementasikan mesin parkir

elektronik sebagai bagian dari pengembangan smart city, yang memudahkan pembayaran dan mengurangi parkir ilegal, Kota Makassar yang telah menerapkan sistem parkir online yang terbukti dapat meningkatkan pendapatan retribusi parkir secara signifikan. Sebagai upaya mengurai permasalahan parkir ini, pemerintah Daerah Khusus Jakarta juga telah menerapkan sistem parkir di beberapa lokasi tertentu yang dirasa akan mengurai permasalahan parkir kendaraan ini, menyediakan kantong-kantong parkir di sekitar titik transportasi publik. Tulisan ini bertujuan untuk melihat best practice penerapan sistem smart parking di berbagai wilayah guna mendapatkan ide yang komprehensif dengan harapan dapat diterapkan untuk mengatasi permasalahan parkir di Jakarta.

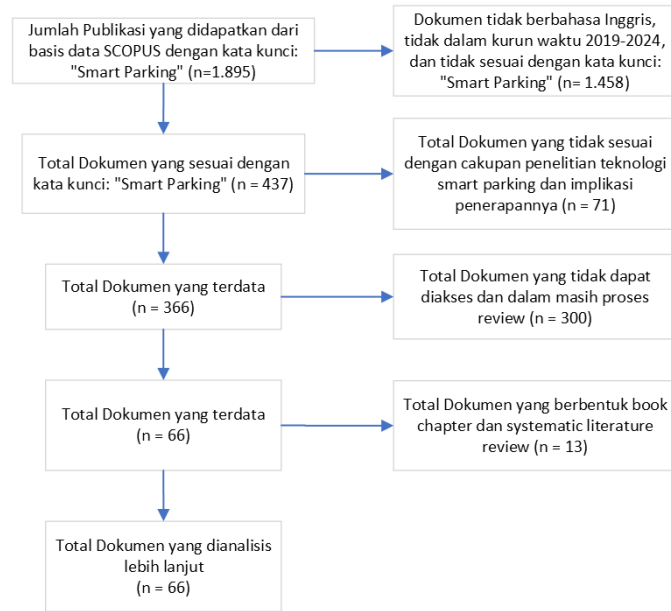
## STATE OF THE ART

Teknologi smart parking telah banyak diteliti oleh beberapa peneliti baik di Indonesia maupun di mancanegara. Dalam kurun waktu lima tahun terakhir, terdapat 1.895 penelitian yang memenuhi kata kunci “Smart Parking” data tersebut diperoleh dari database penelitian yang terindeks Scopus dengan tipe dokumen artikel dan prosiding, dan buku. Selain itu kata kunci smart parking juga terkait dengan beberapa kata kunci lainnya, Gambar 1 menunjukkan visualisasi berdasarkan sebaran dan jaringan kata kunci lain.



**Gambar 1.** Analisis Bibliometrik  
(Sumber: penulis)

Banyak penelitian smart parking yang terkait dengan teknologi electric vehicle dan charging khususnya pada electric vehicle. Meskipun demikian, karena artikel ini berfokus pada smart parking, penulis melakukan penyaringan artikel sehingga didapat total penelitian yang secara spesifik meneliti mengenai konsep teknologi dan aplikasi smart parking adalah sebanyak 437 dokumen. Dari seluruh dokumen yang ada, dilakukan proses identifikasi, *screening*, dan analisis kembali. Kriteria eksklusi dan inklusi dapat dilihat pada Gambar 2.



**Gambar 2.** Kriteria Inklusi dan Eksklusi dalam Studi Literatur

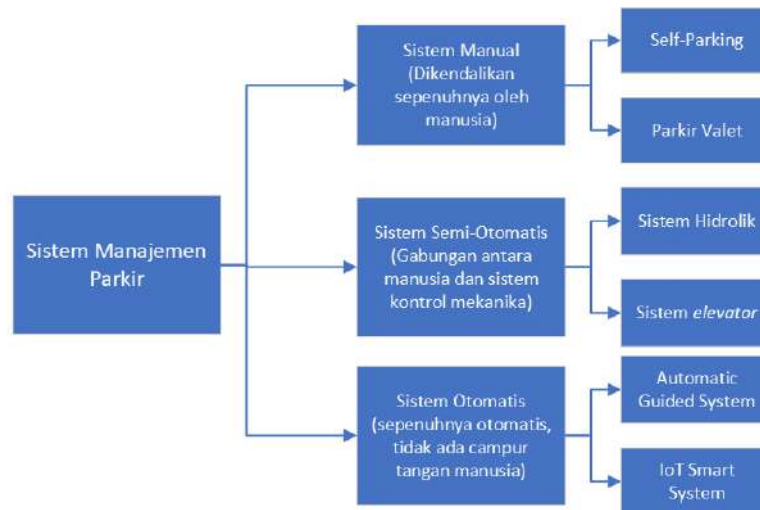
Artikel ini akan mengeksplorasi infrastruktur sistem parkir cerdas dan teknologi yang dibutuhkan untuk menciptakan sistem parkir cerdas yang aman. Pembaca diharapkan dapat mengambil kesimpulan mengenai kesenjangan antara penerapan di negara lain dan Jakarta, tren teknologi smart parking di masa depan dan hambatan dalam mengimplementasikan sistem parkir cerdas tersebut, setelah membaca artikel ini.

## PEMBAHASAN

### Sistem Parkir Cerdas

Dalam penelitian yang dilakukan oleh Mainetti et al., 2015, Berdasarkan cara kerjanya sistem parkir dikategorikan menjadi tiga kategori, yaitu sistem manual, sistem semi-otomatis, dan sistem otomatis. Sistem manual sepenuhnya dikelola oleh manusia, sistem semi-otomatis dikendalikan oleh kombinasi manusia dan mesin, dan sistem otomatis sepenuhnya dikelola oleh mesin. Dalam perkembangan selanjutnya, Internet of Things (IoT) memainkan peran penting dalam menghubungkan dan mengotomatisasi berbagai perangkat pintar terkait smart parking. Dalam sistem parkir manual, pengemudi harus mencari tempat parkir secara langsung, sementara sistem pintar dapat membantu pengemudi dengan mudah menemukan informasi parkir yang sesuai, seperti informasi tentang tempat parkir yang tersedia, reservasi dan pembayaran online, sistem navigasi otomatis, pemantauan dan keamanan, serta kontrol akses otomatis. Klasifikasi manajemen parkir menurut (Mainetti et al., 2015) dapat dilihat pada Gambar 3.

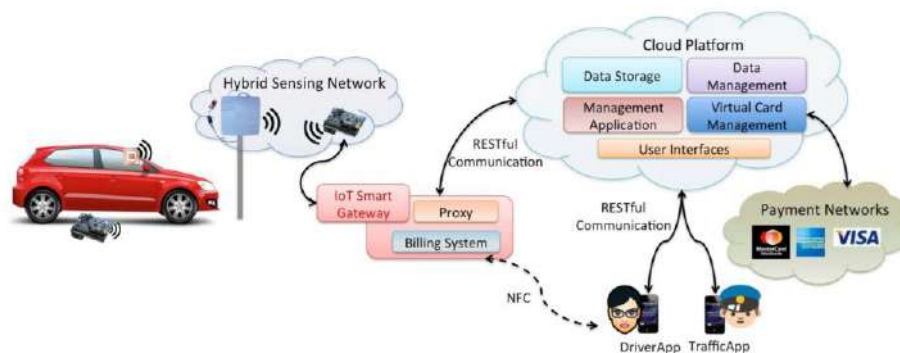




**Gambar 3.** Klasifikasi Sistem Manajemen Parkir (Mainetti et al., 2015)

Sistem parkir cerdas umumnya menerapkan Internet of Things atau IoT (Arora et al., 2023), untuk mengintegrasikan perangkat keras, seperti sensor dan perangkat pengukuran, perangkat lunak untuk pengolahan dan analisis data, serta konektivitas jaringan untuk transfer data. IoT mengumpulkan data dari lingkungan fisik atau perangkat yang terhubung, kemudian mengkomunikasikan data melalui jaringan untuk diproses dan disimpan, selanjutnya terdapat proses pengolahan serta analisis data dan pengambilan keputusan, proses ini dilakukan secara otomatis menggunakan algoritma cerdas, dan terakhir pelaksanaan tindakan dan kontrol (Avinash et al., 2022).

Desain program dalam sistem memungkinkan interaksi otomatis antara perangkat terhubung tanpa intervensi pengguna, sementara berbagai perangkat IoT bersensor dapat saling terhubung melalui internet untuk pertukaran data (Eridani et al., 2023). Secara sederhana, arsitektur sistem smart parking yang berbasis IoT menghubungkan mulai dari sensor pendeteksi hingga manajemen database untuk pembayaran tarif parkir seperti pada penelitian Mainetti et al., (2015), digambarkan pada Gambar 4. Agar dapat berfungsi secara optimal, berbagai algoritma kecerdasan buatan diterapkan ke dalam sistem manajemen parkir tersebut sehingga dapat mengelola data dengan lebih cepat, real time, dan akurat.



**Gambar 4.** Prinsip Penerapan IoT pada Smart Parking  
(Sumber: Mainetti et al., 2015)

Sistem parkir cerdas merupakan komponen penting kota cerdas (Smart City) (Alharbi, 2022), yang bertujuan untuk meningkatkan efisiensi dan kenyamanan parkir terutama di kawasan perkotaan. Sistem ini menggunakan teknologi canggih seperti sensor, aplikasi seluler, dan analisis data untuk membantu pengemudi menemukan tempat parkir yang tersedia di sekitar tujuannya, yang pada akhirnya diharapkan dapat mengurangi kemacetan lalu lintas, dan mengoptimalkan manajemen parkir. Studi terbaru menunjukkan bahwa sistem parkir cerdas dapat secara signifikan mengurangi waktu dan upaya yang diperlukan untuk menemukan tempat parkir, sehingga mengurangi kemacetan lalu lintas dan menurunkan emisi karbon. Penelitian oleh Sabbor et al. (2019) menemukan bahwa penerapan sistem parkir pintar di kota di Tiongkok mengurangi waktu yang dihabiskan untuk mencari tempat parkir sebesar 50%. Dengan demikian, sistem parkir cerdas merupakan salah satu komponen penting jika ingin membangun sebuah sistem transportasi yang cerdas pada penerapan kota cerdas.

Sistem parkir cerdas juga dapat diintegrasikan dengan aplikasi kota cerdas lainnya, seperti transportasi cerdas dan energi cerdas. Penelitian yang dilakukan oleh (Islam et al., 2020) menunjukkan bahwa integrasi sistem parkir cerdas dengan sistem transportasi cerdas dapat mengurangi kemacetan lalu lintas dan meningkatkan efisiensi transportasi umum. Hal ini tentu ditunjang dengan teknologi aplikasi gawai yang mutakhir, kinerja smart sensors, dan smart display untuk visualisasi platform aplikasi, dan proses verifikasi dari aplikasi tersebut (Rocco et al., 2023). Pada sisi lain, penerapan sistem parkir pintar menimbulkan kekhawatiran mengenai privasi dan keamanan data. Ketika sistem parkir semakin bergantung pada teknologi, sistem parkir juga menjadi lebih rentan terhadap ancaman dunia maya. Untuk mengatasi hal tersebut, salah satu teknologi yang digunakan adalah Blockchain (Ibrahim et al., 2022). Penelitian (Y. Zhang et al., 2021) secara khusus membuat desain sistem parkir yang aman berbasis Vehicular Ad Hoc Network (VANET) teknologi yang dihubungkan ke dalam protokol teknologi blockchain agar dapat menghindari serangan data dan ketidaksesuaian data dengan kondisi nyata di lapangan. Selain lebih aman, teknologi blockchain juga dapat meningkatkan keandalan dan menjamin adanya sistem kontrak yang adil (C. Zhang et al., 2020), serta dapat melakukan proses otomatisasi tanda tangan digital dan menjamin transparansi proses manajemen informasi sistem parkir (Singh et al., 2022; Tsai et al., 2023). Teknik verifikasi yang ada pada teknologi kecerdasan buatan, seperti yang diterapkan pada penelitian (Turki et al., 2022) dan beberapa metode lain yang dapat dilakukan, dengan cara menjamin sistem keamanan dengan fitur SSL, SQL injection prevention, 2FA, Google Captcha, SHA-1 Hashing (Abd Rahman et al., 2022) sehingga dapat mendeteksi adanya tindakan yang mencurigakan atau diluar kebiasaan. Hal tersebut penting dilakukan untuk melindungi data pengguna dan mencegah serangan dunia maya.

Sistem parkir cerdas yang aman juga dapat menjamin adanya transaksi tarif parkir yang dapat dipercaya, sehingga menghasilkan pendapatan tambahan bagi kota-kota dengan mengoptimalkan biaya parkir dan mengurangi kebocoran pendapatan. Penelitian yang dilakukan oleh Channamallu et al., (2023) dan Anusha et al. (2019) menemukan bahwa

penerapan sistem parkir cerdas di kota Timur Tengah meningkatkan pendapatan parkir sebesar 30%. Sistem parkir cerdas juga dapat meningkatkan aksesibilitas kawasan perkotaan bagi penyandang disabilitas. Beberapa penelitian mulai mengangkat teknologi smart parking yang dapat dimanfaatkan oleh kaum disabilitas, yakni reservasi parkir (Cong et al., 2022), proses otentifikasi parkir yang disediakan khusus (Al Taweel et al., 2020; Jenulin Makros et al., 2023), dan secara khusus sebuah penjelasan mengenai verifikasi teknologi Radio Frequency Identification di Malaysia untuk menginformasikan ketersediaan tempat parkir yang dapat diakses oleh penyandang disabilitas (Ahmad et al., 2022). Penggunaan IOT (Fikri & Hwang, 2019) dan pengembangan algoritma deep learning untuk meningkatkan akurasi model dari teknologi smart parking (Neupane et al., 2024) juga sangat membantu para penyandang disabilitas untuk mengakses layanan parkir cerdas ini.

Dengan demikian, sistem parkir cerdas secara umum mencakup berbagai fitur perangkat seperti perangkat keras dan perangkat lunak yang didukung sistem kerja Internet of Things. Beberapa perangkat keras yang umumnya dibutuhkan adalah sensor parkir untuk mendeteksi ketersediaan tempat parkir, aplikasi mobile untuk memandu pengemudi menuju tempat parkir yang kosong, pembayaran parkir secara elektronik, dan analisis data untuk meningkatkan efisiensi pengelolaan parkir (Saleem et al., 2020). Tabel 1 berikut ini merupakan ringkasan beberapa teknologi perangkat keras yang sering digunakan pada sistem parkir cerdas.

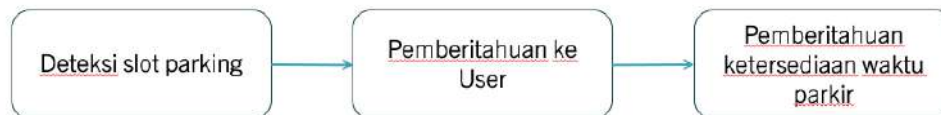
**Tabel 1.** Teknologi Perangkat Keras Sistem Parkir

| Teknologi                       | Metode                | Aplikasi                                              | Kelebihan                                                                                                                                                                                                       | Kelemahan                                                                                                                                                                    |
|---------------------------------|-----------------------|-------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Global Positioning System (GPS) | Trilateration         | Lebih cocok jika digunakan untuk lahan parkir outdoor | - Digunakan secara luas untuk penentuan posisi di luar ruangan<br>- Sensor GPS tertanam hampir pada setiap perangkat                                                                                            | - Dapat dipengaruhi oleh perubahan lingkungan dan hambatan<br>- Tidak dapat digunakan di dalam ruangan karena ketidakakuratannya                                             |
| Wi-Fi                           | RSS<br>Fingerprinting | Dapat digunakan untuk lahan parkir outdoor dan indoor | - Infrastruktur baru tidak diperlukan<br>- Titik akses Wi-Fi yang telah terpasang sebelumnya dapat digunakan kembali<br>- Umum digunakan karena kecepatan transfer datanya yang tinggi dan biayanya yang rendah | - Perlu diintegrasikan dengan algoritma lain untuk meningkatkan akurasi<br>- Dapat dipengaruhi oleh hambatan dan interferensi<br>- Jangkauan terbatas tergantung pada antena |
| Bluetooth                       | RSS                   | Lebih cocok                                           | - Konsumsi baterai                                                                                                                                                                                              | - Rentan dan kecepatan                                                                                                                                                       |

| Teknologi                             | Metode         | Aplikasi                                              | Kelebihan                                                                                                                                             | Kelemahan                                                                                                                  |
|---------------------------------------|----------------|-------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                       | Fingerprinting | jika digunakan untuk lahan parkir indoor              | rendah                                                                                                                                                | transfer data rendah<br>- Tidak efisien biaya                                                                              |
| Ultra-wideband                        |                | Lebih cocok jika digunakan untuk lahan parkir indoor  | - Akurasi yang sangat tepat<br>- Tidak terpengaruh oleh hambatan<br>- Kecepatan bandwidth yang luas<br>- Konsumsi daya rendah                         | - Terikat pada infrastruktur<br>- Kompleks<br>- Frekuensi diatur oleh pemerintah dan memiliki tingkat transfer yang rendah |
| Radio Frequency Identification (RFID) | Multilaterasi  | Lebih cocok jika digunakan untuk lahan parkir indoor  | - Jangkauan komunikasi luas<br>- Pelacakan otomatis<br>- dapat dengan mudah memperbaharui data<br>- dapat melakukan scanning dalam jumlah yang banyak | - jangkauan terbatas<br>- interferensi sinyal                                                                              |
| Ultrasonic Sensor                     | Time of flight | Dapat digunakan untuk lahan parkir outdoor dan indoor | - akurasi tinggi<br>- jangkauan luas<br>- durable tahan lingkungan terhadap cahaya, asap, debu, dan warna                                             | - keterbatasan membedakan objek<br>- akurasi tinggi namun dapat terpengaruh oleh adanya noise                              |

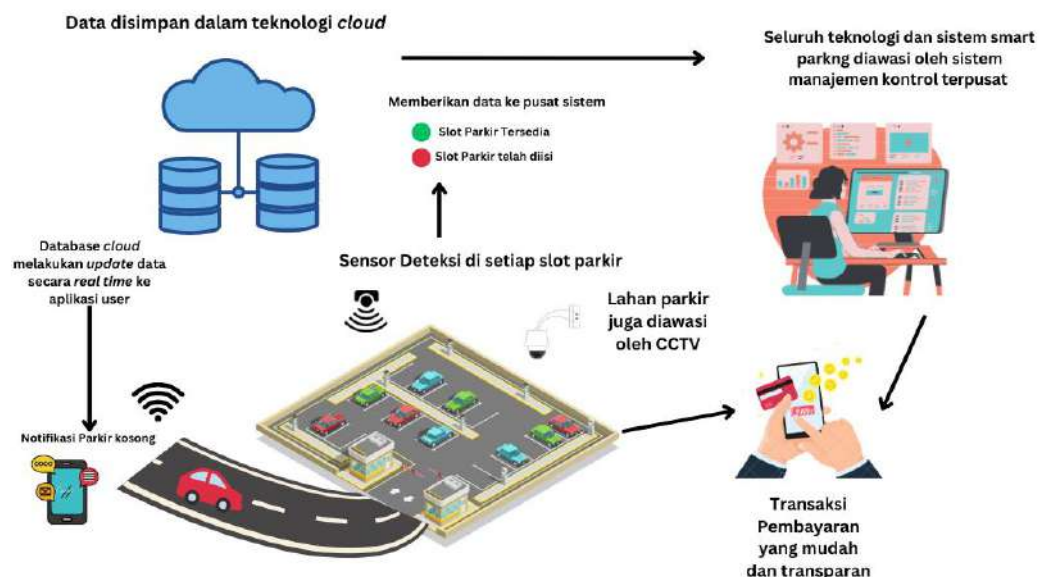
### Model penerapan smart parking

Berbagai model sudah dilaporkan terkait pengembangan sistem parkir pintar ini. Model smart parking system (Bassam & Samann, 2020) berdasarkan pengenalan karakter optik atau Optical Character Recognition (OCR) model dikembangkan dengan cara pemberian label di slot parkir yang kosong menggunakan karakter tertentu. Di atas area parking diletakan beberapa kamera yang akan mendeteksi karakter. Sistem yang diusulkan menggunakan vision assistant of LabView. Secara proses sistem ini dibagi melalui 3 tahapan dengan alur seperti diagram blok pada gambar 5 sebagai berikut:



**Gambar 5.** Diagram blok sistem parkir pintar

Pengguna mencari ketersediaan slot parkir yang menginformasikan area parking dan kamera secara otomatis akan mencari slot tersebut. Jika sudah diverifikasi ketersediaan slot maka sistem akan mengirimkan kepada pengguna informasi letak slot parkir yang kosong. Semua slot parkir memiliki karakteristik unik yang merupakan kombinasi antara angka dan huruf. Setelah parkir dan selama parkir pengguna akan menerima notifikasi waktu parkir dan tarifnya. Gambar 6 menunjukkan mekanisme informasi ketersediaan slot kosong parkir yang diterima oleh pengguna sebelum memasuki area parkir. Sistem ini telah diujikan pada beberapa area parkir dengan berbagai tekstur area parkir yang berbeda.



**Gambar 6.** Model sistem parkir pintar  
(Sumber: Diolah oleh penulis)

Model lain dari sistem parkir pintar diusulkan menggunakan arduino (Patro et al., 2020; Veeramanickam et al., 2022). Penggunaan berbagai teknik diantaranya teknik multi-objective grey wolf optimization berbasis optimalisasi node sensor nirkabel dengan RFID juga dilaporkan untuk akurasi posisi parkir. Secara umum, sistem parkir pintar dipengaruhi oleh korelasinya pengukuran sensor dengan lokasi fisik diperlukan. Penggunaan GPS di node sensor juga penting dalam infrastruktur sistem parkir pintar (Ghorpade et al., 2021). Tujuan lain sistem parkir pintar ini tentu saja untuk dapat menghemat waktu, bahan bakar, dan biaya pengemudi, sekaligus mengurangi kemacetan lalu lintas dan polusi lingkungan. Seperti penggunaan Mixed Integer Linear Program (MILP) pada penerapan dan pengujian studi percontohan di area parkir

di Universitas Boston (Geng & Cassandras, 2012).

Dari berbagai sistem parkir pintar yang telah dilaporkan, penggunaan informasi kontekstual dalam pengambilan keputusan terkait slot parkir dikemukakan oleh (Zulfiqar et al., 2023). Hal ini dilakukan untuk menganalisis perilaku dan memverifikasi keakuratan properti sistem. Optimalisasi kerangka parkir sadar konteks dengan batasan pada sumber daya komputasi untuk mendukung keputusan secara dinamis dalam kondisi yang sangat terdesentralisasi lingkungan dikembangkan dengan menambahkan beberapa informasi kontekstual sebagai tambahan fitur informasi. Sistem sadar konteks memperoleh dan memahami informasi kontekstual sesuai dengan situasi yang berlangsung, melakukan penalaran, dan kemudian bertindak secara cerdas atas nama pengguna. Sistem ini ditanam pada sebuah aplikasi dan sering kali dijalankan pada perangkat pintar kecil dengan sumber daya terbatas dengan penggabungan sensor yang tertanam atau terpasang pada perangkat tersebut. Dan sering kali sistem ini menunjukkan perilaku yang kompleks dan adaptif. Tujuan aplikasi ini adalah membantu pengemudi dalam menemukan slot parkir secara dinamis saat bergerak dan/atau tiba di tempat tujuan. Namun bagaimanakah dengan penyimpanan data? Tentu saja penyimpanan di cloud merupakan salah satu saran terbaik untuk memaksimalkan sistem parkir pintar ini (Pham et al., 2015)

Di beberapa negara maju, penerapan sistem parkir pintar pada dasarnya merupakan sistem terintegrasi yang meliputi *remote detection*, *reservasi*, *alokasi* dan *auto payment*. Penggunaan sistem dengan *context aware* menghasilkan akurasi yang lebih baik dalam mendeteksi slot kosong pada area parkir.

### **Tren Masa Depan dan Tantangan**

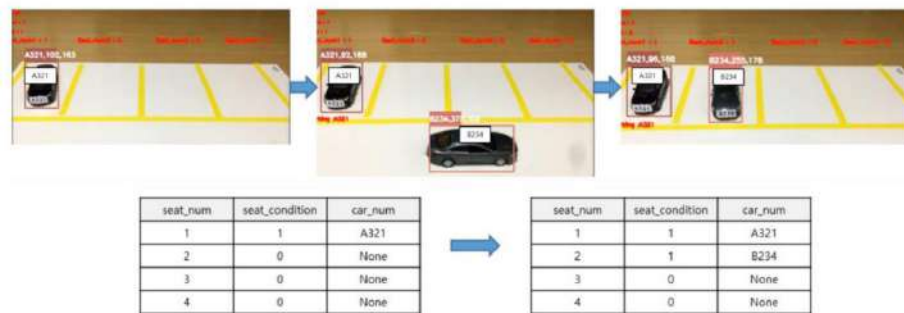
Penerapan smart parking di kota-kota besar seperti Jakarta dapat membantu meningkatkan mobilitas, mengurangi kemacetan, meminimalkan polusi udara, dan meningkatkan kualitas hidup bagi penduduk kota. Contohnya Revitalisasi sistem smart parkir di Daerah Khusus Jakarta yang merupakan langkah penting untuk mengatasi masalah parkir yang telah lama menjadi permasalahan kompleks. Berikut adalah beberapa langkah kreatif yang dapat diambil dalam revolusi sistem parkir pintar:

1. Aplikasi Parkir Berbasis Teknologi: Pengembangan aplikasi parkir pintar yang memungkinkan pengguna untuk mencari dan memesan tempat parkir secara online sebelum mereka tiba di lokasi. Aplikasi ini dapat memberikan informasi tentang ketersediaan tempat parkir, tarif parkir, serta memberikan petunjuk navigasi ke lokasi parkir. Sebuah kota perlu mengelola ruang parkir umum di badan jalan dan infrastruktur jaringan jalan secara lebih efektif (Aftab et al., 2020), sistem parkir cerdas baru dapat meningkatkan efisiensi parkir dengan panduan ke tempat parkir secara gratis dan dapat memperbaiki atau mengurangi situasi kemacetan lalu lintas di perkotaan (Kalašová et al., 2021). Sistem parkir dapat dikembangkan dengan aplikasi berbasis mobile, desktop dan web dan tentu saja akan sangat baik bagi pihak pengelola parkir untuk menyampaikan



- update informasi kawasan parkir secara real-time kepada pengguna nya (Nugraha et al., 2021)
2. **Pembayaran Digital:** Pembayaran digital merupakan salah satu cara untuk mengurangi penggunaan uang tunai, termasuk untuk pembayaran parkir. Mengintegrasikan sistem pembayaran digital seperti e-wallet atau pembayaran kartu kredit/debit pada sistem parkir merupakan salah satu inovasi yang memberi dampak positif bagi sistem perparkiran. Hal ini memungkinkan pengguna untuk membayar parkir secara elektronik tanpa perlu menggunakan uang tunai, sehingga mempercepat proses dan mengurangi antrian di tempat parkir. Hal ini sejalan dengan penelitian yang menemukan bahwa Prediktor terbaik untuk pembayaran digital dan adopsi perbankan di negara-negara berkembang adalah kepercayaan, persepsi keamanan, dan persepsi manfaat (Alkhowaiter, 2020). Hal ini dapat menjadi acuan dalam mengembangkan dan mendorong sistem pembayaran digital. Tantangannya tentu saja kepercayaan teknologi saat ini terhadap berbagai metode pembayaran, layanan, dan penyedia khusus nya pembayaran digital, dan penelitian membuktikan lebih dari 70% masyarakat memiliki kepercayaan yang cukup tinggi untuk penggunaan pembayaran digital (Putu et al., 2020)
  3. **Sensor Parkir Otomatis:** Pemasangan sensor parkir otomatis di setiap slot parkir yang dapat mendeteksi keberadaan kendaraan. Informasi dari sensor ini dapat diakses melalui aplikasi parkir pintar untuk memberikan informasi real-time tentang ketersediaan tempat parkir. Namun saat ini, belum ada aplikasi yang menyediakan informasi ketersediaan ruang kosong parkir terbuka atau outdoor secara real-time, yang diperlukan untuk memandu driver sepanjang rute terpendek menuju ruang parkir kosong. Untuk mengembangkan aplikasi parkir pintar pada lahan parkir terbuka, diperlukan penelitian lebih lanjut di bidang deep learning dan sistem multi-agen Magnetometer dan sensor ultrasonik adalah beberapa sensor dan teknologi yang banyak digunakan di tempat parkir tertutup (Paidi et al., 2018). Bagian mendasar dari setiap sistem parkir pintar adalah pendeteksian keberadaan kendaraan, yang biasanya digunakan oleh perangkat yang terdiri dari sensor yang haus daya. Pemanfaatan Internet of Things (IoT) merupakan salah satu konsep infrastruktur penting yang memungkinkan untuk Sistem parkir pintar (Perković et al., 2020; Solic et al., 2021). Perangkat sensor paling populer dan teknologi radio Low Power Wide Area (LPWA) yang tersedia saat ini (LoRa, Sigfox, dan NB-IoT) (Perković et al., 2020)
  4. **Pemanfaatan Teknologi AI untuk sistem parkir pintar** menggunakan image processing (Ruili et al., 2018) dapat digunakan untuk menganalisis data parkir yang terkumpul. Dengan menggunakan data historis tentang pola parkir, sistem dapat memberikan rekomendasi tentang lokasi parkir yang tersedia atau memberlakukan tarif dinamis berdasarkan permintaan. Pencarian ruang parkir kosong menggunakan beberapa kamera yang tertanam di dalam tempat parkir seperti terlihat pada gambar 7 yang memberikan informasi ketersediaan ruang parkir, termasuk penggunaan Raspberry dengan algoritma Convolutional Neural Network (CNN) (Jung et al., 2022). Beberapa penelitian lainnya, juga telah melakukan eksplorasi teknologi CNN untuk meningkatkan proses pengolahan data seperti pada penelitian (Nghie & Thinh, 2022) yang diintegrasikan pada jenis hardware accelerator

dan pada penelitian (Scekic et al., 2022) yang fokus dalam mengembangkan model algoritma R-CNN yang dapat melakukan prediksi dengan sangat cepat.



**Gambar 7.** Vehicle Tracking (Jung et al., 2022)

5. Penggunaan Papan Informasi Digital: Instalasi papan informasi digital di sekitar kota untuk memberikan informasi tentang ketersediaan tempat parkir, rute alternatif, dan informasi lalu lintas lainnya. Papan informasi ini dapat terhubung dengan sistem parkir pintar untuk memberikan informasi yang akurat dan terkini kepada pengguna jalan seperti pada Gambar 8. Data terkait jumlah dan waktu pengunjung mencari parkir dapat disimpan oleh fitur smart parking agar pengelola dapat menganalisis data pola pengunjung berdasarkan data historis tersebut. Dengan demikian, pengelola dapat menggunakan data ini untuk memprediksi lokasi parkir yang paling strategis dan menerapkan beberapa fitur seperti reservasi dan sistem parkir valet.

**Penerbit Gunadarma**



**Gambar 8.** Papan Informasi Digital (Sumber: signal-tech.com)

Penerapan smart parking di Daerah Khusus Jakarta dapat meningkatkan efisiensi pengelolaan ruang parkir, mengurangi kemacetan, dan meningkatkan kenyamanan bagi warga serta pengunjung kota. Namun, untuk berhasil menerapkan solusi ini, perlu dipertimbangkan beberapa aspek penting yang meliputi kesiapan SDM, teknologi, dan infrastruktur.

Kesiapan SDM menjadi kunci dalam kesuksesan implementasi smart parking. Personel terkait, seperti petugas parkir dan teknisi IT, perlu diberi pelatihan dan pengembangan keterampilan untuk memahami dan mengelola sistem smart parking dengan baik. Mereka harus dapat mengoperasikan teknologi sensor parkir dan memastikan sistem berjalan

dengan lancar. Selain itu, kesadaran dan pemahaman masyarakat tentang konsep smart parking juga perlu ditingkatkan agar adopsi solusi ini lebih maksimal. Kampanye penyuluhan dan edukasi mengenai manfaat smart parking bagi kenyamanan dan efisiensi transportasi di Jakarta dapat menjadi langkah penting dalam mempersiapkan masyarakat untuk menerima dan menggunakan teknologi ini dengan baik.

Selain kesiapan SDM, kerjasama antara pemerintah, swasta, dan masyarakat juga menjadi kunci dalam keberhasilan penerapan smart parking. Pemerintah perlu menciptakan regulasi yang mendukung dan mendorong inisiatif smart city, termasuk smart parking. Kolaborasi dengan perusahaan teknologi dan industri parkir juga diperlukan untuk mengembangkan solusi yang sesuai dengan kebutuhan. Di sisi lain, partisipasi aktif masyarakat dalam penggunaan dan pemeliharaan sistem smart parking juga akan mempengaruhi keberhasilan implementasi ini. Dengan implementasi yang tepat, smart parking dapat menjadi salah satu solusi cerdas untuk mengatasi tantangan transportasi perkotaan di Jakarta, beberapa aspek diatas harus diukur dan dianalisis sebelum menerapkan smart parking di Jakarta.

## KESIMPULAN

Dalam mengimplementasikan teknologi smart parking, terdapat beberapa poin penting yang harus diperhatikan, yakni diantaranya:

- Teknologi menjadi landasan utama dalam penerapan smart parking. Penggunaan sensor parkir dan Internet of Things (IoT) memungkinkan pengguna untuk mengetahui ketersediaan tempat parkir secara real-time melalui aplikasi atau platform online.
- Sistem manajemen parkir juga dapat mengolah data yang tersimpan dalam basis data *cloud* sehingga dapat menganalisis dan memprediksi berdasarkan pola atau tren jumlah, lokasi, dan waktu, permintaan lahan parkir.
- Pemasangan sensor parkir di tempat-tempat parkir umum yang strategis menjadi langkah penting dalam memastikan data yang akurat dan dapat diandalkan.
- Perangkat keras yang sering digunakan dalam sistem parkir, yaitu GPS, WiFi, Bluetooth, Ultra-wideband, dan RFID. Masing-masing penggunaan perangkat keras dapat disesuaikan dengan lokasi dan kebutuhan infrastruktur lahan parkir yang akan digunakan
- Pemanfaatan Algoritma AI dalam pengolahan data sering digunakan agar dapat mengolah data dengan cepat secara real time. Adapun algoritma yang sering digunakan adalah Optical Character Recognition (OCR) dan Convolutional Neural Network (CNN).
- Sensor parkir harus diintegrasikan dengan aplikasi seluler atau platform online yang memungkinkan pengguna untuk mencari, memesan, dan membayar tempat parkir dengan mudah akan menjadi bagian integral dari solusi smart parking.
- Sistem pembayaran yang efisien, seperti pembayaran melalui aplikasi seluler atau

kartu pintar, juga perlu dipertimbangkan untuk memberikan pengalaman pengguna yang lebih baik.

- Infrastruktur memainkan peran krusial dalam keberhasilan penerapan smart parking. Oleh karena itu, Investasi dalam infrastruktur jaringan menjadi penting untuk mendukung transmisi data dari sensor parkir ke platform online.
- Jaringan internet yang cepat dan andal akan menjadi kunci untuk memastikan operasional yang lancar.
- Perencanaan yang matang dalam hal sumber daya manusia dan pengaturan sistem lalu lintas di sekitar tempat parkir juga penting untuk memastikan akses yang lancar bagi pengguna dan mengoptimalkan penggunaan ruang parkir yang ada.

## REKOMENDASI KEBIJAKAN (POLICY BRIEF)

Pemerintah dapat mengadopsi beberapa kebijakan kunci dan *best practice* yang ada guna mendukung implementasi yang sukses. Beberapa rekomendasi tersebut ialah:

1. Regulasi yang memungkinkan penggunaan teknologi smart parking, termasuk standar teknis untuk sensor parkir dan infrastruktur pendukung lainnya, perlu dibuat. Regulasi ini juga harus mencakup ketentuan mengenai privasi data dan keamanan informasi untuk melindungi data pengguna yang dikumpulkan oleh sistem smart parking.
2. Pemerintah perlu memberikan insentif, seperti pembebasan pajak atau subsidi, kepada perusahaan yang berinvestasi dalam pengembangan infrastruktur smart parking. Insentif ini akan mendorong lebih banyak perusahaan untuk terlibat dalam pengembangan solusi smart parking di Jakarta.
3. Pemerintah harus mengadopsi kebijakan tarif parkir yang dinamis berdasarkan permintaan, sehingga mendorong pengguna untuk memanfaatkan ruang parkir yang tersedia secara lebih efisien. Hal ini dapat dilakukan dengan menggunakan sistem pembayaran yang terintegrasi dengan aplikasi seluler, sehingga pengguna dapat dengan mudah membayar parkir dan mendapatkan informasi tentang ketersediaan tempat parkir secara real-time.
4. Kemitraan dengan lembaga riset dan perguruan tinggi untuk melakukan studi dan pengembangan lebih lanjut mengenai penerapan smart parking perlu dijalin.

Dengan mengadopsi kebijakan-kebijakan ini, pemerintah Daerah Khusus Jakarta dapat menciptakan lingkungan yang kondusif bagi perkembangan smart parking dan meningkatkan efisiensi transportasi serta kualitas hidup warga kota serta pengunjung kota.

## DAFTAR PUSTAKA

- Abd Rahman, N. A., Bahaj, A., Abdul Halim Sithiq, H. A., Farhana Kamsin, I., & Zainal, N. K. (2022). Secure Parking and Reservation System Integrated with Car Plate Recognition and QR Code. *2022 IEEE International Conference on Distributed Computing and Electrical Circuits and Electronics (ICDCECE)*, 1–7. <https://doi.org/10.1109/ICDCECE53908.2022.9792692>
- Aftab, K., Kulkarni, P., Shergold, I., Jones, M., Dogramadzi, M., Carnelli, P., & Sooriyabandara, M. (2020). Reducing Parking Space Search Time and Environmental Impacts: A Technology Driven Smart Parking Case Study. *IEEE Technology and Society Magazine*, 39(3), 62–75. <https://doi.org/10.1109/MTS.2020.3012329>
- Ahmad, M. H., Cheah, N. A. C. Y., & Seman, M. T. A. (2022). Embedded RFID System: OKU Smart Parking (pp. 203–219). [https://doi.org/10.1007/978-981-16-2406-3\\_17](https://doi.org/10.1007/978-981-16-2406-3_17)
- Al Taweel, Z., Challagundla, L., Pagan, A., & Abuzneid, A. (2020). Smart Parking for Disabled Parking Improvement Using RFID and Database Authentication. *2020 IEEE 6th World Forum on Internet of Things (WF-IoT)*, 1–5. <https://doi.org/10.1109/WF-IoT48130.2020.9221069>
- Alharbi, M. T. (2022). Real Time Parking System Algorithms. *2022 2nd International Conference on Computing and Information Technology (ICCIT)*, 17–20. <https://doi.org/10.1109/ICCIT52419.2022.9711611>
- Alkhowaiter, W. A. (2020). Digital payment and banking adoption research in Gulf countries: A systematic literature review. *International Journal of Information Management*, 53, 102102. <https://doi.org/10.1016/j.ijinfomgt.2020.102102>
- Arora, S., Pargaian, S., Khan, F., Misra, A., Gambhir, A., & Verma, D. (2023). Smart Parking Allocation Using Raspberry Pi based IoT System. *2023 5th International Conference on Inventive Research in Computing Applications (ICIRCA)*, 1457–1461. <https://doi.org/10.1109/ICIRCA57980.2023.10220619>
- Avinash, C., Rohit, G., Rajesh, C., Suresh, A., & Chinnadurai, S. (2022). IOT Based Smart Parking System With E-Ticketing. *2022 International Conference on Recent Trends in Microelectronics, Automation, Computing and Communications Systems (ICMACC)*, 108–112. <https://doi.org/10.1109/ICMACC54824.2022.10093659>
- Bassam, R., & Samann, F. (2020). Smart Parking System based on Improved OCR Model. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 978(1), 012007. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/978/1/012007>
- Channamallu, S. S., Kermanshachi, S., Rosenberger, J. M., & Pamidimukkala, A. (2023). A review of smart parking systems. *Transportation Research Procedia*, 73, 289–296. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2023.11.920>
- Cong, R., Kanega, S., & Fujikawa, N. (2022). Infrared Distance Sensor-based Parking Space Reservation System for People with Disabilities. *2022 IEEE Intl Conf on Dependable, Autonomic and Secure Computing, Intl Conf on Pervasive Intelligence and Computing, Intl Conf on Cloud and Big Data Computing, Intl Conf on Cyber Science and Technology Congress (DASC/PiCom/CBDCoM/CyberSciTech)*, 1–5. <https://doi.org/10.1109/DASC/PiCom/CBDCoM/Cy55231.2022.9927893>
- Eridani, D., Windarto, Y. E., & Zaka, G. (2023). IoT-Based Integrated Parking System Prototype using RFID and HC-SR04. *2023 10th International Conference on Information Technology, Computer, and Electrical Engineering (ICITACEE)*, 360–364. <https://doi.org/10.1109/ICITACEE58587.2023.10277099>
- Fikri, R. M., & Hwang, M. (2019). Smart Parking Area Management System for the Disabled using IoT and Mobile Application. *2019 IEEE International Conference on Internet of Things and Intelligence System (IoT&IS)*, 172–176.



<https://doi.org/10.1109/IoTals47347.2019.8980454>

- Geng, Y., & Cassandra, C. G. (2012). A new "Smart Parking" System Infrastructure and Implementation. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 54, 1278–1287. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2012.09.842>
- Ghorpade, S. N., Zennaro, M., & Chaudhari, B. S. (2021). GWO Model for Optimal Localization of IoT-Enabled Sensor Nodes in Smart Parking Systems. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 22(2), 1217–1224. <https://doi.org/10.1109/TITS.2020.2964604>
- Ibrahim, M., Lee, Y., Kahng, H.-K., Kim, S., & Kim, D.-H. (2022). Blockchain-based parking sharing service for smart city development. *Computers and Electrical Engineering*, 103, 108267. <https://doi.org/10.1016/j.compeleceng.2022.108267>
- Islam, M. R., Azam, S., Shanmugam, B., Karim, A., El-Den, J., DeBoer, F., Jonkman, M., & Yadav, A. (2020). Smart Parking Management System to Reduce Congestion In Urban Area. 2020 2nd International Conference on Electrical, Control and Instrumentation Engineering (ICECIE), 1–6. <https://doi.org/10.1109/ICECIE50279.2020.9309546>
- Jenulin Makros, G., Ancy Jenifer., J., Adithya, B. V, Rohan Samuel, R., & Giribalan, M. (2023). Disabled Smart Parking Management using RFID Technology. 2023 4th International Conference on Electronics and Sustainable Communication Systems (ICESC), 22–28. <https://doi.org/10.1109/ICESC57686.2023.10193064>
- Jung, I. H., Lee, J. M., & Hwang, K. (2022). Smart Parking Management System Using AI. *Webology*, 19(1), 4629–4638. <https://doi.org/10.14704/WEB/V19I1/WEB19307>
- Kalašová, A., Čulík, K., Poliak, M., & Otahálová, Z. (2021). Smart Parking Applications and Its Efficiency. *Sustainability*, 13(11), 6031. <https://doi.org/10.3390/su13116031>
- Mainetti, L., Patrono, L., Stefanizzi, M. L., & Vergallo, R. (2015). A Smart Parking System based on IoT protocols and emerging enabling technologies. 2015 IEEE 2nd World Forum on Internet of Things (WF-IoT), 764–769. <https://doi.org/10.1109/WF-IoT.2015.7389150>
- Neupane, D., Bhattarai, A., Aryal, S., Bouadjenek, M. R., Seok, U., & Seok, J. (2024). Shine: A deep learning-based accessible parking management system. *Expert Systems with Applications*, 238, 122205. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2023.122205>
- Nghi, H. P., & Thinh, T. N. (2022). A CNN-Based Vehicle Identification Solution in Parking System With Hardware Accelerator on FPGA. 2022 RIVF International Conference on Computing and Communication Technologies (RIVF), 518–523. <https://doi.org/10.1109/RIVF55975.2022.10013847>
- Nugraha, D., Ahmed, F. Y. H., Abdullah, M. I., & Johar, M. G. M. (2021). Survey of smart parking application deployment. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 1108(1), 012019. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/1108/1/012019>
- Paidi, V., Fleyeh, H., Håkansson, J., & Nyberg, R. G. (2018). Smart parking sensors, technologies and applications for open parking lots: a review. *IET Intelligent Transport Systems*, 12(8), 735–741. <https://doi.org/10.1049/iet-its.2017.0406>
- Patro, S. P., Patel, P., Senapaty, M. K., Padhy, N., & Sah, R. D. (2020). IoT based Smart Parking System: A Proposed Algorithm and Model. 2020 International Conference on Computer Science, Engineering and Applications (ICCSEA), 1–6. <https://doi.org/10.1109/ICCSEA49143.2020.9132923>
- Perković, T., Šolić, P., Zargariasl, H., Čoko, D., & Rodrigues, J. J. P. C. (2020). Smart Parking Sensors: State of the Art and Performance Evaluation. *Journal of Cleaner Production*, 262, 121181. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.121181>
- Pham, T. N., Tsai, M.-F., Nguyen, D. B., Dow, C.-R., & Deng, D.-J. (2015). A Cloud-Based Smart-Parking System Based on Internet-of-Things Technologies. *IEEE Access*, 3, 1581–1591. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2015.2477299>
- Putu, I., Noviana, T., & Darma, G. S. (2020). Exploring Digital Marketing Strategies During the



- New Normal Era in Enhancing the Use of Digital Payment (Vol. 4, Issue 3). <https://iocscience.org/ejournal/index.php/mantik>
- Rocco, G., Pipino, C., & Pagano, C. (2023). An Overview of Urban Mobility: Revolutionizing with Innovative Smart Parking Systems. *Sustainability*, 15(17), 13174. <https://doi.org/10.3390/su151713174>
- Ruili, J., Haocong, W., Han, W., O'Connell, E., & McGrath, S. (2018). Smart Parking System Using Image Processing and Artificial Intelligence. 2018 12th International Conference on Sensing Technology (ICST), 232–235. <https://doi.org/10.1109/ICSensT.2018.8603590>
- Saleem, A. A., Siddiqui, H. U. R., Shafique, R., Haider, A., & Ali, M. (2020). A Review on Smart IOT Based Parking System (pp. 264–273). [https://doi.org/10.1007/978-3-030-36056-6\\_26](https://doi.org/10.1007/978-3-030-36056-6_26)
- Scekic, Z., Cakic, S., Popovic, T., & Jakovljevic, A. (2022). Image-Based Parking Occupancy Detection Using Deep Learning and Faster R-CNN. 2022 26th International Conference on Information Technology (IT), 1–5. <https://doi.org/10.1109/IT54280.2022.9743533>
- Singh, S. K., Pan, Y., & Park, J. H. (2022). Blockchain-enabled Secure Framework for Energy-Efficient Smart Parking in Sustainable City Environment. *Sustainable Cities and Society*, 76, 103364. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2021.103364>
- Solic, P., Leoni, A., Colella, R., Perkovic, T., Catarinucci, L., & Stornelli, V. (2021). IoT-Ready Energy-Autonomous Parking Sensor Device. *IEEE Internet of Things Journal*, 8(6), 4830–4840. <https://doi.org/10.1109/JIOT.2020.3031088>
- Tsai, Y.-C., Chen, M.-T., & Chang, Y.-Y. (2023). Development of parking space certificate management system based on blockchain approach. 2023 IEEE/ACIS 8th International Conference on Big Data, Cloud Computing, and Data Science (BCD), 329–331. <https://doi.org/10.1109/BCD57833.2023.10466339>
- TURKI, M., DAMMAK, B., & Mars, R. (2022). A Private Smart parking solution based on Blockchain and AI. 2022 15th International Conference on Security of Information and Networks (SIN), 1–7. <https://doi.org/10.1109/SIN56466.2022.9970548>
- Veermanickam, M. R. M., Venkatesh, B., Bewoor, L. A., Bhowte, Y. W., Moholkar, K., & Bangare, J. L. (2022). IoT based smart parking model using Arduino UNO with FCFS priority scheduling. *Measurement: Sensors*, 24, 100524. <https://doi.org/10.1016/j.measen.2022.100524>
- Zhang, C., Zhu, L., Xu, C., Zhang, C., Sharif, K., Wu, H., & Westermann, H. (2020). BSFP: Blockchain-Enabled Smart Parking With Fairness, Reliability and Privacy Protection. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 69(6), 6578–6591. <https://doi.org/10.1109/TVT.2020.2984621>
- Zhang, Y., Zhang, L., Kang, B., Ma, Y., & Chen, T. (2021). Secure and Reliable Parking Protocol Based on Blockchain for VANETs. 2021 IEEE Wireless Communications and Networking Conference (WCNC), 1–6. <https://doi.org/10.1109/WCNC49053.2021.9417281>
- Zulficar, H., Ul Haque, H. M., Tariq, F., & Khan, R. M. (2023). A survey on smart parking systems in urban cities. *Concurrency and Computation: Practice and Experience*, 35(15). <https://doi.org/10.1002/cpe.6511>



## ANALISIS OPINI MASYARAKAT TERHADAP PENERAPAN *ELECTRONIC ROAD PRICING* MENGGUNAKAN MODEL *BIDIRECTIONAL ENCODER REPRESENTATIONS FROM TRANSFORMERS*

Elly Gautama<sup>1\*</sup>, Lucia Sri Istiyowati<sup>2</sup>, M. Isnin Faried<sup>3</sup>,  
Agnes Novita Ida Safitri<sup>4</sup>, Christine Audrey Lerista<sup>5</sup>

<sup>1,2,4</sup>Sistem Informasi, FTI, IKPIA Perbanas, Jakarta 12940, Indonesia

<sup>3,5</sup>Teknik Informatika, FTI, IKPIA Perbanas, Jakarta 12940, Indonesia

\*Penulis Koresponden, e-mail: [elliana@perbanas.id](mailto:elliana@perbanas.id)

### ABSTRAK

Perwujudan Jakarta *Smart City* dengan penerapan teknologi bertujuan untuk meningkatkan efisiensi yang diharapkan juga dapat meningkatkan kualitas hidup masyarakatnya. Salah satu permasalahan yang banyak terjadi adalah permasalahan lalu lintas kota dan kepadatannya. Sistem *Electronic Road Pricing* (ERP) atau Jalan berbayar telah diperkenalkan sebagai upaya untuk mengatasi masalah kemacetan lalu lintas dan meningkatkan efisiensi transportasi. Penerapan sistem ini telah menimbulkan berbagai opini dari masyarakat, termasuk pro dan kontra. Analisis opini dilakukan untuk mengidentifikasi sikap positif, negatif, atau netral dari masyarakat terhadap penerapan ERP. Analisis sentimen merupakan cabang dari *Natural Language Processing* (NLP) yang merupakan bagian dari *Artificial Intelligence* (AI). Dalam analisis sentimen dilakukan prosedur multi-langkah yang mencakup pengambilan data, ekstraksi, *preprocessing* dan ekstraksi fitur. Metode yang digunakan dalam penelitian ini melibatkan pengumpulan data teks dari berbagai sumber *online*, termasuk media sosial, situs berita, dan forum diskusi. Data teks ini kemudian dianalisis menggunakan model *Bidirectional Encoder Representations From Transformers* (BERT) yang telah dilatih ulang untuk memahami sentimen yang terkandung dalam teks terkait penerapan ERP. Model BERT dirancang untuk membantu komputer memahami arti bahasa ambigu dalam teks dengan menggunakan teks di sekitarnya untuk menetapkan konteks di dalam teks secara otomatis, mengklasifikasikan teks-teks ke dalam kategori sentimen yang sesuai. Hasil penelitian ini dapat memberikan pemahaman yang lebih dalam, tentang bagaimana masyarakat merespons penerapan Sistem Jalan Berbayar Elektronik di Jakarta. Informasi ini dapat menjadi masukan berharga bagi pemerintah dan *stakeholder* terkait dalam merancang kebijakan transportasi yang lebih responsif terhadap kebutuhan dan preferensi masyarakat.

**Kata Kunci:** Analisis Opini, *Electronic Road Pricing* (ERP), *Bidirectional Encoder Representations From Transformers* (BERT), Transportasi, *Smart City*.

### PENDAHULUAN

Kemacetan lalu lintas di kota-kota besar telah menjadi masalah umum yang menghambat mobilitas warga dan mengurangi kualitas hidup. Jakarta, sebagai salah satu kota metropolitan terbesar di Asia Tenggara, menghadapi berbagai tantangan urban yang kompleks, salah satunya adalah kemacetan lalu lintas. Upaya menjadikan Jakarta sebagai '*Smart City*' telah mendorong penerapan berbagai solusi teknologi canggih untuk mengatasi masalah urban tersebut. Salah satu solusi yang diharapkan dapat mengurangi kepadatan lalu lintas adalah sistem *Electronic Road Pricing* (ERP). Sistem ini dirancang untuk mengontrol jumlah kendaraan di jalan-jalan utama melalui mekanisme tarif berdasarkan waktu dan lokasi, sehingga mendorong penggunaan transportasi publik dan pengurangan perjalanan pribadi. Implementasi sistem ERP di Jakarta telah menimbulkan berbagai respons dari masyarakat, yang mencerminkan beragam opini terkait kebijakan baru ini. Meskipun sistem ini diharapkan dapat

memperbaiki aliran lalu lintas dan mengurangi polusi, penerimaannya oleh masyarakat memainkan peran krusial dalam keberhasilannya, oleh karena itu, memahami reaksi publik terhadap kebijakan ERP adalah esensial. Penelitian ini berusaha menganalisis secara mendalam sentimen dan opini masyarakat yang diungkapkan melalui berbagai *platform online* dengan menggunakan model *Bidirectional Encoder Representations from Transformers* (BERT). Analisis ini tidak hanya menyoroti pandangan masyarakat terhadap ERP tetapi juga membantu dalam memformulasikan strategi yang lebih efektif dan diterima oleh warga, mendukung transisi Jakarta menuju konsep *smart city* yang berkelanjutan. Penggunaan teknologi seperti BERT dalam analisis opini publik menawarkan wawasan yang tak ternilai dalam mengidentifikasi sikap masyarakat terhadap inisiatif pemerintah, memungkinkan pembuat kebijakan untuk menyesuaikan dan meningkatkan strategi komunikasi serta implementasi (Manuel-Ilie et al., 2023). Analisis ini juga sangat penting dalam merumuskan tindakan yang akan memfasilitasi transisi yang mulus dari kebijakan lalu lintas tradisional ke model yang lebih dinamis dan berbasis teknologi, memastikan bahwa transisi ini mendapat dukungan luas dari warga kota. Dengan demikian, penelitian ini tidak hanya memberikan penilaian tentang efektivitas ERP saat ini tetapi juga membantu dalam mempersiapkan jalur ke depan yang akan menangani kemacetan lalu lintas dan meningkatkan kualitas hidup di Jakarta. Hasil analisis ini tidak hanya relevan untuk kebijakan transportasi, tetapi juga memberikan wawasan bagi para pemangku kepentingan dalam merencanakan dan melaksanakan kebijakan *smart city* lainnya yang berbasis teknologi. Keefektifan ERP sebagai solusi kemacetan dapat dijadikan acuan untuk mengimplementasikan teknologi serupa dalam aspek lain seperti pengelolaan sumber daya kota dan layanan publik. Dengan demikian, penelitian ini menyediakan kerangka kerja komprehensif yang dapat digunakan untuk evaluasi dan penyesuaian kebijakan berbasis teknologi di masa depan.

Di berbagai kota besar di dunia, pengenalan sistem ERP telah menjadi strategi yang efektif untuk mengatasi masalah kemacetan. Kota-kota seperti London, Singapura, dan Stockholm telah melihat penurunan signifikan dalam jumlah kendaraan di pusat kota dan peningkatan dalam kualitas udara setelah penerapan sistem seperti ERP (Crocì, 2016). Pengalaman internasional ini menunjukkan bahwa keberhasilan ERP tergantung pada beberapa faktor kritis, termasuk penetapan tarif yang efektif, komunikasi yang jelas kepada publik, dan ketersediaan alternatif transportasi yang memadai (Shatanawi et al., 2020). Dalam konteks Jakarta, mengadopsi pendekatan serupa memerlukan adaptasi terhadap kondisi lokal dan penyesuaian dengan preferensi serta kebutuhan masyarakat. Selanjutnya, ERP di Jakarta bukan hanya tentang mengurangi kemacetan, tetapi juga tentang mendukung pengembangan konsep *smart city* yang berkelanjutan. Penerapan ERP diharapkan dapat mendorong lebih banyak warga untuk beralih ke transportasi publik, yang telah ditingkatkan kapasitas dan kualitasnya dalam beberapa tahun terakhir, ini sejalan dengan visi pemerintah kota untuk menciptakan sistem transportasi yang lebih efisien dan ramah lingkungan, sebagaimana digarisbawahi dalam Rencana Pembangunan Jangka Menengah Daerah (RPJMD) Kota Jakarta (RPJMD, 2023). Namun, transisi ke ERP tidak tanpa tantangan. Opini masyarakat terhadap ERP terbagi, dengan sebagian besar kekhawatiran berkisar pada biaya tambahan yang harus ditanggung oleh pengguna jalan. Persepsi ini dapat mempengaruhi keberhasilan implementasi ERP jika tidak ditangani dengan strategi komunikasi yang efektif dan pendekatan inklusif. Keterlibatan masyarakat melalui dialog publik dan pendidikan tentang manfaat ERP, seperti pengurangan waktu perjalanan dan peningkatan kualitas udara, penting untuk meraih dukungan publik.



**Gambar 1.** Uji coba penerapan ERP di Jakarta  
Sumber : (CNN, 2023)

Penelitian oleh Ziyuan Gu (Gu et al., 2018) menunjukkan bahwa informasi yang transparan dan partisipasi publik dalam proses perencanaan dapat signifikan meningkatkan penerimaan masyarakat terhadap sistem tarif jalan berbayar (Gu et al., 2018). Selain itu, analisis opini dengan menggunakan teknologi AI dan NLP seperti BERT, seperti yang diproposisikan dalam penelitian ini, memberikan kesempatan untuk memonitor dan memahami sentimen masyarakat secara *real-time*. Hal ini memungkinkan pembuat kebijakan untuk secara proaktif menyesuaikan aspek-aspek kebijakan ERP berdasarkan umpan balik publik yang dinamis dan beragam, sehingga meningkatkan kemungkinan keberhasilan implementasi (Yang et al., 2022). Dengan melihat berbagai faktor ini, penelitian yang mendalam tentang reaksi masyarakat terhadap ERP menjadi sangat relevan. Analisis sentimen yang komprehensif dapat mengungkap nuansa opini publik yang akan berguna dalam menyusun strategi implementasi yang tidak hanya teknis namun juga sensitif terhadap kebutuhan dan harapan masyarakat.

Penelitian ini menawarkan rekomendasi untuk pemangku kepentingan dalam menggunakan hasil analisis sentimen untuk meningkatkan kebijakan ERP dan menyesuaikannya dengan kondisi sosial-ekonomi dan kebutuhan spesifik Jakarta. Melalui pendekatan yang berbasis data dan partisipatif, Jakarta dapat lebih efektif dalam mencapai tujuannya sebagai *smart city* yang tidak hanya canggih dalam teknologi tetapi juga responsif terhadap aspirasi warganya. Penelitian ini juga menyoroti pentingnya komunikasi dan edukasi publik dalam mengimplementasikan kebijakan yang menimbulkan perubahan signifikan dalam kehidupan sehari-hari masyarakat. Efektivitas ERP sangat bergantung pada pemahaman masyarakat mengenai manfaat jangka panjang sistem ini terhadap pengurangan kemacetan dan peningkatan kualitas udara. Strategi komunikasi yang efektif harus diterapkan untuk mengatasi misinformasi dan membangun dukungan publik terhadap kebijakan tersebut.

## STATE OF THE ART

Untuk memberikan *State of the art* atau tinjauan terkini dapat dirinci menjadi beberapa elemen kunci dalam bidang NLP, analisis sentimen menggunakan BERT, dan aplikasi teknologi ini dalam konteks kebijakan publik seperti ERP. Berikut ini adalah ringkasan dari aspek-aspek kunci:

### 1. *Natural Language Processing (NLP)* dan BERT

*Natural Language Processing* telah berkembang pesat dengan kemajuan dalam teknologi pembelajaran mesin dan *deep learning*. Model BERT, yang dikembangkan oleh Google, adalah terobosan dalam pemahaman bahasa karena memanfaatkan arsitektur *transformer* yang memproses kata-kata dalam konteks kiri dan kanan secara simultan. BERT telah berhasil diterapkan dalam berbagai tugas NLP termasuk analisis sentimen, ekstraksi entitas, dan pemahaman teks. Kemampuan BERT untuk menangkap nuansa kontekstual dari data teks menjadikannya alat yang sangat efektif untuk analisis opini (Devlin, 2019).

### 2. Analisis Sentimen dan Kebijakan Publik

Analisis sentimen telah digunakan secara luas untuk memahami persepsi publik terhadap berbagai isu, termasuk kebijakan publik. Dalam konteks ERP, memahami sentimen publik adalah esensial untuk mengukur penerimaan masyarakat terhadap kebijakan tersebut dan untuk menyesuaikan strategi implementasi. Teknik analisis sentimen, ketika diterapkan pada data dari media sosial dan forum *online*, dapat menyediakan wawasan *real-time* tentang opini publik yang berdampak pada proses pengambilan keputusan dan perumusan kebijakan (Patel et al., 2015).

### 3. ERP dan *Smart City Initiatives*

ERP adalah komponen penting dalam inisiatif *Smart City* yang bertujuan untuk mengoptimalkan penggunaan infrastruktur kota dan mengurangi kemacetan. Integrasi ERP dengan teknologi seperti BERT untuk analisis sentimen membantu pemerintah dalam memahami dan merespons lebih baik terhadap kebutuhan dan preferensi warga. Ini membantu dalam menciptakan solusi yang lebih berkelanjutan dan diterima oleh masyarakat, serta dalam meningkatkan transparansi dan keadilan dalam penerapan kebijakan (Neirotti et al., 2014).

### 4. *Challenges* dan *Future Directions*

Walaupun penggunaan BERT dalam analisis sentimen menawarkan banyak keuntungan, terdapat tantangan seperti kebutuhan data besar untuk pelatihan yang efektif, potensi bias dalam data pelatihan, dan kebutuhan untuk interpretasi hasil yang transparan. Riset masa depan mungkin mengeksplorasi integrasi model BERT dengan teknik *unsupervised learning* untuk mengurangi ketergantungan pada data berlabel, atau pengembangan pendekatan baru untuk meningkatkan keadilan dan akuntabilitas algoritma (Faryna et al., 2024).



## 5. Evolusi Model NLP untuk Bahasa Non-Inggris

Mengingat ERP diterapkan di Jakarta, penting juga untuk mempertimbangkan evolusi model NLP yang dioptimalkan untuk bahasa Indonesia. Model seperti BERT telah diadaptasi ke berbagai bahasa, termasuk Indonesia, yang memungkinkan analisis sentimen yang lebih akurat dalam konteks lokal. Penelitian terbaru telah memfokuskan pada adaptasi model NLP canggih untuk memahami nuansa dan konteks bahasa-bahasa lokal, yang sangat penting dalam menginterpretasikan opini publik secara efektif dalam berbagai *setting* kebudayaan (Yu & Jiang, 2019).

## 6. Visualisasi Data dan Pemahaman Sentimen Publik

Selain analisis teks, visualisasi data bermain penting dalam mempresentasikan hasil analisis sentimen kepada pemangku kepentingan dan publik. Alat visualisasi yang inovatif dapat membantu dalam memetakan tren sentimen dan pola geografis yang terkait dengan opini tentang ERP, memungkinkan pemerintah untuk melihat dan memahami dinamika opini publik dengan lebih intuitif dan responsif (Harbola & Coors, 2018).

## 7. Etika AI dan Transparansi dalam Kebijakan Publik

Diskusi tentang etika AI dan kebutuhan untuk transparansi dalam aplikasi NLP dan analisis sentimen menjadi semakin relevan. Dalam konteks ERP, penting untuk memastikan bahwa data dan algoritma yang digunakan tidak hanya efisien tetapi juga adil dan transparan, memperhatikan privasi dan hak individu (Verma, 2019).

Melalui pendekatan *state of the art*, penelitian ini akan mendalam dan relevan, memberikan kontribusi berharga pada literatur kebijakan transportasi dan teknologi NLP dalam konteks urban yang lebih besar. Setiap poin ini bertujuan untuk tidak hanya menambahkan kedalaman pada analisis, tetapi juga untuk menggarisbawahi pentingnya inovasi yang berkelanjutan dan pemikiran kritis tentang implementasi dan implikasi teknologi dalam kebijakan publik.

# PEMBAHASAN

## Konsep dan Teori Dasar

### a. Pengertian Dasar Analisis Sentimen

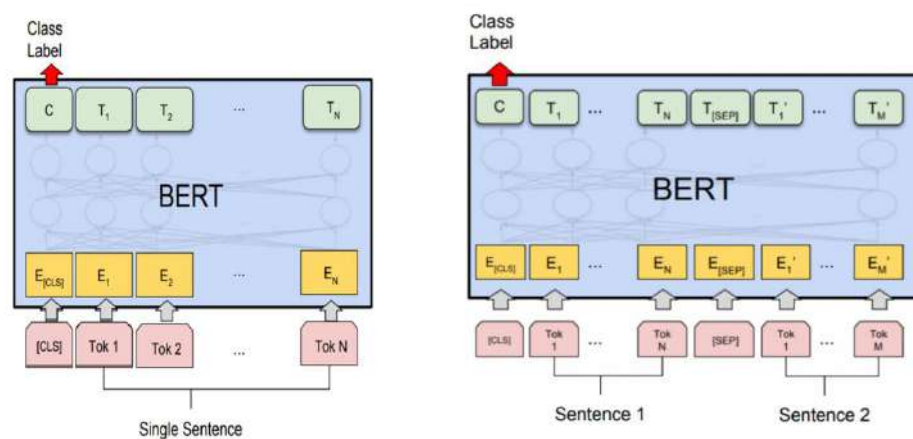
Analisis Sentimen adalah teknik komputasional yang digunakan dalam NLP untuk mengidentifikasi dan mengklasifikasikan opini yang diungkapkan dalam sebuah teks, baik itu positif, negatif, atau netral. Analisis ini bertujuan untuk memahami sentimen di balik komunikasi manusia yang terjadi secara digital (Patel et al., 2015).

### b. Model *Bidirectional Encoder Representations from Transformers* (BERT)

BERT adalah sebuah model pemrosesan bahasa alami yang revolusioner, dikembangkan oleh Google. BERT memungkinkan komputer untuk memahami makna kata-kata dalam konteksnya, yang sangat meningkatkan kemampuan sistem untuk memahami permintaan manusia. Keunggulan utama BERT terletak pada kemampuannya untuk memproses kata-



kata dalam urutan secara *bidirectional*, artinya BERT mempertimbangkan semua informasi dalam kalimat sekaligus, bukan satu arah dari kiri ke kanan atau sebaliknya saja. Ini memberikan konteks yang lebih kaya dan hasil yang lebih akurat dalam tugas-tugas seperti analisis sentimen (Manuel-Ilie et al., 2023). Model ini memanfaatkan teknik "*transformer*", yaitu arsitektur yang mengandalkan mekanisme "*attention*" untuk memahami konteks kata dalam sebuah kalimat dari dua arah. BERT dirancang untuk meningkatkan pemahaman komputer terhadap makna kata dalam konteks yang lebih luas, yang secara signifikan meningkatkan kinerja model dalam tugas-tugas seperti ekstraksi entitas, pemahaman teks, dan tentu saja, analisis sentimen (Devlin, 2019).



**Gambar 2.** Sentence Classification Task  
Sumber : (Sentiment Classification Using BERT, 2023)

Gambar 2. menunjukkan arsitektur kompleks dari BERT yang melibatkan *multiple layers of neural networks* dengan *transformer blocks*. BERT telah diimplementasikan dalam berbagai aplikasi NLP, mulai dari mesin pencari seperti *Google Search*, hingga sistem rekomendasi dan analisis sentimen. Kemampuannya untuk memahami nuansa dan konteks bahasa membuatnya sangat berguna dalam menangani pertanyaan-pertanyaan yang kompleks dan memberikan jawaban yang lebih relevan dan akurat.

### c. Electronic Road Pricing (ERP)

ERP adalah sebuah sistem yang dirancang untuk mengurangi kemacetan lalu lintas dengan cara mengenakan biaya pada penggunaan jalan di area dan waktu tertentu. Sistem ini bertujuan untuk mengatur aliran lalu lintas dan mendorong penggunaan alternatif transportasi umum, dengan memanfaatkan teknologi canggih. Penggunaan sistem ERP telah terbukti efektif di beberapa kota besar di dunia seperti Singapura, yang menjadi pionir dalam implementasi teknologi ini (Assidiq, 2023). Kota-kota yang telah menerapkan ERP, seperti Singapura, London, dan Stockholm, telah mencatat penurunan signifikan dalam volume lalu lintas dan peningkatan efisiensi transportasi umum. Di Singapura, sistem ERP berhasil mengurangi volume lalu lintas di pusat kota sekitar 10-15% dan meningkatkan kecepatan lalu lintas rata-rata. Di London, pengenalan skema penagihan serupa telah menghasilkan pengurangan kemacetan hingga 30% di area pusat kota (Menon Sarath

Guttikunda, 2010).

Implementasi ERP tidak hanya berdampak pada pengurangan kemacetan tetapi juga mempengaruhi aspek sosial dan ekonomi masyarakat. Kebijakan ini seringkali mengundang perdebatan mengenai keadilan sosial dan distribusi beban ekonomi. Studi menunjukkan bahwa pentingnya strategi kompensasi dan subsidi bagi penduduk berpenghasilan rendah untuk mencegah ketidakadilan dalam aksesibilitas dan mobilitas (Assidiq, 2023). Meskipun ERP telah menunjukkan banyak keuntungan, sistem ini juga menghadapi kritik, terutama terkait isu privasi dan keadilan sosial. Tantangan dalam penerapan ERP termasuk resistensi publik terhadap biaya tambahan dan kekhawatiran tentang pengawasan yang meningkat. Oleh karena itu, transparansi dan partisipasi publik menjadi kunci dalam merancang dan mengimplementasikan sistem yang diterima oleh masyarakat. Dalam konteks kebijakan publik seperti ERP, analisis sentimen dapat digunakan untuk menggali bagaimana reaksi publik terhadap kebijakan tersebut. Dengan mengumpulkan data dari berbagai sumber seperti media sosial, forum *online*, dan portal berita, pemerintah dan para pembuat kebijakan dapat memahami sentimen umum, mendeteksi perubahan opini seiring waktu, dan merespons secara lebih informasi (Menon Sarath Guttikunda, 2010).

## 1. Analisis Sentimen untuk Kebijakan Publik dengan Menggunakan Model BERT

Analisis sentimen, khususnya melalui penggunaan model BERT, memberikan wawasan berharga dalam membentuk dan mengevaluasi kebijakan publik. Dalam konteks kebijakan transportasi seperti ERP, analisis ini digunakan untuk menilai penerimaan publik dan memprediksi reaksi terhadap perubahan tarif atau peraturan baru. Analisis opini masyarakat mengenai penerapan ERP di Jakarta melibatkan beberapa langkah penting yang mengintegrasikan teknik NLP dengan pengumpulan data opini publik. Berikut adalah langkah-langkah yang bisa diikuti:

### a. Pengumpulan Data

Tahap pengumpulan data adalah langkah awal dan krusial dalam proses analisis sentimen menggunakan model BERT untuk memahami opini masyarakat terhadap penerapan ERP di Jakarta. Berikut adalah beberapa strategi dan teknik yang lebih rinci untuk mengumpulkan data yang efektif:

#### 1) Identifikasi Sumber Data

Pilih sumber data yang akan memberikan *insight* paling relevan tentang opini masyarakat. Untuk topik seperti ERP di Jakarta, sumber data yang potensial meliputi:

- Media Sosial: Twitter, Facebook, dan Instagram adalah *platform* utama tempat masyarakat sering menyuarakan opini dan melakukan diskusi tentang kebijakan lokal.
- Forum Online: Situs web seperti Kaskus atau forum regional khusus Jakarta bisa menjadi sumber informasi yang kaya.
- Situs Berita: Komentar pada artikel berita dari situs-situs seperti Detik,

Kompas, atau Jakarta Post.

- Blog dan Kolom Opini: Tulisan individu atau analisis mendalam pada blog pribadi atau situs berita independen.

## 2) Penggunaan Tools untuk Pengumpulan Data

Menggunakan alat otomatis untuk mengumpulkan data dapat meningkatkan efisiensi dan volume data yang bisa diolah. Beberapa alat dan teknik yang dapat digunakan termasuk:

- *Web Scraping*: Menggunakan *library* seperti *BeautifulSoup* atau *Scrapy* untuk Python untuk mengambil data dari web.
- *APIs*: Menggunakan API yang disediakan oleh *platform* media sosial seperti Twitter API atau Facebook Graph API untuk menarik postingan atau komentar yang mengandung kata kunci tertentu.
- *RSS Feeds*: Menggunakan RSS untuk secara otomatis mengumpulkan artikel terbaru dari berbagai situs berita atau blog.

## 3) Pengaturan Kata Kunci dan Query

Menentukan kata kunci dan *query* yang tepat sangat penting untuk memastikan relevansi data yang dikumpulkan. Beberapa contoh kata kunci untuk ERP di Jakarta dapat mencakup:

- "ERP Jakarta"
- "tarif ERP"
- "kemacetan di Jakarta"
- "kebijakan lalu lintas Jakarta"
- "tanggapan ERP"

Kombinasi kata kunci ini dapat digunakan dalam *query* pencarian untuk menarik data yang paling relevan.

## 4) Penyaringan dan Validasi Data

Setelah data terkumpul, penting untuk melakukan penyaringan untuk memastikan bahwa data tersebut relevan dengan topik penelitian. Ini mungkin termasuk:

- *Pemilahan Data*: Memeriksa data secara manual atau menggunakan *software* untuk memastikan bahwa hanya data yang berkaitan dengan ERP Jakarta yang disertakan.
- *Validasi Sumber*: Memeriksa kredibilitas dan relevansi sumber data. Misalnya, memastikan bahwa komentar atau postingan berasal dari pengguna yang berada di Jakarta atau memiliki kepentingan langsung dengan topik tersebut.

## 5) Penyimpanan Data

Akhirnya, pastikan data yang dikumpulkan disimpan dengan cara yang aman dan terorganisir, biasanya dalam *database* atau file yang terstruktur, sehingga mudah

diakses dan dianalisis pada langkah selanjutnya dalam proses analisis sentimen. Pada Tabel 1 berisi Dataset berikut ulasan dan label sentimen yang sesuai:

**Tabel 1.** Contoh Dataset Ulasan dan Label Sentimen

| Ulasan                                             | Sentimen |
|----------------------------------------------------|----------|
| "ERP di Jakarta sangat membantu mengurangi macet." | Positif  |
| "Implementasi ERP menambah beban biaya bagi kami." | Negatif  |
| "Sistem ERP di Jakarta perlu peningkatan lagi."    | Netral   |

Sumber : (diolah oleh peneliti)

Pengumpulan data yang sistematis dan terorganisir adalah fondasi yang kuat untuk analisis sentimen yang sukses, memberikan dasar data yang solid untuk dianalisis dengan menggunakan teknologi NLP seperti BERT.

## b. *Preprocessing Data*

Tahap *preprocessing* data dalam analisis sentimen menggunakan model BERT adalah proses vital untuk mempersiapkan data teks yang telah dikumpulkan sehingga siap untuk dianalisis. Ini melibatkan serangkaian teknik untuk membersihkan dan menormalkan teks. Berikut adalah langkah-langkah rinci dalam proses *preprocessing* data:

### 1) **Pembersihan Teks**

Ini melibatkan penghapusan elemen yang tidak diperlukan atau mengganggu dari teks, seperti:

- Menghapus Tag HTML: Jika data dikumpulkan dari web, menghapus semua tag HTML yang tidak perlu karena ini tidak membawa informasi penting.
- Menghilangkan URL dan Kode Khusus: Menghapus hyperlink, email, dan mencopot kode khusus seperti emotikon atau kode lain yang tidak diterjemahkan dengan baik ke dalam teks.
- Menghapus Tanda Baca dan Angka: Tanda baca dan angka sering kali tidak memberikan informasi penting untuk analisis sentimen dan dapat dihapus.
- Menghilangkan Karakter Khusus dan Ganda: Menghapus karakter khusus seperti simbol atau spasi ekstra dan pengulangan kata yang tidak perlu.

### 2) **Tokenisasi**

Tokenisasi adalah proses memecah teks yang kompleks menjadi potongan atau token yang lebih kecil. Hal ini biasanya melibatkan pemecahan teks pada setiap spasi, tetapi juga bisa melibatkan pemecahan teks di titik akhir kalimat atau pemisahan tanda baca dari kata:

- Tokenisasi Kata : Memisahkan teks menjadi kata individu.
- Tokenisasi Kalimat : Memisahkan teks menjadi kalimat individu, berguna khususnya untuk analisis sentimen pada level kalimat.

### 3) **Normalisasi**

Normalisasi bertujuan untuk mengurangi variasi dalam teks:

- *Case Folding*: Mengubah semua teks menjadi huruf kecil untuk memastikan

bahwa analisis tidak sensitif terhadap huruf besar atau kecil.

- Stemming dan Lemmatisasi: Mengurangi kata ke bentuk dasar (misalnya, "running" menjadi "run"). *Stemming* melakukan pemotongan sederhana pada akhir kata, sedangkan lemmatisasi mengubah kata menjadi lemma yang sesuai, yang memerlukan pemahaman tentang konteks.

4) Penghapusan Stop Words

Stop words adalah kata yang sangat umum yang biasanya tidak memiliki makna analitis yang signifikan (seperti "dan", "tetapi", "adalah"). Penghapusan kata-kata ini membantu mengurangi ukuran data dan meningkatkan fokus pada kata-kata yang penting untuk analisis:

- Pengidentifikasian Stop Words: Menggunakan daftar stop words yang telah ditentukan atau dapat disesuaikan sesuai dengan kebutuhan analisis.
- Penghapusan Stop Words dari Data: Membersihkan teks dari kata-kata yang diidentifikasi sebagai stop words.

5) Penanganan Slang dan Singkatan

Dalam teks dari media sosial atau komunikasi informal lainnya, *slang* dan singkatan sering muncul dan perlu ditangani adalah penggantian atau ekspansi untuk mengganti *slang* atau singkatan dengan bentuk kata penuh atau lebih formal untuk konsistensi dan pemahaman yang lebih baik.

Setiap langkah dalam proses *preprocessing* ini berperan penting dalam memastikan bahwa data yang masuk ke dalam model BERT telah dibersihkan dan disiapkan dengan cara yang memaksimalkan potensi analisis sentimen. Pada Tabel 2 menunjukkan Contoh konkret untuk setiap tahap *preprocessing* yang disebutkan di atas, menggunakan sebuah kalimat fiktif dari data media sosial yang mungkin berkaitan dengan penerapan ERP di Jakarta:

Tabel 2. Contoh Tahap Preprocessing

|                                                                                                                              |                                                                      |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------|
| Kalimat Asli:                                                                                                                |                                                                      |
| Wow! ERP di Jakarta mulai diberlakukan bulan depan. Ikuti info lebih lanjut di www.erpjakarta.com. 😊 #lalulintas #kemacetan" |                                                                      |
|                                                                                                                              | Pembersihan Teks                                                     |
|                                                                                                                              | Menghapus Tag HTML: Tidak berlaku di sini karena tidak ada tag HTML. |
|                                                                                                                              | Menghilangkan URL dan Kode Khusus:                                   |
|                                                                                                                              | Sebelum: "Ikuti info lebih lanjut di www.erpjakarta.com."            |
|                                                                                                                              | Sesudah: "Ikuti info lebih lanjut."                                  |
|                                                                                                                              | Menghapus Tanda Baca dan Angka:                                      |
|                                                                                                                              | Sebelum: Wow! ERP di Jakarta mulai diberlakukan bulan depan."        |
|                                                                                                                              | Sesudah: Wow ERP di Jakarta mulai diberlakukan bulan depan"          |
|                                                                                                                              | Menghilangkan Karakter Khusus dan Ganda:                             |
|                                                                                                                              | Sebelum: Wow 😊 #lalulintas #kemacetan"                               |
|                                                                                                                              | Sesudah: Wow lalulintas kemacetan"                                   |
|                                                                                                                              | Tokenisasi                                                           |
|                                                                                                                              | Tokenisasi Kata:                                                     |
|                                                                                                                              | Sebelum: Wow ERP di Jakarta mulai diberlakukan bulan depan"          |

|  |                                                                   |                                                                                           |
|--|-------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------|
|  | Tokens:                                                           | low", "ERP", "di", "Jakarta", "mulai", "diberlakukan", "bulan", "depan"]                  |
|  | kenisasi Kalimat:                                                 | Tidak perlu dalam contoh ini karena hanya ada satu kalimat.                               |
|  | <b>Normalisasi</b>                                                |                                                                                           |
|  | <i>Case Folding:</i>                                              |                                                                                           |
|  | Sebelum:                                                          | low ERP di Jakarta mulai diberlakukan bulan depan"                                        |
|  | Sesudah:                                                          | low erp di jakarta mulai diberlakukan bulan depan"                                        |
|  | <i>Stemming dan Lemmatisasi:</i> (Contoh menggunakan lemmatisasi) |                                                                                           |
|  | Sebelum:                                                          | ulai diberlakukan"                                                                        |
|  | Sesudah:                                                          | ulai diberlakukan" (tidak banyak perubahan karena kata-kata ini sudah dalam bentuk dasar) |
|  | <b>Penghapusan Stop Words</b>                                     |                                                                                           |
|  | Sebelum:                                                          | low erp di jakarta mulai diberlakukan bulan depan"                                        |
|  | Stop Words:                                                       | i", "bulan", "depan"]                                                                     |
|  | Sesudah:                                                          | low erp jakarta mulai diberlakukan"                                                       |
|  | <b>Penanganan Slang dan Singkatan</b>                             |                                                                                           |
|  | Sebelum:                                                          | RP di Jakarta mulai diberlakukan."                                                        |
|  | Slang atau Singkatan:                                             | RP bisa dianggap singkatan yang mungkin tidak dikenal oleh semua orang.                   |
|  | Sesudah:                                                          | Electronic Road Pricing di Jakarta mulai diberlakukan."                                   |

Sumber : (diolah oleh peneliti)

Setiap tahap ini bertujuan untuk mengoptimalkan teks agar lebih sesuai untuk pemrosesan lebih lanjut menggunakan teknologi NLP, seperti model BERT, dalam analisis sentimen.

### c. Penerapan Model BERT

Tahap penerapan model BERT dalam analisis sentimen memerlukan pemahaman mendalam tentang bagaimana model ini bekerja dan bagaimana menggunakannya secara efektif. Berikut adalah penjelasan lebih rinci tentang langkah-langkah yang terlibat dalam penerapan model BERT untuk analisis sentimen:

#### 1) Memilih Model BERT yang Tepat

Ada beberapa variasi dari model BERT yang telah dilatih sebelumnya dan tersedia untuk digunakan, seperti BERT *Base* dan BERT *Large*, dengan variasi yang lebih spesifik seperti DistilBERT (versi ringan), RoBERTa (optimalisasi dari BERT), atau versi yang telah dilatih pada domain tertentu (misalnya, BERT untuk ulasan produk). Pilihan model akan bergantung pada sumber daya komputasi yang tersedia dan kebutuhan spesifik proyek (misalnya, kebutuhan untuk analisis yang lebih cepat atau lebih akurat).

#### 2) Pra-pelatihan dan *Fine-Tuning*

- **Pra-pelatihan:** BERT telah dilatih pada dua tugas NLP sebelumnya: memprediksi kata yang dihilangkan dalam sebuah kalimat (*masked language model*) dan memprediksi apakah dua kalimat berurutan (*next sentence prediction*). Ini membantu model mempelajari konteks yang lebih luas dan pemahaman bahasa yang mendalam.
- ***Fine-Tuning*:** Untuk tugas khusus seperti analisis sentimen, BERT umumnya membutuhkan proses *fine-tuning* dengan dataset target. Ini melibatkan pelatihan



ulang *layer* terakhir dari model dengan dataset yang berisi contoh teks dan label sentimen. Proses ini menyesuaikan bobot model agar lebih baik dalam memprediksi sentimen teks berdasarkan konteks yang telah dipelajari selama pra-pelatihan.

### 3) Menyiapkan Dataset untuk *Fine-Tuning*

Dataset untuk *fine-tuning* harus terdiri dari teks yang telah di-*preprocess* dan label sentimen yang sesuai (positif, negatif, netral). Data ini biasanya dibagi menjadi set pelatihan, validasi, dan pengujian untuk memastikan bahwa model dapat generalisasi dengan baik pada data yang belum pernah dilihat sebelumnya.

### 4) Pelaksanaan *Fine-Tuning*

- Konfigurasi *Hyperparameter*: Menentukan parameter seperti ukuran *batch*, jumlah *epoch* (iterasi pelatihan), dan *learning rate*.
- *Training Loop*: Melakukan pelatihan model menggunakan data pelatihan dengan menghitung *loss* (kerugian) dan menyesuaikan bobot model menggunakan algoritma optimisasi seperti Adam.
- Validasi: Secara periodik mengevaluasi model pada set validasi untuk memantau *overfitting* dan menyesuaikan *hyperparameter* jika diperlukan.

### 5) Evaluasi Model

Setelah model telah dilatih, evaluasi kinerjanya menggunakan set pengujian untuk melihat seberapa baik model tersebut dalam mengklasifikasikan sentimen. Metrik umum termasuk akurasi, *precision*, *recall*, dan *F1-score*.

Tahap evaluasi hasil adalah langkah krusial dalam proses analisis sentimen menggunakan model BERT, di mana kinerja model dievaluasi untuk memastikan bahwa ia mengklasifikasikan sentimen secara akurat. Evaluasi ini melibatkan penggunaan berbagai metrik statistik untuk menilai efektivitas model. Berikut adalah penjelasan rinci tentang proses evaluasi ini beserta contohnya.

Beberapa metrik utama yang digunakan untuk mengevaluasi model analisis sentimen termasuk:

- Akurasi: Persentase total prediksi yang benar dari semua prediksi yang dibuat. Ini adalah metrik yang paling intuitif untuk mengukur kinerja umum model.
- *Precision*: Proporsi prediksi positif yang benar-benar positif. *Precision* tinggi menunjukkan bahwa model tidak banyak membuat kesalahan positif palsu.
- *Recall (Sensitivity)*: Proporsi positif aktual yang berhasil diidentifikasi. *Recall* tinggi berarti model sangat baik dalam menangkap kasus positif.
- *F1-Score*: Harmonic mean dari *precision* dan *recall*. *F1-Score* berguna ketika distribusi kelas label tidak seimbang.
- *Confusion Matrix*: Tabel yang digunakan untuk mendeskripsikan kinerja model klasifikasi pada set data uji yang sebenarnya diketahui labelnya.

Contoh Evaluasi Model:

Misalkan terdapat sebuah dataset pengujian dengan 100 ulasan yang telah diklasifikasikan oleh model BERT sebagai positif, negatif, atau netral. Kinerja model dapat dievaluasi pada Tabel 3, sebagai berikut:

**Tabel 3.** Data Prediksi dan Aktual

|                | Prediksi Positif | Prediksi Negatif | Prediksi Netral |
|----------------|------------------|------------------|-----------------|
| Positif Aktual | 25               | 5                | 2               |
| Negatif Aktual | 3                | 30               | 4               |
| Netral Aktual  | 1                | 6                | 24              |

Sumber : (diolah oleh peneliti)

Dari data di atas, dapat dihitung metrik evaluasi:

- **Akurasi:**

$$\text{Akurasi} = \frac{\text{TP} + \text{TN}}{\text{Total}} = \frac{25 + 30 + 24}{100} = 0.79 \quad (79\%)$$

- **Precision** (untuk kelas Positif):

$$\text{Precision} = \frac{\text{TP}}{\text{TP} + \text{FP}} = \frac{25}{25 + 3 + 1} = 0.8621 \quad (86.21\%)$$

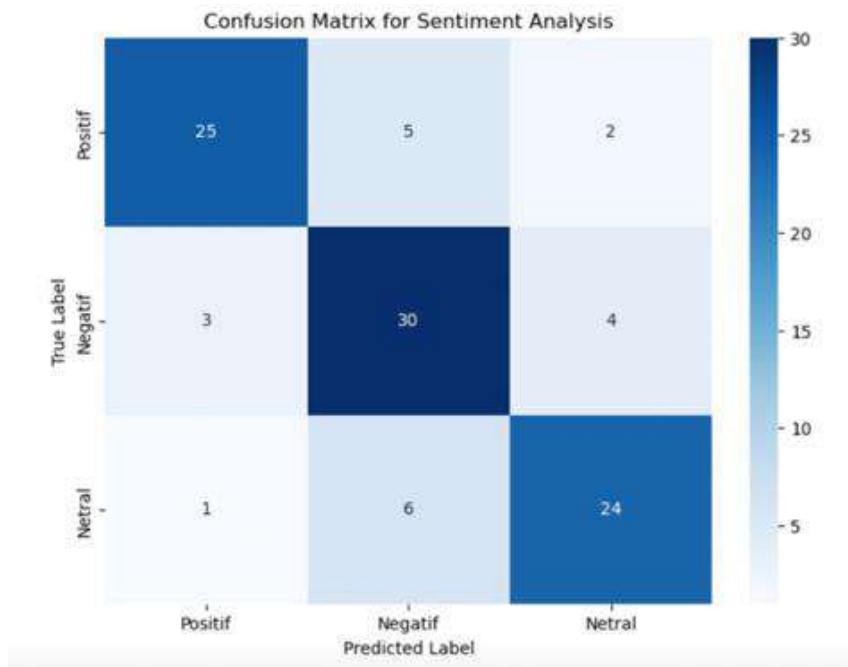
- **Recall** (untuk kelas Positif):

$$\text{Recall} = \frac{\text{TP}}{\text{TP} + \text{FN}} = \frac{25}{25 + 5 + 2} = 0.78125 \quad (78.13\%)$$

- **F1-Score** (untuk kelas Positif):

$$\text{F1} = 2 \times \frac{\text{Precision} \times \text{Recall}}{\text{Precision} + \text{Recall}} = 2 \times \frac{0.8621 \times 0.78125}{0.8621 + 0.78125} = 0.8197 \quad (81.97\%)$$

Sebuah visualisasi confusion matrix juga bisa dibuat untuk memberikan gambaran visual tentang kinerja model. Ini biasanya berupa *heatmap* dengan jumlah prediksi yang dikategorikan secara benar dan salah untuk masing-masing kelas. Melalui evaluasi ini, bisa mengidentifikasi kekuatan dan kelemahan model dalam klasifikasi sentimen. Penyesuaian pada proses pra-pelatihan atau *fine-tuning* mungkin diperlukan jika model tidak berkinerja sesuai harapan, terutama dalam mengidentifikasi kelas tertentu.



**Gambar 3.** Diagram *Confusion Matrix*

Sumber : (diolah oleh peneliti)

## 6) Penerapan Model untuk Inferensi

Dengan model yang telah dilatih dan dioptimalkan, langkah selanjutnya adalah menggunakan model tersebut untuk melakukan prediksi sentimen pada data baru. Proses ini melibatkan memberi makan data teks yang di-*preprocess* ke dalam model dan menginterpretasikan outputnya untuk menentukan sentimen.

### d. Analisis dan Visualisasi

Tahap analisis dan visualisasi dalam menggunakan model BERT untuk analisis sentimen adalah langkah penting untuk menginterpretasikan hasil model dan mempresentasikan *insight* yang dapat ditindaklanjuti. Berikut adalah penjelasan lebih rinci mengenai tahapan ini:

#### 1) Analisis Sentimen

Setelah model BERT telah memberikan prediksi sentimen untuk dataset, langkah selanjutnya adalah menganalisis hasil-hasil ini untuk mendapatkan pemahaman yang lebih dalam tentang opini yang diungkapkan dalam data:

- **Distribusi Sentimen:** Hitung persentase ulasan atau komentar yang positif, negatif, dan netral. Ini memberikan gambaran umum tentang sentimen masyarakat terhadap topik yang diteliti (misalnya, penerapan ERP di Jakarta).
- **Analisis Tren Waktu:** Jika data dikumpulkan selama periode waktu tertentu, analisis bagaimana sentimen berubah seiring waktu. Hal ini bisa membantu mengidentifikasi faktor-faktor atau peristiwa yang mempengaruhi perubahan opini publik.
- **Analisis Berdasarkan Demografi atau Lokasi:** Jika data termasuk informasi demografis atau lokasi, menganalisis sentimen berdasarkan variabel-variabel ini untuk melihat bagaimana persepsi berbeda antar kelompok atau lokasi.

## 2) Visualisasi Data

Visualisasi adalah cara yang efektif untuk menyajikan hasil analisis sentimen agar lebih mudah dipahami. Beberapa teknik visualisasi yang umum digunakan termasuk:

- Grafik Batang atau *Pie* untuk Distribusi Sentimen: Visual ini menunjukkan proporsi ulasan positif, negatif, dan netral secara keseluruhan atau dalam kelompok-kelompok tertentu.
- Grafik Garis untuk Tren Waktu: Digunakan untuk menunjukkan bagaimana sentimen berubah sepanjang waktu, yang bisa diperkaya dengan menandai peristiwa penting yang mungkin mempengaruhi sentimen publik.
- *Heatmaps* atau Peta: Jika data termasuk informasi geografis, *heatmaps* dapat menunjukkan intensitas sentimen di berbagai lokasi, memberikan *insight* tentang wilayah yang memiliki persepsi positif atau negatif terhadap suatu topik.
- *Word Clouds*: Visualisasi ini bisa berguna untuk menonjolkan kata-kata atau frasa yang paling sering muncul dalam ulasan positif atau negatif, memberikan gambaran cepat tentang tema-tema umum atau masalah yang disoroti oleh responden.

## 3) Interpretasi dan Kesimpulan

Berdasarkan analisis dan visualisasi, buat kesimpulan tentang sentimen umum dan nuansa yang lebih spesifik terkait dengan topik yang diteliti. Hal ini bisa termasuk:

- Identifikasi driver utama dari sentimen positif atau negatif.
- Saran untuk pembuat kebijakan atau praktisi berdasarkan hasil analisis.
- Diskusi tentang batasan analisis dan area untuk penelitian lebih lanjut.

## 4) Presentasi Hasil

Hasil dan *insight* yang didapat dari analisis dan visualisasi perlu disajikan dalam format yang mudah dipahami dan dapat diakses oleh audiens target. Ini bisa dalam bentuk laporan tertulis, presentasi *slide*, atau *dashboard* interaktif.

Melalui tahap analisis dan visualisasi ini, peneliti dapat memberikan narasi yang kuat dan *data-driven* mengenai sentimen masyarakat, yang sangat berharga dalam pengambilan keputusan dan perencanaan strategis.

Di bawah ini diberikan contoh ilustrasi analisis dan visualisasi untuk sentimen masyarakat terhadap penerapan ERP di Jakarta, menggunakan data fiktif dari ulasan yang telah diklasifikasikan menggunakan model BERT. Pada Tabel 4 berisi Dataset ulasan dan label sentimen setelah diklasifikasikan oleh model BERT.

**Tabel 4.** Contoh Dataset Ulasan dan Label Sentimen setelah diklasifikasi oleh Model BERT

| Ulasan                                               | Sentimen |
|------------------------------------------------------|----------|
| "Erp Di Jakarta Sangat Membantu Mengurangi Macet."   | Positif  |
| "Implementasi Erp Menambah Beban Biaya Bagi Kami."   | Negatif  |
| "Sistem Erp Di Jakarta Perlu Peningkatan Lagi."      | Netral   |
| "Saya Mendukung Penuh Erp Jika Benar-Benar Efektif." | Positif  |
| "Erp Hanya Membebani Warga Dengan Biaya Tambahan."   | Negatif  |
| "Efek Erp Terhadap Kemacetan Belum Terlihat Jelas."  | Netral   |

| Ulasan                                                | Sentimen |
|-------------------------------------------------------|----------|
| "Harus Ada Solusi Lain Selain Erp Untuk Atasi Macet." | Negatif  |
| "Erp Membantu Saya Menghemat Waktu Perjalanan."       | Positif  |

Sumber : (diolah oleh peneliti)

Tahapan yang dilakukan:

a) Analisis Sentimen

Distribusi Sentimen:

- Positif: 3
- Negatif: 3
- Netral: 2
- 

b) Visualisasi Data

Grafik Batang Distribusi Sentimen:

- Untuk visualisasi ini, bisa menggunakan grafik batang untuk menunjukkan jumlah ulasan positif, negatif, dan netral.



Gambar 4. Grafik Batang Distribusi Sentimen

Sumber : (diolah oleh peneliti)

*Word Clouds:*

- juga bisa membuat *word clouds* untuk menonjolkan kata-kata yang sering muncul dalam ulasan positif dan negatif.
- Kata-kata seperti "membantu", "menghemat waktu" muncul di ulasan positif.
- Kata-kata seperti "beban biaya", "membebani" muncul di ulasan negatif.



**Gambar 5.** Word Clouds Ulasan Positif dan Negatif  
Sumber : diolah oleh peneliti

#### c) Interpretasi dan Kesimpulan

Berdasarkan analisis, bisa menarik beberapa kesimpulan:

- Terdapat polarisasi dalam opini tentang ERP. Sebagian warga merasa terbantu, sementara yang lain merasa terbebani secara finansial.
- Kata-kata yang sering muncul menunjukkan bahwa faktor waktu dan biaya adalah elemen kunci dalam formasi sentimen.

#### d) Presentasi Hasil

Hasil dan insight dari analisis ini bisa disajikan dalam bentuk laporan atau presentasi yang mencakup grafik batang dan word clouds, disertai dengan kesimpulan dan rekomendasi untuk para pembuat kebijakan. Rekomendasi bisa mencakup pertimbangan untuk skema subsidi bagi warga yang terdampak secara finansial oleh ERP. Contoh proses yang diuraikan di atas dapat diperluas dan di-deep-dive tergantung pada jumlah data dan kompleksitas analisis yang diinginkan.

### 5) Penyajian Hasil

Buat laporan atau *dashboard* yang menampilkan temuan dari analisis, menyajikan *insight* yang dapat digunakan oleh pembuat kebijakan untuk mengoptimalkan atau menyesuaikan implementasi ERP di Jakarta. Menerapkan BERT dalam analisis sentimen ini memungkinkan pemangku kepentingan untuk mendapatkan pemahaman yang lebih mendalam tentang respon publik terhadap kebijakan ERP, yang merupakan kunci dalam mengelola kebijakan transportasi dan infrastruktur di Jakarta.

## 2. Tantangan dan Hambatan dalam Analisis Sentimen untuk Kebijakan Publik

### Identifikasi Hambatan Umum.

Mengimplementasikan analisis sentimen dalam kebijakan publik, seperti ERP, menyajikan beberapa tantangan yang signifikan:

- Bias Data:** Data yang digunakan dalam analisis sentimen bisa saja mengandung bias yang tidak disengaja, baik dalam hal sampel yang tidak representatif maupun dalam isi yang *biased* secara sentimen. Hal ini dapat menyebabkan kesimpulan yang salah mengenai opini publik.
- Kualitas Data:** Kualitas data dari media sosial dan forum diskusi sering kali bervariasi, dengan banyak *noise* seperti *slang*, jargon, atau kesalahan ejaan, yang dapat mengganggu proses NLP.
- Kesulitan dalam Interpretasi Sentimen:** Sentimen yang diungkapkan dalam teks bisa sangat kompleks dan kontekstual. Ironi dan sarkasme adalah contoh umum yang sering salah diinterpretasi oleh model NLP.
- Perubahan Dinamis Sentimen:** Sentimen publik dapat berubah dengan cepat, sehingga



data yang telah dianalisis mungkin tidak lagi relevan dengan kondisi saat ini.

Strategi Mengatasi Hambatan:

- a. Peningkatan *Preprocessing* Data: Mengimplementasikan teknik *preprocessing* yang lebih canggih untuk memastikan data bersih dari gangguan dan siap analisis. Ini termasuk penggunaan teknik NLP untuk normalisasi teks dan penghapusan *slang* atau *noise* lainnya.
- b. Menggunakan *Ensemble Models*: Menggunakan kombinasi berbagai model NLP untuk meminimalisir risiko bias. *Ensemble models* dapat meningkatkan akurasi dengan menyeimbangkan kelemahan satu model dengan kekuatan model lainnya.
- c. Pemantauan Berkelanjutan: Melakukan analisis sentimen secara berkala untuk menangkap perubahan dalam opini publik. Ini memungkinkan pembuat kebijakan untuk merespons dengan cepat terhadap pergeseran sentimen.
- d. Pelatihan Model dengan Data Beragam: Memastikan model BERT dilatih dengan set data yang luas dan beragam untuk meningkatkan kemampuannya menginterpretasikan berbagai bentuk ekspresi, termasuk ironi dan sarkasme.

Dengan mengatasi tantangan ini, analisis sentimen dapat menjadi alat yang lebih efektif dan akurat dalam membentuk dan menilai kebijakan publik. Solusi-solusi ini tidak hanya meningkatkan kualitas analisis tetapi juga membantu membangun kepercayaan antara publik dan pembuat kebijakan.

### 3. Tren Masa Depan dan Perkembangan yang Muncul dalam Analisis Sentimen dan Kebijakan Publik.

#### Perkembangan Teknologi NLP

Kemajuan dalam teknologi NLP terus berkembang dengan cepat, dengan algoritme yang semakin canggih untuk analisis sentimen. Model seperti BERT sedang berevolusi menjadi lebih sensitif terhadap konteks dan nuansa bahasa, yang meningkatkan akurasi dalam mengidentifikasi dan menginterpretasikan sentimen.

#### Integrasi dengan AI dan *Big Data*

Analisis sentimen di masa depan akan semakin terintegrasi dengan sistem kecerdasan buatan (AI) dan *big data*. Hal ini memungkinkan analisis yang lebih dinamis dan *real-time*, yang sangat penting dalam menginformasikan dan menyesuaikan kebijakan publik secara cepat berdasarkan respons masyarakat.

#### Contoh Aplikasi Masa Depan

Dalam konteks kebijakan seperti ERP, dapat dilihat integrasi sistem analisis sentimen dengan sistem transportasi cerdas yang menggunakan AI untuk mengoptimalkan tarif secara *real-time* berdasarkan data lalu lintas dan sentimen publik. Misalnya, sebuah kota bisa menyesuaikan tarif ERP secara dinamis untuk mengurangi kemacetan selama acara besar atau kondisi cuaca buruk, berdasarkan analisis sentimen yang mengindikasikan kepuasan atau ketidakpuasan pengguna.

#### Pengaruh pada Kebijakan Publik

Di masa depan, analisis sentimen bisa menjadi alat standar dalam pengembangan dan evaluasi kebijakan publik. Pemerintah dan organisasi bisa menggunakan *feedback* yang diperoleh dari analisis sentimen untuk membuat keputusan yang lebih informatif dan

responsif terhadap kebutuhan dan preferensi masyarakat. Dengan tren ini, dapat mengantisipasi bahwa analisis sentimen akan memainkan peran yang lebih kritical dalam membentuk dan mengoptimalkan kebijakan publik, membantu menciptakan tata kelola yang lebih adaptif, transparan, dan responsif terhadap keinginan dan kebutuhan masyarakat.

## KESIMPULAN

Berdasarkan analisis dan diskusi yang telah dibahas dalam bab ini mengenai penggunaan model BERT untuk analisis opini masyarakat terhadap penerapan ERP di Jakarta, beberapa kesimpulan penting dapat diambil:

1. Model BERT, sebagai bagian dari teknologi pemrosesan bahasa alami (NLP), efektif dalam menganalisis opini publik yang diekspresikan melalui teks. Melalui penerapan BERT, dapat menggali sentimen masyarakat secara lebih mendalam, memahami aspek positif, negatif, dan netral dari ERP.
2. Evaluasi model menunjukkan bahwa BERT setelah *fine-tuning* dengan data yang relevan, mampu mengklasifikasikan sentimen dengan tingkat akurasi yang baik. Metrik seperti akurasi, *precision*, *recall*, dan *F1-score* digunakan untuk mengukur kinerja model, dan hasilnya menunjukkan bahwa model cukup efektif dalam menangani tugas analisis sentimen.
3. Analisis dan Visualisasi Data, pada tahap ini membantu memvisualisasikan dan menganalisis distribusi sentimen. Penggunaan grafik batang, *heatmap*, dan *word clouds* memungkinkan pemangku kepentingan untuk melihat gambaran besar dari reaksi publik terhadap ERP serta tren yang muncul seiring waktu.
4. Hasil analisis memberikan wawasan yang berharga bagi pembuat kebijakan dalam menyesuaikan strategi penerapan ERP di Jakarta. Informasi tentang sentimen publik dapat digunakan untuk merancang komunikasi dan strategi intervensi yang lebih efektif, memastikan bahwa penerapan ERP lebih diterima oleh masyarakat dan mengatasi kekhawatiran yang ada.
5. Proaktif dalam Pengambilan Keputusan: Dengan memanfaatkan analisis sentimen, pemerintah dapat lebih proaktif dalam mengantisipasi dan mengatasi masalah sebelum berkembang menjadi isu yang lebih besar, serta lebih baik dalam merancang kebijakan yang sesuai dengan keinginan dan kebutuhan publik.

## Pertanyaan Diskusi

1. Bagaimana model BERT dapat ditingkatkan lebih lanjut untuk mengatasi tantangan seperti ironi dan sarkasme dalam analisis sentimen?
2. Apa implikasi dari integrasi ERP dengan teknologi *Smart City* lainnya terhadap privasi dan keamanan data pengguna?
3. Bagaimana pemerintah dapat memastikan bahwa analisis sentimen tidak hanya mendengarkan tetapi juga responsif terhadap keberatan masyarakat?
4. Dalam konteks yang lebih luas, bagaimana kebijakan serupa dapat diterapkan di kota-kota lain yang mungkin tidak memiliki infrastruktur atau sumber daya yang sama?

Melalui diskusi dan refleksi atas pertanyaan-pertanyaan ini, pembaca diharapkan dapat lebih menginternalisasi konsep yang dibahas dan menerapkannya dalam praktik kebijakan publik, dengan mempertimbangkan konteks lokal dan spesifikasinya.

## REKOMENDASI KEBIJAKAN (POLICY BRIEF)

Untuk meningkatkan keefektifan sistem *Electronic Road Pricing* (ERP) dalam mengelola kemacetan lalu lintas dan mendukung inisiatif Jakarta sebagai *Smart City*, direkomendasikan langkah-langkah strategis berikut:

1. **Penerapan Teknologi AI dan NLP:** Menggunakan teknologi *Natural Language Processing* (NLP) seperti BERT untuk menganalisis sentimen masyarakat terhadap ERP secara *real-time*. Hal ini akan memungkinkan pemerintah untuk memonitor dan menanggapi kekhawatiran masyarakat secara lebih efektif, serta mengadaptasi kebijakan ERP berdasarkan *feedback* yang diterima.
2. **Transparansi dan Edukasi Publik:** Pemerintah harus memastikan bahwa semua informasi mengenai cara kerja ERP, manfaatnya, dan tarif yang dikenakan tersedia secara luas dan mudah diakses oleh publik. Program edukasi dan kampanye kesadaran harus dilakukan secara rutin untuk membangun dukungan publik terhadap ERP.
3. **Pilot Project Sebelum Implementasi Penuh:** Melaksanakan proyek percontohan di beberapa area sebelum implementasi ERP secara penuh. Hal ini akan memungkinkan pemerintah untuk mengevaluasi efektivitas sistem, memperoleh umpan balik, dan melakukan penyesuaian yang diperlukan sebelum peluncuran luas.
4. **Analisis Dampak dan Kajian Berkelanjutan:** Menyelenggarakan studi dampak secara periodik untuk menilai efektivitas ERP dalam mengurangi kemacetan dan dampaknya terhadap perekonomian dan lingkungan. Hasil dari studi ini dapat digunakan untuk memperbaiki dan menyesuaikan kebijakan ERP di masa depan.

Dengan mengimplementasikan rekomendasi ini, Pemerintah Provinsi DKI Jakarta dapat memastikan bahwa penerapan ERP tidak hanya efektif dalam mengurangi kemacetan tetapi juga mendapat dukungan luas dari masyarakat, meningkatkan kualitas hidup, dan memajukan Jakarta menuju visi *Smart City* yang berkelanjutan.

## DAFTAR PUSTAKA

- Assidiq, H. (2023). *Analisis Sentimen Masyarakat Terkait Rencana Penerapan ERP di Jakarta*. 1–27.
- CNN. (2023). *DKI Bakal Terapkan Jalan Berbayar, Berikut Daftar Jalan ERP*. <https://www.cnnindonesia.com/otomotif/20230103105049-579-895384/dki-bakal-terapkan-jalan-berbayar-berikut-daftar-jalan-erp>
- Croci, E. (2016). Urban Road Pricing: A Comparative Study on the Experiences of London, Stockholm and Milan. *Transportation Research Procedia*, 14, 253–262. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2016.05.062>
- Devlin, J. (2019). *BERT: Pre-training of Deep Bidirectional Transformers for Language Understanding*.
- Faryna, K., van der Laak, J., & Litjens, G. (2024). Automatic data augmentation to improve generalization of deep learning in H&E stained histopathology. *Computers in Biology and Medicine*, 170(October 2023), 108018. <https://doi.org/10.1016/j.combiomed.2024.108018>
- Gu, Z., Liu, Z., Cheng, Q., & Saberi, M. (2018). Congestion pricing practices and public acceptance: A review of evidence. *Case Studies on Transport Policy*, 6(1), 94–101. <https://doi.org/10.1016/j.cstp.2018.01.004>
- Harbola, S., & Coors, V. (2018). Geo-visualisation and visual analytics for smart cities: A survey.

- International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences - ISPRS Archives*, 42(4/W11), 11–18. <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLII-4-W11-11-2018>
- Manuel-Ilie, D., Gabriel, P. A., & George, C. R. (2023). Sentiment Analysis Using Bert Model. *International Journal of Advanced Statistics and IT&C for Economics and Life Sciences*, 13(1), 59–66. <https://doi.org/10.2478/ijasitels-2023-0007>
- Menon Sarath Guttikunda, G. (2010). *Simple Interactive Models for Better Air Quality SIM-air Working Paper Series: 33-2010 Electronic Road Pricing: Experience & Lessons from Singapore. January 2010*. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.27671.83363>
- Neirotti, P., De Marco, A., Cagliano, A. C., Mangano, G., & Scorrano, F. (2014). Current trends in smart city initiatives: Some stylised facts. *Cities*, 38(September 2018), 25–36. <https://doi.org/10.1016/j.cities.2013.12.010>
- Patel, V., Prabhu, G., & Bhowmick, K. (2015). A Survey of Opinion Mining and Sentiment Analysis. *International Journal of Computer Applications*, 131(1), 24–27. <https://doi.org/10.5120/ijca2015907218>
- RPJMD. (2023). *Rencana Pembangunan Jangka Menengah Daerah (RPJMD). Sentiment Classification Using BERT*. (2023). <https://www.geeksforgeeks.org/sentiment-classification-using-bert>
- Shatanawi, M., Abdelkhalek, F., & Mészáros, F. (2020). Urban Congestion Charging Acceptability: An International Comparative Study. *Sustainability*, 12(12), 5044. <https://doi.org/10.3390/su12125044>
- Verma, S. (2019). Weapons of Math Destruction: How Big Data Increases Inequality and Threatens Democracy. *Vikalpa: The Journal for Decision Makers*, 44(2), 97–98. <https://doi.org/10.1177/0256090919853933>
- Yang, L., Marmolejo Duarte, C., & Martí Ciriquián, P. (2022). Quantifying the relationship between public sentiment and urban environment in Barcelona. *Cities*, 130(September). <https://doi.org/10.1016/j.cities.2022.103977>
- Yu, J., & Jiang, J. (2019). Adapting BERT for target-oriented multimodal sentiment classification. *IJCAI International Joint Conference on Artificial Intelligence, 2019-Augus*, 5408–5414. <https://doi.org/10.24963/ijcai.2019/751>



## MODEL LALU LINTAS CERDAS BERBASIS KOMUNIKASI V2V TANPA MEMBANGUN INFRASTRUKTUR ROAD SIDE UNIT (STUDI KASUS KOTA JAKARTA)

**Ketut Bayu Yogha Bintoro<sup>\*1</sup>, Tri Kuntoro Priyambodo<sup>2</sup>, Yaddarabullah<sup>3</sup>**

<sup>1,3</sup> Program Studi Teknik Informatika, Fakultas Ilmu Pengetahuan, Teknologi, dan Desain, Universitas Trilogi, Jakarta 12760, Indonesia

<sup>2</sup>Departemen Ilmu Komputer dan Elektronika, Fakultas Matematika dan Ilmu Komputer, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta 55281, Indonesia.

\*Penulis Koresponden, e-mail: [ketutbayu@trilogi.ac.id](mailto:ketutbayu@trilogi.ac.id)

### ABSTRAK

Penelitian ini menanggapi tantangan serius di Jakarta terkait tingkat kemacetan tinggi, efisiensi waktu perjalanan rendah, dan prioritas transportasi umum serta kendaraan darurat. Kami mengusulkan model lalu lintas cerdas V2V yang terjangkau dan konstruktif untuk mengatasi permasalahan ini. Fokus penelitian kami adalah pada pengurangan kemacetan melalui rekomendasi rute adaptif dan sinkronisasi sinyal lalu lintas. Kami berupaya meningkatkan efisiensi waktu perjalanan dengan menyediakan informasi real-time kepada pengemudi berdasarkan komunikasi antar kendaraan otonom dimasa depan. Komitmen untuk memberikan prioritas kepada transportasi umum dan kendaraan darurat tercermin dalam strategi penyesuaian dinamis, yaitu model lalu lintas cerdas berbasis V2V untuk secara aktif beradaptasi dengan perubahan kondisi lalu lintas secara *real-time*. Tahap pertama adalah membangun dasar sistem. Tahap kedua melibatkan pembuatan simulasi menggunakan perangkat lunak seperti SUMO untuk menguji dan memvalidasi kinerja model dalam berbagai skenario lalu lintas. Tahap ketiga melibatkan pembuatan prototipe berdasarkan hasil simulasi dan model dasar, yang dapat diuji coba pada skala kecil di lapangan atau melalui simulasi lanjutan sebelum penerapan. Simulasi dilakukan menggunakan SUMO, sementara pengukuran performansi kualitas jaringan komunikasi V2V diimplementasikan dengan menggunakan NS3. Dengan fokus pada tahap 1 dan 2, penelitian ini bertujuan untuk membangun landasan yang kuat sebelum memasuki tahap prototipe dan uji coba skala kecil pada tahap berikutnya. Dengan pendekatan konstruktif ini, kami berharap memberikan kontribusi signifikan sesuai arah kebijakan pemerintah daerah Jakarta terkait masalah lalu lintas. Tujuan utama penelitian ini adalah agar solusi yang dihasilkan dapat diadopsi luas, sejalan dengan fokus kebijakan pemerintah dalam meningkatkan mobilitas, keselamatan, dan efisiensi waktu perjalanan. Hasil penelitian diharapkan dapat menjadi dasar implementasi kebijakan yang mendukung peningkatan mobilitas dengan mengurangi kemacetan, memberikan prioritas pada transportasi umum, dan meningkatkan keselamatan jalan. Sinergi antara inovasi teknologi dan kebijakan pemerintah diharapkan dapat efektif mengatasi permasalahan lalu lintas di Jakarta.

Kata Kunci: Efisiensi lalu lintas, Komunikasi V2V, Kota Jakarta, Model Lalu lintas cerdas, Pengurangan Kemacetan, ,

### PENDAHULUAN

Komunikasi V2V (vehicle-to-vehicle) dalam sistem lalu lintas cerdas telah mendapatkan perhatian signifikan dalam beberapa tahun terakhir sebagai cara untuk meningkatkan efisiensi dan keamanan transportasi. Komunikasi V2V memungkinkan kendaraan untuk saling berkomunikasi dan berbagi data real-time tentang lalu lintas, cuaca, dan kondisi lainnya, yang dapat digunakan untuk mengoptimalkan rute, mengurangi kemacetan, dan meningkatkan keselamatan di jalan (Bintoro & Priyambodo, 2024). Beberapa studi telah meneliti potensi manfaat komunikasi V2V dalam sistem lalu lintas cerdas. Sebuah studi survei, misalnya, menemukan bahwa komunikasi V2V dapat meningkatkan efisiensi aliran lalu lintas dengan



memungkinkan kendaraan untuk mengoordinasikan pergerakan mereka dan mengoptimalkan rute(Desai et al., 2017). Studi lain menunjukkan kelayakan simulasi acara diskret di sebuah persimpangan jalan yang mengintegrasikan fitur V2V dan V2I (vehicle-to-infrastructure) untuk meningkatkan aliran lalu lintas(Jameel, 2020). Komunikasi V2V dapat terjadi antara OBUs (on-board units) atau melalui perantara seperti RSUs (roadside units)(Choudhary & Purohit, 2019).

Namun, meskipun potensi manfaat komunikasi V2V dalam sistem lalu lintas cerdas, beberapa tantangan harus diatasi sebelum adopsi secara luas. Salah satu tantangan utama adalah tingginya biaya infrastruktur(Hamdi et al., 2020) yang terkait dengan penerapan sistem komunikasi V2V dan perlunya menetapkan protokol keamanan untuk melindungi terhadap serangan siber dan pelanggaran data(Han et al., 2017). Selain itu, ada kebutuhan untuk memastikan interoperabilitas antara berbagai sistem komunikasi V2V(Ioana et al., 2022), yang bisa menjadi tantangan mengingat beragamnya produsen kendaraan dan penyedia teknologi. Masih ada kesenjangan yang signifikan dalam memahami bagaimana sistem komunikasi V2V dapat diintegrasikan secara efektif ke dalam sistem lalu lintas cerdas untuk mencapai hasil yang diinginkan dan kebutuhan untuk penelitian lebih lanjut untuk mengatasi tantangan ini dan sepenuhnya mewujudkan potensi manfaat teknologi ini.

Untuk mendukung adopsi luas komunikasi V2V dalam sistem lalu lintas cerdas, berbagai organisasi seperti IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers), Departemen Transportasi AS, dan European Telecommunications Standards Institute (ETSI) telah mengembangkan standar untuk komunikasi V2V, termasuk IEEE 802.11p, WAVE (Wireless Access in Vehicular Environments), dan DSRC (Dedicated Short-Range Communications), yang masing-masing mendefinisikan protokol komunikasi, layanan, dan format pesan yang diperlukan untuk mendukung komunikasi V2V. Mereka juga menyediakan langkah-langkah keamanan untuk melindungi komunikasi dari akses tidak sah dan kerusakan. Salah satu tantangan utama terkait dengan biaya pengembangan. Tantangan lainnya adalah keamanan(Nkenyereye et al., 2019), karena penting untuk memastikan bahwa sistem komunikasi V2V aman dan tidak mudah diretas atau dikompromikan.

Selanjutnya, interoperabilitas antara sistem komunikasi V2V dari berbagai produsen, karena penting untuk memastikan bahwa sistem ini dapat bekerja dengan lancar bersama dan mendukung berbagai aplikasi. Selain itu, tantangan lain adalah biaya infrastruktur, karena penerapan sistem komunikasi V2V dalam sistem lalu lintas cerdas memerlukan penyebaran peralatan dan infrastruktur komunikasi yang bisa mahal. Literatur menyoroti beberapa tantangan yang perlu diatasi untuk adopsi luas komunikasi V2V dalam sistem lalu lintas cerdas. Meskipun tantangan tersebut, jelas bahwa komunikasi V2V memiliki potensi untuk menjadi alat yang berharga dalam meningkatkan keselamatan jalan dan aliran lalu lintas dalam sistem lalu lintas cerdas. Penelitian lebih lanjut diperlukan untuk mengatasi tantangan ini dan mengembangkan sistem komunikasi V2V yang lebih maju dan hemat biaya. Penelitian ini memberikan gambaran umum tentang keadaan komunikasi V2V dalam sistem lalu lintas cerdas saat ini dan manfaat potensialnya, seperti peningkatan keselamatan dan efisiensi di jalan. Penelitian ini juga mengakui tantangan yang perlu diatasi untuk adopsi luas komunikasi V2V, termasuk biaya infrastruktur, keamanan, dan interoperabilitas. Studi ini bertujuan untuk berkontribusi pada bidang ini dengan menyoroti manfaat dan tantangan komunikasi V2V dan memberikan pemahaman komprehensif tentang keadaan penelitian komunikasi V2V saat ini. Informasi ini dapat memandu penelitian masa depan dan membantu pengembangan serta implementasi komunikasi V2V dalam sistem lalu lintas cerdas.



## STATE OF THE ART

Komunikasi V2V memanfaatkan teknologi Wi-Fi yang dikenal sebagai Dedicated Short Range Communication (DSRC) antara setiap kendaraan dan teknologi GPS yang menawarkan pandangan posisi detail melalui pertukaran komunikasi dengan kendaraan lain yang dilengkapi serupa (Bintoro & Priyambodo, 2024). DSRC adalah komunikasi tujuan khusus yang dirancang untuk kendaraan guna menyediakan komunikasi jarak pendek dengan kendaraan tetangga atau dengan lingkungan untuk mencapai situasi berkendara yang kooperatif (Bintoro et al., 2024). DSRC menggunakan spektrum 75 MHz untuk komunikasi kendaraan dan memanfaatkan teknologi radio berdasarkan IEEE 802.11p dengan bandwidth 3 hingga 27 Mbps.

DSRC berfungsi sebagai unit radio khusus yang berfungsi sebagai penerima dan pemancar data, sementara GPS Receiver bertanggung jawab menyediakan posisi dan waktu kendaraan (Vasili & Moreno, 2019). Data ini menjadi input untuk DSRC, memungkinkan kendaraan untuk menentukan posisi relatif mereka satu sama lain. Selain itu, Memori berfungsi sebagai penyimpanan untuk menyimpan informasi dari Safety Application Electronic Control Unit (SAECU), yang dirancang untuk meningkatkan keselamatan dengan menghitung input dari DSRC dan memori serta Vehicle's Internal Communication Networks (VICN). SCMS (Security Credential Management System) adalah fasilitas yang memastikan sertifikat keamanan saat komunikasi berlangsung di antara kendaraan, memastikan bahwa data yang dipertukarkan aman dan tidak dapat diakses oleh pihak yang tidak berwenang.

Aplikasi komunikasi V2V dapat dikategorikan menjadi dua tujuan utama: tujuan keamanan dan non-keamanan (Özdemir et al., 2016). Untuk tujuan keamanan (Uhlemann, 2016), komunikasi V2V bertujuan meminimalkan masalah keselamatan dengan menyediakan panduan atau informasi lain untuk pengemudi guna mencegah atau mengantisipasi kecelakaan di jalan. Misalnya, sistem peringatan tabrakan (Collision Warning) memberikan peringatan pra-tabrakan dan pasca-tabrakan, peringatan titik buta, dan peringatan persimpangan buta. Sistem ini dirancang untuk membantu pengemudi menghindari kecelakaan atau mengurangi dampaknya. Selain itu, sistem berkendara kooperatif (Cooperative Driving System) (Liu et al., 2017) meliputi peringatan perubahan jalur dan pembentukan platoon yang aman, di mana kendaraan dapat berkomunikasi satu sama lain untuk mengoordinasikan pergerakan mereka, mengurangi risiko kecelakaan, dan meningkatkan efisiensi lalu lintas.

Contoh nyata dari aplikasi ini adalah peringatan pasca-tabrakan yang melibatkan beberapa kendaraan. Dalam situasi ini, kendaraan yang terlibat dalam kecelakaan mengirimkan sinyal peringatan kepada kendaraan lain di sekitar untuk membantu pengemudi bereaksi dengan tepat dan menghindari kecelakaan lanjutan. Selain itu, komunikasi V2V juga sangat penting di titik-titik berisiko tinggi seperti persimpangan. Di sini, setiap kendaraan dalam jangkauan DSRC akan menerima pesan siaran dari kendaraan lain yang menginformasikan posisi dan arah pergerakan mereka untuk mengoordinasikan pergerakan mereka dan menghindari kecelakaan (Ghatwai et al., 2017).

Di luar aspek keselamatan, banyak layanan lain yang ditawarkan oleh komunikasi V2V, termasuk navigasi canggih dan konsumsi bahan bakar yang efisien (Ling et al., 2018). Misalnya, navigasi canggih memanfaatkan pertukaran informasi dari kendaraan lain untuk memberikan informasi tentang kondisi lalu lintas (Hoangt, 2018), peringatan kemacetan, atau informasi

kecelakaan di jalan(Peng & Shao, 2018). Sistem ini menggabungkan informasi GPS dan data real-time dari kendaraan di sekitar untuk menghitung rute alternatif yang tersedia dan menghindari kemacetan. Selain itu, sistem ini juga membantu mengoptimalkan konsumsi bahan bakar dengan memberikan informasi tentang kondisi lalu lintas dan mengarahkan pengemudi untuk menghindari rute yang padat atau macet(Bintoro & Priyambodo, 2024).

Namun, komunikasi V2V dalam jaringan VANET menghadapi beberapa tantangan unik yang harus diatasi untuk memastikan fungsionalitas jaringan tetap terjaga. Salah satu tantangan utama adalah topologi dinamis (Dong et al., 2016). Pergerakan konstan dalam situasi jaringan yang sangat aktif membuat topologi jaringan terus berubah seiring waktu, sehingga membangun dan mempertahankan komunikasi menjadi sulit. Situasi ini memerlukan pendekatan yang tepat untuk menjaga proses komunikasi tetap di bawah waktu latensi maksimum yang mempengaruhi kualitas layanan jaringan. Membentuk dan memelihara komunikasi di antara kendaraan memerlukan pengetahuan tentang posisi node dan pergerakan mereka, yang sangat sulit diprediksi karena pola mobilitas setiap kendaraan dalam koneksi jaringan dinamis(Xu, 2023).

Selain itu, koneksi jaringan dinamis juga menjadi tantangan(Wang et al., 2020). Karena kendaraan bergerak dalam situasi jaringan yang sangat aktif, ini akan menghasilkan koneksi "ON/OFF" sepanjang jalan. Kondisi ini bisa memburuk dengan adanya hambatan radio yang berpotensi mengganggu saluran komunikasi. Ketika kepadatan kendaraan rendah, akan terjadi pemutusan koneksi yang sering, yang dapat menyebabkan tingkat kegagalan koneksi yang tinggi. Keduanya memerlukan protokol routing yang kuat untuk mengenali situasi dan menyediakan tautan alternatif dengan cepat untuk memastikan kualitas komunikasi(Homaei et al., 2021).

Kendala waktu nyata juga menjadi isu penting. Pesan yang dipertukarkan dalam jaringan VANET sebagian besar tidak membutuhkan sumber daya tinggi dan laju data yang tinggi. Namun, menjaga agar keterlambatan end-to-end tetap minimum sangat penting untuk mempertahankan kualitas layanan yang baik. Misalnya, pengiriman pesan peringatan harus memiliki keterlambatan minimum untuk menjaga layanan waktu nyata, atau pesan peringatan tersebut tidak lagi berguna untuk mengantisipasi kecelakaan atau menghindari tabrakan.

Kualitas layanan (QoS) didefinisikan sebagai persyaratan standar yang perlu dipenuhi saat membangun koneksi end-to-end untuk mempertahankan pertukaran data. Berbagai faktor dan kendala harus dipertimbangkan lebih awal untuk menjaga QoS yang baik karena setiap aplikasi memiliki standar QoS-nya sendiri. Pendekatan routing yang tepat sangat penting untuk dengan efisien menetapkan rute baru ketika rute lain tidak lagi tersedia karena perubahan berbagai variabel seperti kecepatan kendaraan, posisi, topologi, jarak, dan lain-lain(Albattah et al., 2022).

Selain itu, masalah keamanan dan privasi data juga menjadi tantangan utama(Gupta et al., 2020). Penerapan berbagai sistem cerdas pada kendaraan berpotensi menyimpan sejumlah besar informasi pribadi yang mencatat aktivitas individu dan kebiasaan selain data lintasan kendaraan itu sendiri. Isu ini mungkin mempengaruhi penerimaan publik terhadap sistem VANET selain masalah keandalan dan kerentanan kebocoran informasi pribadi(Hasrouny et al., 2018). Ancaman lain dapat muncul dari manipulasi pesan atau merekam lintasan kendaraan secara remote.

Kaitan rasional dari penerapan teknologi komunikasi V2V di Jakarta sangat relevan mengingat tantangan lalu lintas yang dihadapi oleh kota metropolitan ini. Jakarta, sebagai ibu kota Indonesia, dikenal dengan tingkat kepadatan lalu lintas yang tinggi dan frekuensi kemacetan yang sering terjadi. Implementasi komunikasi V2V di Jakarta dapat membantu mengatasi beberapa masalah lalu lintas kritis ini dengan meningkatkan efisiensi aliran lalu lintas dan keselamatan di jalan. Misalnya, dengan adanya sistem peringatan dini terhadap kemacetan dan kecelakaan, pengemudi dapat diarahkan untuk mengambil rute alternatif, sehingga mengurangi beban pada jalan utama dan mempercepat waktu perjalanan. Selain itu, dengan adanya komunikasi yang efektif antara kendaraan, risiko kecelakaan dapat diminimalkan, terutama di persimpangan-persimpangan sibuk yang sering menjadi titik rawan kecelakaan. Dengan demikian, penerapan teknologi V2V dapat berkontribusi signifikan terhadap peningkatan kualitas hidup masyarakat Jakarta dengan mengurangi kemacetan, meningkatkan keselamatan, dan mengoptimalkan konsumsi bahan bakar melalui pengelolaan lalu lintas yang lebih cerdas dan efisien.

PEMBAHASAN

Studi telah melaporkan bahwa komunikasi V2V dapat meningkatkan keselamatan jalan dan aliran lalu lintas dengan menyediakan informasi yang tepat waktu dan akurat tentang kendaraan di sekitar dan lingkungan jalan, memungkinkan pengemudian yang lebih efisien dan terkoordinasi. Tabel 1 merangkum manfaat dan tantangan komunikasi V2V dalam sistem lalu lintas cerdas.

**Tabel 1.** Manfaat dan Tantangan (Kumar et al., 2019)

| No | Manfaat                           | Tantangan                                                            |
|----|-----------------------------------|----------------------------------------------------------------------|
| 1  | Peningkatan keselamatan           | Biaya infrastruktur                                                  |
| 2  | Peningkatan efisiensi             | Masalah privasi                                                      |
| 3  | Peningkatan manajemen lalu lintas | Kemampuan terbatas untuk mendeteksi dan merespons serangan           |
| 4  | Peningkatan transportasi publik   | Kurangnya standarisasi dalam langkah-langkah keamanan yang digunakan |
| 5  | Peningkatan data real-time        |                                                                      |

Berdasarkan studi literatur yang dirangkum dalam Tabel 1, penelitian ini mengidentifikasi manfaat penerapan komunikasi V2V pada sistem lalu lintas cerdas dan tantangan yang perlu dipertimbangkan saat mempersiapkan, menerapkan, dan mendukung keberlanjutan sistem transportasi cerdas berbasis komunikasi V2V. Tabel 1 juga memuat informasi tentang peluang penelitian lebih lanjut dalam mengembangkan komunikasi V2V pada sistem lalu lintas cerdas. Khususnya, untuk mengatasi beberapa tantangan yang perlu diselesaikan atau dioptimalkan dari berbagai perspektif, seperti teknis, ekonomi, sosial, dan sebagainya.

Manfaat Penggunaan Komunikasi V2V dalam Sistem Lalu Lintas Cerdas

Beberapa manfaat penggunaan komunikasi V2V dalam sistem lalu lintas cerdas termasuk peningkatan keselamatan untuk mencegah kecelakaan dan meningkatkan keselamatan di jalan(Xiong et al., 2019), peningkatan efisiensi untuk mengurangi kemacetan dan meningkatkan efisiensi di jalan di mana komunikasi V2V dapat mendukung pengembangan sistem lalu lintas cerdas, yang mengarah pada peningkatan efisiensi dan keberlanjutan jaringan transportasi. Selain itu, peningkatan manajemen lalu lintas untuk meningkatkan keselamatan di jalan dengan

memberi tahu pengemudi tentang potensi bahaya dan membantu mereka menghindari kecelakaan di mana komunikasi V2V dapat memungkinkan kendaraan untuk berkomunikasi satu sama lain untuk mengoordinasikan aktivitas pindah jalur dan penggabungan, mengurangi potensi kecelakaan dan meningkatkan aliran lalu lintas.

Peningkatan transportasi publik untuk meningkatkan efisiensi sistem transportasi publik dengan memungkinkan bus dan kereta api untuk berkomunikasi satu sama lain dan dengan pusat kontrol pusat. Dengan mengintegrasikan komunikasi V2V dengan sistem transportasi publik, agen transit dapat memberikan layanan pelanggan yang lebih baik dan lebih efisien. Dan peningkatan data real-time untuk meningkatkan akurasi dan efektivitas sistem manajemen lalu lintas dengan mengumpulkan dan berbagi data real-time tentang lalu lintas, cuaca, dan kondisi lainnya. Ini dapat meningkatkan aliran lalu lintas, mengurangi kemacetan, dan meningkatkan keselamatan di jalan(Zhu et al., 2019).

### **Peningkatan Keselamatan**

Salah satu manfaat utama komunikasi V2V adalah memungkinkan kendaraan "melihat" melampaui garis pandang mereka dan mendeteksi potensi bahaya yang mungkin tidak terlihat oleh pengemudi(Bhatia et al., 2020). Komunikasi V2V dapat membantu mencegah kecelakaan dan meningkatkan keselamatan di jalan. Komunikasi V2V dapat meningkatkan aliran lalu lintas dengan memungkinkan kendaraan untuk mengoordinasikan pergerakan mereka dan menghindari kemacetan(Bhatia et al., 2020). Ini dapat memberikan pandangan yang lebih komprehensif tentang lingkungan sekitar daripada sensor tradisional, seperti kamera dan radar. Komunikasi V2V memungkinkan kendaraan untuk bertukar informasi tentang lokasi, kecepatan, dan arah perjalanan mereka satu sama lain, yang dapat membantu menciptakan gambaran yang lebih akurat dan lengkap tentang lingkungan sekitar(Hamdi et al., 2020). Manfaat kedua adalah bantuan perubahan jalur; komunikasi V2V dapat mendeteksi kapan aman untuk berpindah jalur dan memberi tahu pengemudi tentang potensi bahaya di area buta(Ghatwai et al., 2017) mereka. Ini dapat membantu mengurangi risiko kecelakaan yang disebabkan oleh perubahan jalur. Manfaat ketiga adalah peringatan tabrakan di persimpangan; komunikasi V2V dapat memberi tahu pengemudi tentang potensi tabrakan di persimpangan(Sun, 2020) dan membantu mereka menghindari kecelakaan. Selanjutnya, sistem peringatan darurat, komunikasi V2V memberi tahu pengemudi tentang potensi bahaya, seperti kecelakaan, penutupan jalan, dan keadaan darurat lainnya.

### **Peningkatan Efisiensi**

Komunikasi V2V dapat membantu meningkatkan efisiensi sistem transportasi dengan mengurangi kemacetan, meningkatkan aliran lalu lintas, dan membuat perjalanan lebih dapat diprediksi. Peningkatan efisiensi dicapai melalui komunikasi V2V dalam beberapa cara, seperti lampu lalu lintas yang terkoordinasi yang memungkinkan kendaraan untuk berkomunikasi dengan lampu lalu lintas, memberikan informasi tentang lokasi, kecepatan, dan arah perjalanan mereka. Ini memungkinkan lampu lalu lintas untuk menyesuaikan waktu mereka berdasarkan aliran lalu lintas aktual, mengurangi waktu tunggu bagi kendaraan dan meningkatkan keseluruhan aliran lalu lintas(Hakak et al., 2022). Kedua adalah kontrol jelajah kooperatif yang memungkinkan kendaraan untuk berkomunikasi satu sama lain menggunakan komunikasi V2V untuk mengoptimalkan kecepatan dan jarak mereka, mengurangi konsumsi bahan bakar dan emisi. Kendaraan dapat berbagi informasi tentang kecepatan dan lokasi mereka, yang memungkinkan mereka untuk mengoordinasikan kecepatan dan jarak mereka untuk mengurangi kebutuhan pengereman dan akselerasi tiba-tiba. Ketiga adalah menyediakan rute yang lebih baik yang dapat membantu kendaraan lain menghindari area ini dan menemukan

rute tercepat ke tujuan mereka(W. Zhang & Wang, 2019).

Selanjutnya adalah prioritas kendaraan darurat. Kendaraan darurat seperti ambulans dan truk pemadam kebakaran dapat menggunakan komunikasi V2V untuk memberi tahu kendaraan lain tentang keberadaan mereka, memungkinkan mereka bergerak melalui lalu lintas dengan lebih cepat dan aman. Komunikasi V2V memiliki potensi untuk meningkatkan prioritas kendaraan darurat dalam sistem lalu lintas cerdas(Fawal et al., 2020). Komunikasi V2V dapat membantu kendaraan darurat menghindari kemacetan lalu lintas, menemukan rute tercepat ke tujuan mereka, dan mengurangi waktu tanggap darurat dengan bertukar informasi real-time tentang kecepatan kendaraan, lokasi, dan kondisi jalan, memungkinkan respons yang lebih cepat dan efektif dalam keadaan darurat, meningkatkan keselamatan publik dan mengurangi risiko kecelakaan. Pembentukan konvoi berbasis komunikasi V2V memungkinkan kendaraan untuk berkendara dalam formasi dekat, yang dikenal sebagai platooning(Maiti et al., 2020), yang dapat membantu mengurangi hambatan angin, meningkatkan efisiensi bahan bakar, dan menghemat waktu bagi pengemudi. Yang terakhir adalah penasihat kecepatan optimal lampu hijau. Dengan memberikan informasi tentang kecepatan yang seharusnya kendaraan untuk mencapai lampu hijau, komunikasi V2V dapat membantu pengemudi untuk berkendara pada kecepatan yang lebih konsisten, mengurangi kebutuhan pengereman dan akselerasi tiba-tiba, yang dapat membantu mengurangi kemacetan dan meningkatkan aliran lalu lintas(Rapelli et al., 2020).

### **Peningkatan Manajemen Lalu Lintas**

Komunikasi V2V dapat meningkatkan manajemen lalu lintas dengan menyediakan informasi real-time tentang lokasi dan kecepatan kendaraan di jalan. Pengelola lalu lintas dapat menggunakan informasi ini untuk membuat keputusan yang lebih terinformasi tentang aliran lalu lintas, manajemen insiden, dan waktu sinyal lalu lintas. Komunikasi V2V dapat mencapai peningkatan manajemen lalu lintas melalui beberapa cara, seperti pemantauan lalu lintas real-time untuk memberi tahu kendaraan tentang informasi kemacetan lalu lintas, kecelakaan, dan bahaya jalan lainnya, yang dapat membantu pengelola lalu lintas mengidentifikasi area masalah dan membuat penyesuaian terhadap aliran lalu lintas sesuai kebutuhan. Terkait dengan pemantauan lalu lintas real-time adalah manajemen insiden. Dalam hal kecelakaan atau insiden lainnya, kendaraan yang dilengkapi V2V dapat berbagi informasi tentang lokasi, keparahan, dan dampak dari insiden. Ini dapat membantu pengelola lalu lintas untuk merespons lebih cepat dan efektif, mengurangi dampak insiden terhadap aliran lalu lintas. Ketiga adalah kontrol sinyal lalu lintas adaptif yang memungkinkan beberapa kendaraan untuk berkomunikasi dengan lampu lalu lintas. Ini memungkinkan lampu lalu lintas untuk menyesuaikan waktu mereka berdasarkan aliran lalu lintas yang sebenarnya, mengurangi waktu tunggu bagi kendaraan dan meningkatkan keseluruhan aliran lalu lintas. Prioritas kendaraan darurat untuk memberi tahu kendaraan lain tentang keberadaan ambulans, memungkinkan mereka bergerak melalui lalu lintas dengan lebih cepat dan aman. Ini dapat membantu mengurangi keterlambatan dan memastikan bahwa kendaraan darurat mencapai tujuan mereka sesegera mungkin.

### **Peningkatan Transportasi Publik**

Komunikasi V2V dapat meningkatkan transportasi publik dengan menyediakan informasi real-time tentang lokasi dan status kendaraan transportasi publik, yang dapat membantu meningkatkan efisiensi dan keandalan sistem transportasi publik. Layanan transportasi publik yang ditingkatkan, komunikasi V2V, dapat meningkatkan efisiensi dan keandalan keseluruhan sistem transportasi publik, menarik lebih banyak penumpang dan mengurangi jumlah mobil di

jalan, yang mengarah pada pengurangan kemacetan lalu lintas dan polusi udara. Komunikasi V2V dapat meningkatkan transportasi publik dengan memberikan beberapa peningkatan, seperti pelacakan kendaraan real-time, yang dapat membantu menyediakan informasi pelacakan real-time kepada penumpang dan pengelola lalu lintas serta meningkatkan efisiensi keseluruhan sistem transportasi publik dengan mengurangi waktu tunggu dan meningkatkan keandalan waktu kedatangan kendaraan. Ketiga, komunikasi V2V dapat meningkatkan pengaturan dan perencanaan rute; kendaraan umum yang dilengkapi V2V dapat berbagi informasi tentang kemacetan lalu lintas, kecelakaan, dan bahaya jalan lainnya, yang dapat membantu dispatcher untuk membuat keputusan yang lebih terinformasi tentang perencanaan rute (Rahman, 2020) dan jadwal kendaraan.

Keempat, kontrol sinyal lalu lintas kooperatif (Hu et al., 2020) memungkinkan lampu lalu lintas menyesuaikan waktu mereka berdasarkan aliran lalu lintas yang sebenarnya dari kendaraan umum, mengurangi waktu tunggu dan meningkatkan aliran lalu lintas secara keseluruhan. Respons darurat yang ditingkatkan, dalam keadaan darurat, kendaraan umum yang dilengkapi V2V dapat berbagi informasi tentang lokasi, keparahan, dan dampak dari insiden, yang dapat membantu responden darurat merespons lebih cepat dan efektif. Secara keseluruhan, komunikasi V2V dapat meningkatkan transportasi publik dengan menyediakan informasi real-time tentang lokasi dan status transportasi umum, yang dapat meningkatkan efisiensi dan keandalan keseluruhan sistem transportasi umum.

### **Peningkatan Data Real-Time**

Peningkatan data real-time adalah komponen kritis dari komunikasi V2V. Ini memungkinkan kendaraan untuk membuat keputusan yang terinformasi dan merespons dengan cepat terhadap kondisi jalan yang berubah (Y. Zhang et al., 2017), sehingga meningkatkan keselamatan, efisiensi, dan mobilitas di jalan. Peningkatan data real-time sangat penting untuk komunikasi V2V karena memungkinkan kendaraan membuat keputusan real-time berdasarkan informasi yang mereka terima dari kendaraan lain. Pertukaran data real-time ini dapat secara signifikan meningkatkan keselamatan jalan dengan mengurangi jumlah kecelakaan dan insiden yang disebabkan oleh kesalahan manusia atau keterbatasan visibilitas. Ini juga dapat meningkatkan efisiensi dengan mengurangi kemacetan lalu lintas dan meningkatkan aliran lalu lintas di jalan. Selain itu, peningkatan data real-time dapat meningkatkan mobilitas dengan menyediakan informasi real-time kepada pengemudi tentang kondisi jalan, pola lalu lintas, dan rute alternatif.

### **Tantangan Penggunaan Komunikasi V2V dalam Sistem Lalu Lintas Cerdas**

Namun, berdasarkan Tabel 1, studi juga menyoroti tantangan seperti peningkatan keamanan, masalah privasi, dan biaya infrastruktur. Biaya perangkat keras adalah salah satu biaya terbesar yang terkait dengan komunikasi V2V adalah biaya perangkat keras yang diperlukan untuk mendukung komunikasi. Perangkat lunak yang diperlukan untuk komunikasi V2V juga mahal. Perangkat lunak ini mencakup biaya pengembangan dan pemeliharaan protokol komunikasi, layanan, dan format pesan, biaya integrasi sistem komunikasi V2V dengan sistem lain, seperti komputer onboard kendaraan dan sistem navigasi, sementara biaya lainnya adalah sertifikasi, pengembangan, dan pemeliharaan untuk memastikan mereka terus berfungsi dengan benar dan aman (Albattah et al., 2022).

Kedua adalah masalah privasi. Sistem komunikasi V2V mengumpulkan dan mengirimkan data penting tentang kendaraan dan penghuninya. Data ini dapat mencakup lokasi, kecepatan, dan



informasi sensitif lainnya. Jika data ini tidak dilindungi dengan baik, data ini dapat diakses dan digunakan oleh pihak yang tidak berwenang, yang menimbulkan kekhawatiran privasi yang serius (Gupta et al., 2022). Juga ada kebutuhan untuk lebih banyak standarisasi dalam langkah-langkah keamanan yang digunakan; sulit untuk memastikan keamanan komunikasi. Masalah lain adalah kemampuan terbatas untuk mendeteksi dan merespons serangan; sistem komunikasi V2V saat ini tidak dapat mendeteksi dan merespons serangan siber secara real-time. Standarisasi yang baik membuat sulit untuk menghentikan serangan setelah diluncurkan. Penting untuk mengembangkan dan menerapkan langkah-langkah keamanan yang kuat untuk sistem komunikasi V2V yang dapat melindungi terhadap serangan siber dan memastikan privasi data yang ditransmisikan. Dalam kategori Masalah Teknis, studi telah melaporkan bahwa ada kurangnya standarisasi dan regulasi untuk komunikasi V2V, yang menjadi penghalang penerapan teknologi ini (Lakshmipraba & Sivakumar, 2019).

Beberapa masalah teknis perlu diatasi saat menerapkan komunikasi V2V dalam sistem lalu lintas cerdas, seperti infrastruktur jaringan untuk mendukung komunikasi berbandwidth tinggi dan latensi rendah antara kendaraan yang bisa sulit untuk diterapkan, terutama di daerah dengan cakupan jaringan yang buruk atau di mana infrastruktur yang ada tidak memadai. Kompatibilitas perangkat keras, komunikasi V2V mengharuskan semua kendaraan di jalan dilengkapi dengan perangkat keras dan protokol komunikasi yang sama agar sistem dapat bekerja secara efektif. Memastikan kompatibilitas antara berbagai merek dan model kendaraan bisa menjadi tantangan. Interoperabilitas untuk memastikan bahwa semua kendaraan dapat berkomunikasi satu sama lain dengan efektif, konsumsi energi dapat menjadi masalah untuk kendaraan listrik dengan sumber daya atau kapasitas baterai terbatas. Dan skalabilitas untuk menangani volume data yang meningkat dan jumlah kendaraan yang terhubung, terutama di daerah dengan kepadatan lalu lintas yang tinggi, di mana sistem harus mampu menangani sejumlah besar kendaraan yang berkomunikasi satu sama lain secara bersamaan (Yasser et al., 2017).

### **Perspektif Masa Depan Komunikasi V2V untuk Sistem Lalu Lintas Cerdas**

Komunikasi V2V memiliki potensi untuk secara signifikan meningkatkan keselamatan, efisiensi, dan mobilitas sistem lalu lintas cerdas di masa depan. Komunikasi V2V bisa digunakan di masa depan untuk mendukung sistem kendaraan otonom; seiring meningkatnya prevalensi kendaraan otonom, komunikasi V2V akan menjadi semakin penting bagi kendaraan ini untuk berbagi informasi dengan infrastruktur lalu lintas. Ini dapat menyebabkan aliran lalu lintas yang lebih baik, peningkatan keselamatan, dan pengurangan kemacetan. Mendukung Sistem Transportasi Cerdas untuk memberikan pandangan yang lebih komprehensif tentang kondisi lalu lintas dan membantu meningkatkan aliran lalu lintas. Ini adalah komponen penting dari ITS karena memungkinkan kendaraan untuk berbagi informasi real-time, seperti kecepatan, lokasi, dan kondisi jalan. Komunikasi V2V dapat digunakan untuk mendukung pengembangan kota pintar sebagai bagian dari inisiatif kota pintar (Shouran et al., 2019) untuk meningkatkan efisiensi keseluruhan transportasi dalam wilayah perkotaan. Komunikasi V2V memungkinkan sistem manajemen lalu lintas untuk mengontrol dan mengelola aliran lalu lintas, mengurangi kemacetan, dan meningkatkan pengalaman berkendara. Ini memungkinkan kendaraan untuk berbagi informasi real-time seperti lokasi, kecepatan, dan kondisi lalu lintas dengan kendaraan lain dan infrastruktur jalan, sehingga memberikan pandangan yang komprehensif tentang sistem lalu lintas kota.

Selanjutnya, komunikasi V2V akan secara signifikan meningkatkan pengembangan kendaraan listrik yang terhubung untuk mengoptimalkan penggunaan jaringan listrik dan mengurangi biaya keseluruhan kepemilikan kendaraan listrik. Dengan memungkinkan kendaraan listrik untuk

berkomunikasi satu sama lain dan dengan infrastruktur di sekitarnya, komunikasi V2V dapat menyediakan informasi penting seperti ketersediaan stasiun pengisian, status baterai, dan jangkauan perjalanan, yang dapat membantu pengemudi membuat keputusan yang terinformasi tentang perilaku berkendara dan perencanaan rute mereka. Peningkatan sistem bantuan pengemudi lanjutan (ADAS)(Cheong et al., 2017), komunikasi V2V, diterapkan untuk meningkatkan fungsi ADAS, seperti kontrol jelajah adaptif, peringatan keberangkatan jalur, dan pengereman darurat otomatis, yang dapat membantu meningkatkan keselamatan dan membuat mengemudi lebih nyaman. Dan Sistem Parkir Cerdas, komunikasi V2V, diterapkan untuk mengkomunikasikan ketersediaan tempat parkir, yang dapat membantu kendaraan lain menemukan tempat parkir lebih efisien, mengurangi kemacetan dan polusi udara yang disebabkan oleh berkeliling mencari tempat parkir. Komunikasi V2V juga dapat menyediakan informasi tentang biaya parkir, jam operasi, dan pembatasan parkir, yang dapat membantu pengemudi membuat keputusan yang terinformasi saat memarkir kendaraan mereka(Horng, 2019).

Secara keseluruhan, masa depan komunikasi V2V untuk sistem lalu lintas cerdas sangat cerah, karena teknologi ini akan terus berkembang dan diintegrasikan dengan teknologi lain untuk meningkatkan efisiensi, keselamatan, dan pengalaman transportasi secara keseluruhan. Integrasi komunikasi V2V dengan teknologi lain seperti V2I, V2N, dan V2X serta penggunaan AI, ML, Cloud, dan teknologi 5G dianggap sebagai peluang untuk perbaikan sistem V2V untuk sistem lalu lintas cerdas(Muhammad & Safdar, 2021).

### **Potensi Penerapan di Jakarta**

Jakarta, sebagai ibu kota Indonesia dengan populasi yang sangat padat dan tingkat kemacetan yang tinggi, memiliki potensi besar untuk penerapan teknologi komunikasi V2V dalam upaya meningkatkan manajemen lalu lintas dan efisiensi transportasi. Beberapa manfaat dan tantangan yang diuraikan di atas sangat relevan untuk Jakarta dan dapat berkontribusi secara signifikan terhadap solusi masalah lalu lintas di kota ini.

### **Peningkatan Keselamatan Jalan**

Penerapan teknologi komunikasi V2V di Jakarta dapat secara signifikan meningkatkan keselamatan jalan dengan mengurangi risiko kecelakaan melalui peringatan dini tentang potensi bahaya, seperti kendaraan yang melambat mendadak atau insiden di depan. Teknologi ini juga dapat membantu dalam manajemen lalu lintas di persimpangan yang rawan kecelakaan dengan memberikan peringatan tentang kemungkinan tabrakan.

### **Peningkatan Efisiensi Lalu Lintas**

Dengan adanya komunikasi V2V, efisiensi lalu lintas di Jakarta dapat ditingkatkan melalui koordinasi yang lebih baik antara kendaraan dan infrastruktur jalan. Misalnya, komunikasi real-time antara kendaraan dan lampu lalu lintas dapat mengurangi waktu tunggu dan memperbaiki aliran lalu lintas. Selain itu, fitur seperti cruise control kooperatif dan pembentukan peloton dapat mengurangi konsumsi bahan bakar dan emisi, yang sangat penting di kota dengan tingkat polusi tinggi seperti Jakarta.

### **Manajemen Transportasi Publik**

Teknologi V2V dapat meningkatkan efisiensi dan keandalan transportasi publik di Jakarta dengan memberikan informasi real-time tentang lokasi dan status kendaraan umum. Ini dapat membantu penumpang dalam merencanakan perjalanan mereka dengan lebih baik dan mengurangi waktu tunggu. Selain itu, koordinasi yang lebih baik antara kendaraan umum dan

sistem kontrol lalu lintas dapat memperbaiki waktu tempuh dan keandalan layanan transportasi publik.

### **Peningkatan Data Real-Time**

Peningkatan data real-time melalui komunikasi V2V akan memberikan pandangan yang lebih komprehensif tentang kondisi lalu lintas di Jakarta, memungkinkan pihak berwenang untuk membuat keputusan yang lebih baik dalam manajemen lalu lintas. Informasi real-time tentang kemacetan, kecelakaan, dan kondisi jalan dapat membantu dalam pengelolaan lalu lintas yang lebih responsif dan efektif.

### **Tantangan Infrastruktur dan Keamanan**

Namun, penerapan teknologi V2V di Jakarta juga menghadapi beberapa tantangan signifikan. Salah satu tantangan utama adalah biaya infrastruktur yang tinggi untuk menginstal perangkat keras dan perangkat lunak yang diperlukan. Selain itu, masalah privasi dan keamanan data harus diatasi dengan langkah-langkah keamanan yang kuat dan standar yang ketat untuk mencegah akses yang tidak sah dan serangan siber.

## **KESIMPULAN**

Dalam bab ini, kita telah menjelajahi potensi dan tantangan dari implementasi teknologi Vehicle-to-Vehicle (V2V) dalam konteks sistem transportasi pintar. Ditemukan bahwa pengembangan infrastruktur V2V membutuhkan alokasi dana yang signifikan dan kemitraan yang kuat antara sektor publik dan swasta. Regulasi ketat juga diperlukan untuk melindungi privasi dan keamanan data dalam komunikasi V2V, sementara edukasi pengguna jalan menjadi kunci untuk meningkatkan kesadaran akan manfaat teknologi ini. Integrasi V2V dengan sistem transportasi publik dapat meningkatkan efisiensi dan kualitas layanan secara keseluruhan. Dalam konteks yang lebih luas, penting untuk mempertimbangkan bagaimana teknologi V2V dapat diadaptasi untuk mengatasi masalah transportasi yang unik, seperti kemacetan lalu lintas dan polusi udara di kota-kota besar seperti Jakarta. Dengan refleksi mendalam tentang tantangan dan potensi solusi, kita dapat memandang teknologi V2V sebagai alat yang kuat dalam merancang masa depan transportasi yang lebih aman, efisien, dan berkelanjutan.

## **REKOMENDASI KEBIJAKAN (POLICY BRIEF)**

Sebagai salah satu kota terpadat di dunia, Jakarta dihadapkan pada tantangan lalu lintas yang kompleks dan seringkali menyebabkan kemacetan yang parah. Dengan populasi yang terus berkembang dan tingkat kepemilikan kendaraan yang tinggi, solusi inovatif diperlukan untuk meningkatkan mobilitas kota dan mengurangi kecelakaan lalu lintas. Teknologi Komunikasi Vehicle-to-Vehicle (V2V) menawarkan potensi untuk memperbaiki situasi ini dengan meningkatkan koordinasi antara kendaraan dan infrastruktur jalan.

1. **Pengembangan Infrastruktur V2V:** Pemerintah Jakarta harus mengalokasikan dana untuk pengembangan infrastruktur V2V yang meliputi instalasi perangkat keras dan perangkat lunak yang diperlukan. Ini mencakup pemasangan sensor dan komponen V2V di persimpangan, jalan raya, dan kendaraan di seluruh kota.

2. **Kemitraan Publik-Swasta:** Penting untuk memperkuat kemitraan antara pemerintah dan sektor swasta dalam pengembangan dan implementasi teknologi V2V. Ini dapat melibatkan perusahaan swasta dalam pembiayaan, instalasi, dan pemeliharaan infrastruktur V2V, serta pembentukan kerangka kerja regulasi yang menguntungkan bagi investasi swasta.
3. **Regulasi Privasi dan Keamanan Data:** Jakarta harus mengembangkan regulasi ketat untuk melindungi privasi dan keamanan data dalam konteks komunikasi V2V. Hal ini melibatkan penetapan standar keamanan yang ketat untuk mencegah akses yang tidak sah, serta penegakan hukum yang kuat terhadap pelanggaran privasi dan keamanan.
4. **Pelatihan dan Kesadaran Pengguna:** Program pelatihan dan kampanye kesadaran harus dilakukan untuk mendidik pengguna jalan tentang manfaat dan penggunaan teknologi V2V. Ini mencakup edukasi tentang cara kerja sistem, manfaat keselamatan, dan hak privasi pengguna.
5. **Integrasi dengan Transportasi Publik:** Integrasi teknologi V2V dengan sistem transportasi publik yang ada akan meningkatkan efisiensi dan keandalan layanan transportasi. Pemasangan perangkat V2V pada armada kendaraan umum dan pengembangan aplikasi yang menyediakan informasi real-time kepada penumpang akan membantu meningkatkan pengalaman pengguna.

## DAFTAR PUSTAKA

- Albattah, W., Habib, S., Alsharekh, M. F., Islam, M., Albahli, S., & Dewi, D. A. (2022). An Overview of the Current Challenges, Trends, and Protocols in the Field of Vehicular Communication. *Electronics* (Switzerland), 11(21). <https://doi.org/10.3390/electronics11213581>
- Bhatia, T. K., Ramachandran, R. K., Doss, R., & Pan, L. (2020). A Survey on Controlling the Congestion in Vehicle-to-Vehicle Communication. *ICRITO 2020 - IEEE 8th International Conference on Reliability, Infocom Technologies and Optimization (Trends and Future Directions)*, 573–578. <https://doi.org/10.1109/ICRITO48877.2020.9197884>
- Bintoro, K. B. Y., & Priyambodo, T. K. (2024). Learning Automata-Based AODV to Improve V2V Communication in A Dynamic Traffic Simulation. *International Journal of Intelligent Engineering and Systems*, 17(1), 666–678. <https://doi.org/10.22266/ijies2024.0229.56>
- Cheong, M., Lee, Y., Park, W., & Yeom, I. (2017). Analysis of V2V communication for ADAS. *International Conference on Ubiquitous and Future Networks, ICUFN*, 284–286. <https://doi.org/10.1109/ICUFN.2017.7993794>
- Choudhary, S., & Purohit, K. (2019). VANET: Its applications, security requirements, types of attacks and its corrective measures. *2018 International Conference on Computing, Power and Communication Technologies, GUCON 2018*, 883–888. <https://doi.org/10.1109/GUCON.2018.8674976>
- Desai, P., Loke, S. W., & Desai, A. (2017). Cooperative vehicles for robust traffic congestion reduction: An analysis based on algorithmic, environmental and agent behavioral factors. *PLoS ONE*, 12(8), 1–20. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0182621>
- Dong, B., Deng, J., Wu, W., & Meng, T. (2016). Topology analysis system for vehicular Ad Hoc network. *Parallel and Distributed Computing, Applications and Technologies, PDCAT Proceedings*, 0, 299–302. <https://doi.org/10.1109/PDCAT.2016.070>
- Fawal, A. H. El, Mansour, A., & Najem, M. (2020). V2V Influence on M2M and H2H Traffics

- During Emergency Scenarios. In *Global Advancements in Connected and Intelligent Mobility* (pp. 93–134). IGI Global. <https://doi.org/10.4018/978-1-5225-9019-4.ch003>
- Ghatwai, N. G., Harpale, V. K., & Kale, M. (2017). Vehicle To vehicle communication for crash avoidance system. *Proceedings - 2nd International Conference on Computing, Communication, Control and Automation, ICCUBEA 2016*, 1–3. <https://doi.org/10.1109/ICCUBEA.2016.7860118>
- Gupta, M., Benson, J., Patwa, F., & Sandhu, R. (2020). Secure V2V and V2I Communication in Intelligent Transportation using Cloudlets. *IEEE Transactions on Services Computing*, 1374(c), 1–1. <https://doi.org/10.1109/tsc.2020.3025993>
- Gupta, M., Benson, J., Patwa, F., & Sandhu, R. (2022). Secure V2V and V2I Communication in Intelligent Transportation Using Cloudlets. *IEEE Transactions on Services Computing*, 15(4), 1912–1925. <https://doi.org/10.1109/TSC.2020.3025993>
- Hakak, S., Gadekallu, T. R., Ramu, S. P., M, P., Maddikunta, P. K. R., de Alwis, C., & Liyanage, M. (2022). Autonomous Vehicles in 5G and Beyond: A Survey. *Vehicular Communications*, 39, 100551. <https://doi.org/10.1016/j.vehcom.2022.100551>
- Hamdi, M. M., Audah, L., Rashid, S. A., Mohammed, A. H., Alani, S., & Mustafa, A. S. (2020). A Review of Applications, Characteristics and Challenges in Vehicular Ad Hoc Networks (VANETs). *HORA 2020 - 2nd International Congress on Human-Computer Interaction, Optimization and Robotic Applications, Proceedings*. <https://doi.org/10.1109/HORA49412.2020.9152928>
- Han, D., Bai, B., & Chen, W. (2017). Secure V2V Communications via Relays: Resource Allocation and Performance Analysis. *IEEE Wireless Communications Letters*, 6(3), 342–345. <https://doi.org/10.1109/LWC.2017.2690292>
- Hasrouny, H., Samhat, A. E., Bassil, C., & Laouti, A. (2018). A security solution for V2V communication within VANETs. *IFIP Wireless Days, 2018-April*, 181–183. <https://doi.org/10.1109/WD.2018.8361716>
- Hoangt, G. M. (2018). Cooperative localization in VANETs: An experimental proof-of-concept combining GPS, IR-UWB ranging and V2V communications. In *2018 15th Workshop on Positioning, Navigation and Communications, WPNC 2018*. <https://doi.org/10.1109/WPNC.2018.8555767>
- Homaiei, M. H., Band, S. S., Pescapè, A., & Mosavi, A. (2021). DDSLA-RPL: Dynamic Decision System Based on Learning Automata in the RPL Protocol for Achieving QoS. *IEEE Access*, 9, 63131–63148. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2021.3075378>
- Horng, G. J. (2019). The cooperative on-street parking space searching mechanism in city environments. *Computers and Electrical Engineering*, 74, 349–361. <https://doi.org/10.1016/j.compeleceng.2019.02.010>
- Hu, J., Bhowmick, P., Arvin, F., Lanzon, A., & Lennox, B. (2020). Cooperative Control of Heterogeneous Connected Vehicle Platoons: An Adaptive Leader-Following Approach. *IEEE Robotics and Automation Letters*, 5(2), 977–984. <https://doi.org/10.1109/LRA.2020.2966412>
- Ioana, A., Korodi, A., & Silea, I. (2022). Automotive IoT Ethernet-Based Communication Technologies Applied in a V2X Context via a Multi-Protocol Gateway. *Sensors*, 22(17). <https://doi.org/10.3390/s22176382>
- Jameel, F. (2020). Performance Analysis of Cooperative V2V and V2I Communications under Correlated Fading. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 21(8), 3476–3484. <https://doi.org/10.1109/TITS.2019.2929825>
- Ketut Bayu Yogha Bintoro, Permana, S. D. H., & Syahputra, A. (2024). V2V Communication in Smart Traffic Systems : Current Status , Challenges and Future Perspectives. 19(1), 21–31.



- Kumar, P., Verma, A., & Singhal, P. (2019). VANET protocols with challenges- A review. *Proceedings of the 2019 6th International Conference on Computing for Sustainable Global Development, INDIACom 2019*, 598–602.
- Lakshmipraba, B., & Sivakumar, V. G. (2019). IoT in connected cars: Challenges and chances. *International Journal of Engineering and Advanced Technology*, 9(1), 6620–6629. <https://doi.org/10.35940/ijeat.A1859.109119>
- Ling, G., Lindsten, K., Ljungqvist, O., Löfberg, J., Norén, C., & Larsson, C. A. (2018). Fuel-efficient Model Predictive Control for Heavy Duty Vehicle Platooning using Neural Networks. *Proceedings of the American Control Conference*, 2018-June, 3994–4001. <https://doi.org/10.23919/ACC.2018.8431520>
- Liu, Y., Zhai, C., & Gao, H. (2017). Autonomous Multi-vehicle Consensus for High-order Systems. 9548–9553.
- Maiti, S., Winter, S., Kulik, L., & Sarkar, S. (2020). The Impact of Flexible Platoon Formation Operations. *IEEE Transactions on Intelligent Vehicles*, 5(2), 229–239. <https://doi.org/10.1109/TIV.2019.2955898>
- Muhammad, M., & Safdar, G. A. (2021). 5G-based V2V broadcast communications: A security perspective. *Array*, 11, 100084. <https://doi.org/10.1016/j.array.2021.100084>
- Nkenyereye, L., Liu, C. H., & Song, J. S. (2019). Towards secure and privacy preserving collision avoidance system in 5G fog based Internet of Vehicles. *Future Generation Computer Systems*, 95, 488–499. <https://doi.org/10.1016/j.future.2018.12.031>
- Özdemir, Ö., Kılıç, İ., Yazıcı, A., & Özkan, K. (2016). A V2V System Module for Inter Vehicle Communication. *Applied Mechanics and Materials*, 850, 16–22. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/amm.850.16>
- Peng, J., & Shao, Y. (2018). Intelligent Method for Identifying Driving Risk Based on V2V Multisource Big Data. In *Complexity* (Vol. 2018, pp. 1–9). Hindawi Limited. <https://doi.org/10.1155/2018/1801273>
- Rahman, F. I. (2020). Impact of V2V Communication on Eco-Route Choice. In *LOGI – Scientific Journal on Transport and Logistics* (Vol. 11, Issue 1, pp. 37–45). Walter de Gruyter GmbH. <https://doi.org/10.2478/logi-2020-0004>
- Rapelli, M., Casetti, C., & Sgarbi, M. (2020). A Distributed V2V-Based Virtual Traffic Light System. In *2020 International Conference on COMMunication Systems & NETWORKS (COMSNETS)*. IEEE. <https://doi.org/10.1109/comsnets48256.2020.9027339>
- Shouran, Z., Ashari, A., & Kuntoro, T. (2019). Internet of Things (IoT) of Smart Home: Privacy and Security. *International Journal of Computer Applications*, 182(39), 3–8. <https://doi.org/10.5120/ijca2019918450>
- Sun, G. (2020). Intersection Fog-Based Distributed Routing for V2V Communication in Urban Vehicular Ad Hoc Networks. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 21(6), 2409–2426. <https://doi.org/10.1109/TITS.2019.2918255>
- Uhlemann, E. (2016). Toward Autonomous Vehicles. *IEEE Vehicular Technology Magazine*, 11(3), 13–18.
- Vasili, A., & Moreno, W. A. (2019). Applications and trends in connected vehicles: Debates and conclusions. *2019 8th IEEE International Conference on Connected Vehicles and Expo, ICCVE 2019 - Proceedings*. <https://doi.org/10.1109/ICCV45908.2019.8965236>
- Wang, C., Gong, S., Zhou, A., Li, T., & Peeta, S. (2020). Cooperative adaptive cruise control for connected autonomous vehicles by factoring communication-related constraints. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 113(November 2018), 124–145. <https://doi.org/10.1016/j.trc.2019.04.010>
- Xiong, X., Wang, M., Cai, Y., Chen, L., Farah, H., & Hagenzieker, M. (2019). A forward collision avoidance algorithm based on driver braking behavior. *Accident Analysis and Prevention*,



- 129(May), 30–43. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2019.05.004>
- Xu, Y. (2023). Routing Strategies and Protocols for Efficient Data Transmission in the Internet of Vehicles: A Comprehensive Review. *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, 14(9), 955–965. <https://doi.org/10.14569/IJACSA.2023.01409100>
- Yasser, A., Zorkany, M., & Abdel Kader, N. (2017). VANET routing protocol for V2V implementation: A suitable solution for developing countries. *Cogent Engineering*, 4(1). <https://doi.org/10.1080/23311916.2017.1362802>
- Zhang, W., & Wang, W. (2019). Learning V2V interactive driving patterns at signalized intersections. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 108(September), 151–166. <https://doi.org/10.1016/j.trc.2019.09.009>
- Zhang, Y., Lin, Q., Wang, J., & Verwer, S. (2017). Car-following Behavior Model Learning Using Timed Automata. *IFAC-PapersOnLine*, 50(1), 2353–2358. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2017.08.423>
- Zhu, L., Yu, F. R., Wang, Y., Ning, B., & Tang, T. (2019). Big Data Analytics in Intelligent Transportation Systems: A Survey. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 20(1), 383–398. <https://doi.org/10.1109/TITS.2018.2815678>

# Penerbit Gunadarma



## TRANSFORMASI PARKIR PINTAR DENGAN IMPLEMENTASI TITIK TERDEKAT MENUJU SMART CITY JAKARTA

**Luthfi Atikah<sup>1\*</sup>, Dwi Diana Wazaumi<sup>2</sup>, Rosa Eliviani<sup>3</sup>, dan Fahriel Dwi Faldi<sup>4</sup>**

<sup>1, 2, 3, 4</sup>Program Studi Manajemen Informatika, Jurusan Informatika, Politeknik Astra, Kabupaten Bekasi 17530, Indonesia

\*Penulis Koresponden, e-mail:

[luthfiatikah@gmail.com/luthfi.atikah@polytechnic.astra.ac.id](mailto:luthfiatikah@gmail.com/luthfi.atikah@polytechnic.astra.ac.id)

### ABSTRAK

Urbanisasi di Jakarta terus meningkat, menyebabkan pertumbuhan sosial-ekonomi yang signifikan. Namun, masalah kemacetan lalu lintas menjadi dampak negatif serius. Sistem parkir yang tidak efisien, disertai pertumbuhan kendaraan pribadi yang tidak seimbang dengan lahan parkir yang terbatas, menjadi penyebab utama kemacetan. Selain itu, kesulitan mencari tempat parkir juga menyebabkan pemborosan bahan bakar dan pencemaran udara. Untuk mengatasi tantangan ini, penggunaan teknologi seperti Digitalisasi dan Internet of Things (IoT) diusulkan. Pengembangan sistem parkir pintar yang memanfaatkan teknologi Radio Frequency Identification (RFID), Near Field Communication (NFC), Cloud, dan seluler penting untuk meningkatkan efisiensi pengelolaan parkir dengan mendeteksi titik terdekat dengan implementasi Sistem Cerdas. Integrasi teknologi ini diharapkan dapat mengurangi kemacetan lalu lintas dan mendukung transformasi menjadi smart city di Jakarta. Implementasi teknologi inovatif ini berpotensi meningkatkan kualitas hidup penduduk perkotaan dan memperkuat infrastruktur kota secara keseluruhan.

Kata Kunci: Parkir Pintar, Radio Frequency Identification (RFID), Near Field Communication (NFC), dan Sistem Cerdas

### PENDAHULUAN

Urbanisasi yang terjadi di Jakarta telah memberikan dampak positif terhadap pertumbuhan ekonomi suatu daerah khususnya Jakarta. Pertumbuhan sosial-ekonomi di Indonesia khususnya di Jakarta dipengaruhi oleh urbanisasi yang terjadi setiap tahunnya. Pertumbuhan tersebut menyebabkan meningkatnya kepemilikan kendaraan pribadi serta berdampak ke kemacetan yang terjadi di Jakarta. Dampak dari kemacetan sendiri yaitu menjadikan polusi udara yang berdampak pada kesehatan tubuh. Dampak dari kemacetan sendiri selain kesehatan juga dapat mengakibatkan masyarakat stres, terbuang waktu produktif, serta jika berlarut-larut masalah polusi udara juga bisa berakibat kematian. Untuk menangani kemacetan dan meningkatkan mobilitas perkotaan regulasi integrasi transportasi perlu dilakukan. Regulasi yang perlu dibenahi salah satunya yaitu masalah parkir. Peningkatan jumlah kendaraan pribadi telah menyebabkan kelangkaan tempat parkir dan kemacetan lalu lintas yang semakin parah di seluruh kota. Pada sisi lain, perkembangan teknologi informasi dan komunikasi, terutama dalam konteks Smart City, telah membuka peluang baru untuk mengatasi masalah parkir ini dengan pendekatan yang lebih cerdas dan efisien. Oleh karena itu, parkir pintar secara bertahap menjadi isu strategis dalam membangun sebuah smart city (Xiao, et al., 2023).

## STATE OF THE ART

Melihat data dari Badan Pusat Statistika, bahwa perkembangan jumlah kendaraan bermotor menurut jenis (unit) dari tahun 2018 sampai 2022 terus mengalami peningkatan. Jenis kendaraan bermotor tersebut adapun mobil penumpang, mobil bis, mobil barang, dan sepeda motor. Jumlah kendaraan tersebut pada tahun 2018 adalah 126.508.776 unit, tahun 2019 adalah 133.617.012 unit, tahun 2020 adalah 136.137.451 unit, tahun 2021 adalah 141.992.573, dan tahun 2022 adalah 148.261.817 unit.

## PEMBAHASAN

### TUJUAN DAN RUANG LINGKUP

Tujuan utama dari book chapter ini adalah untuk mengidentifikasi masalah parkir di Kota Jakarta, khususnya dalam konteks peningkatan jumlah kendaraan bermotor dan kelangkaan tempat parkir. Penelitian ini juga bertujuan untuk mengeksplorasi potensi solusi cerdas yang dapat diterapkan untuk mengatasi masalah parkir tersebut, dengan fokus pada konsep parkir pintar dalam pembangunan Smart City.

### Definisi Parkir Pintar

Dalam strategi manajemen lalu lintas smart city, teknologi Smart Parking menyediakan solusi untuk mengurangi waktu kedatangan parkir dan kemacetan lalu lintas. Sistem parking ini dapat dilihat manfaatnya dari sisi ekonomi, lingkungan dan estetikanya (Pham, Mai, & Pham, 2023). Parkir pintar adalah ide baru tentang cara mengatur parkir di kota yang melihat harga sebagai alat utama. Berbeda dengan pendekatan tradisional yang fokus pada teknologi seperti sensor dan perangkat lunak, parkir pintar menganggap harga sebagai cara untuk menentukan siapa yang mendapat tempat parkir. Tujuan dari parkir pintar adalah untuk mengurangi kemacetan lalu lintas dan mendorong perilaku pengemudi yang lebih baik dengan menggunakan harga. Ini membuka jalan bagi inovasi dalam manajemen parkir di kota-kota di masa depan (Aljohani, Olariu, Alali, & Shubham, 2022).

### Tujuan Parkir Pintar

Tujuan dari sistem parkir pintar yang didorong oleh Internet of Things (IoT) adalah sebagai berikut (Alam, et al., 2023).

1. Meningkatkan Pemanfaatan Sumber Daya Parkir dengan menyediakan informasi lokasi parkir secara real-time dan memanfaatkan teknologi komunikasi nirkabel, yang bertujuan mengoptimalkan penggunaan tempat parkir yang tersedia untuk memenuhi permintaan minimum tempat parkir pada kota yang padat.
2. Mengurangi Pemborosan Energi : yaitu memanfaatkan sensor berbasis IoT untuk mengidentifikasi lokasi parkir, sistem ini dapat membantu mengurangi penggunaan energi yang berlebihan.
3. Memperbaiki Pengalaman Pengguna: yaitu menyediakan fitur-fitur seperti reservasi online, otentikasi pengguna, panduan parkir, dan pembayaran online bertujuan untuk meningkatkan pengguna dalam menggunakan tempat parkir dengan cara lebih nyaman dan efisien.
4. Meningkatkan Keamanan: yaitu menerapkan otentikasi pengguna dan pemantauan secara real-time bertujuan untuk meningkatkan keamanan tempat parkir bagi pengguna

kendaraan.

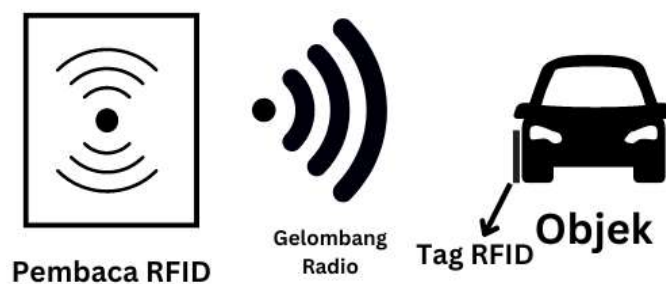
## TEKNOLOGI YANG DIGUNAKAN DALAM PARKIR PINTAR

Parkir pintar ini menarik banyak perhatian karena kemajuan Internet of Things (IoT). Adanya parkir pintar diharapkan mengurangi tingkat stress dan emisi CO<sub>2</sub> di lingkungan saat mencari parkir. Pada implementasinya, ruang parkir dilengkapi dengan sensor atau seperangkat sensor yang mengumpulkan data tempat parkir dan mengirimkan data yang disensing ke sistem cloud. Pengguna menjalankan sistem dari laptop atau ponsel seluler kemudian dapat mengakses sistem untuk memeriksa status tempat parkir.

Beberapa faktor perlu dipertimbangkan sebelum merancang sistem parkir pintar karena kinerjanya tergantung pada faktor-faktor tersebut. Bagian paling krusial dari sistem adalah mendeteksi objek dengan benar, menyimpan data, dan mengakses data melalui komunikasi yang efektif. Analisis yang tepat diperlukan untuk mencapai keseimbangan antara solusi tersebut. Berikut adalah beberapa teknologi yang dimanfaatkan untuk parkir pintar (Alam, et al., 2023).

### 1. Radio Frequency Identification (RFID)

Parkir pintar yang memanfaatkan RFID berfungsi sebagai autentikasi sebuah kendaraan, sehingga dapat membaca tag untuk identifikasi mobil tersebut. Teknologi RFID ini sebagai saluran komunikasi untuk membaca dan mengirimkan tag radio yang terpasang pada objek kendaraan menggunakan medan elektromagnetik. Tag radio yang terpasang terdiri atas pemancar, penerima dan transponder. Arsitektur sistem parkir yang menggunakan RFID salah satunya terdapat pada penelitian (Tsiropoulou, Baras, Papavassiliou, & Sinha, 2017). Penelitian tersebut menyebutkan bahwa komponen utama dari jaringan RFID adalah pembaca RFID untuk mengirimkan gelombang elektromagnetik dan juga mengaktifkan tag RFID untuk memantulkan sinyal dengan informasi dari tag ke pembaca RFID. Gambar berikut menjelaskan bagaimana tag RFID diaktifkan.



**Gambar 1.** Mengaktifkan tag RFID

### 2. Narrowband Internet of Things (NB-IoT)

NB-IoT ini termasuk salah satu jaringan sensor nirkabel yang dikembangkan pada Low Power Wide Area Network (LPWAN). Teknologi NB-IoT dirancang untuk menggunakan sedikit daya dan memberikan cakupan yang luas untuk jaringan. Meskipun memiliki keunggulan dalam hal efisiensi daya dan jangkauan, NB-IoT memiliki keterbatasan, terutama dalam hal ketergantungan pada penyedia jaringan seluler yang mungkin tidak stabil di daerah yang terpencil. Sistem parkir berbasis NB-IoT, sensor magnetik digunakan untuk mendeteksi ketersediaan tempat parkir. Data dari sensor dikirimkan melalui jaringan NB-IoT, dan informasi tersebut dapat diakses oleh pengguna melalui aplikasi seluler.

Ketika mobil masuk atau keluar dari tempat parkir, perubahan dalam medan magnet dideteksi oleh sensor dan informasi tentang ketersediaan tempat parkir akan diperbarui secara otomatis.

Meskipun sistem parkir menggunakan teknologi NB-IoT dapat menghasilkan informasi parkir real-time yang akurat, ada beberapa keterbatasan yang perlu diperhatikan. Salah satunya adalah ketergantungan pada jaringan seluler, yang dapat mengakibatkan ketidakstabilan dalam akses data. Teknologi ini cocok untuk aplikasi yang membutuhkan transmisi data yang relatif kecil dan memiliki latensi yang tinggi.

### 3. ZigBee

ZigBee adalah teknologi nirkabel yang memungkinkan komunikasi antar mesin dengan biaya dan konsumsi daya yang rendah. Ini adalah standar terbuka yang dikembangkan oleh ZigBee Alliance dan didesain khusus untuk jaringan pengendalian dan sensor. Jaringan ZigBee dapat menghubungkan banyak perangkat secara bersamaan (biasanya sekitar 240), yang luar biasa dibandingkan dengan jaringan jarak pendek lainnya seperti WiFi dan Bluetooth. Itulah mengapa jaringan ZigBee adalah pilihan terbaik untuk sistem parkir pintar. Gambar 13 menunjukkan diagram blok sistem parkir berbasis ZigBee, yang diusulkan dalam (Qadir, Al-Turjman, Khan, & Nesimoglu, 2018). Komponen utama dari sistem ini adalah: (1) sensor IR, (2) Arduino, (3) perangkat ZigBee, dan (4) motor servo. Meskipun efisiensi dan kelebihan lain dari sistem parkir mobil berbasis jaringan ZigBee, ada tantangan dalam hal skalabilitas jaringan. Jangkauan pendek ZigBee dapat menyebabkan cakupan yang terbatas dan rentan terhadap kebutuhan layanan perawatan yang tinggi karena ketergantungan pada pasokan daya baterai untuk sensor yang digunakan.

### 4. Fuzzy Logic

Sistem parkir pintar terus melakukan perkembangan mengingat pentingnya untuk mengurangi waktu dan membuat lalu lintas yang lebih efektif. Teknologi mengimplementasikan fuzzy logic ini menjadi salah satu teknologi yang dapat dimanfaatkan pada sistem parkir pintar. Sistem yang menggunakan aturan fuzzy dapat merekomendasikan tempat parkir kepada pelanggan. Beberapa input yang menjadi bahan pertimbangan aturan ini adalah jumlah ruang parkir yang tersedia, jarak pengguna ke tempat parkir, dan perkiraan waktu untuk mencapai tempat parkir. Meskipun fuzzy logic telah banyak diterapkan, sistem ini bisa jadi sulit untuk dirancang karena kompleksitasnya, yang bisa menyulitkan saat menerapkannya. Selain itu, sistem semacam itu membutuhkan banyak pemrosesan komputer untuk menangani aturan-aturan dan perhitungan, yang bisa membuat sulit merancang sistem parkir yang efektif.

### 5. Global Positioning System (GPS)

Teknologi Global Positioning System (GPS) merupakan teknologi yang umumnya terdapat pada perangkat seluler. Dengan teknologi GPS, maka dapat mengetahui area parkir, sehingga area parkir tersebut dapat terlihat lokasinya pada peta. Banyak sistem yang telah memanfaatkan GPS, namun karena GPS hanya dapat mengetahui lokasi parkir tanpa mengetahui ketersediaan tempat parkir, maka adapun beberapa algoritma yang perlu ditambahkan untuk mengetahui ketersediaan lahan parkir tersebut, seperti algoritma Dijkstra.

### 6. Vehicular Communication

Teknologi ini termasuk baru yaitu Vehicle Ad-hoc Network, atau disingkat dengan VANET. Ide VANET ini berangkat dari memperhatikan keselamatan di jalan raya. Komunikasi

VANET ini bekerja dengan cara menghubungkan komunikasi antar kendaraan, komunikasi kendaraan dengan infrastruktur, dan komunikasi packet routing. Penulis dalam (Lu, Lin, Zhu, & Shen, 2009) telah mengusulkan sistem parkir menggunakan VANET ini. Sistem ini disebut Parkir Cerdas atau SPARK, yang bertujuan untuk menyediakan navigasi parkir real-time. Selain itu, sistem ini juga memberikan perlindungan anti-pencurian dan berbagi informasi parkir dengan kendaraan lain yang bergerak. Namun, sistem yang diusulkan tidak memungkinkan mengingat biaya implementasinya. Mahal untuk membangun infrastruktur RSU dengan setiap tempat parkir. Selain itu, spektrum frekuensi yang dialokasikan untuk komunikasi nirkabel VANET mungkin tidak tersedia di setiap negara.

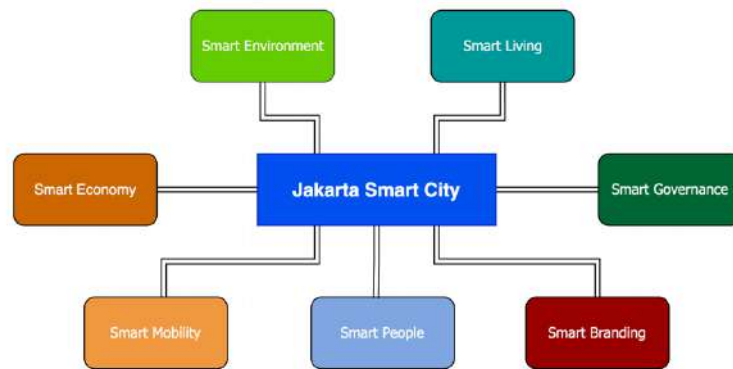
#### 7. Smartphone Sensing

Smartphone sangat berguna dengan kemampuan sensor multi-level, dan di sisi lain, jaringan seluler merata. SmartPark bekerja dengan memanfaatkan kedua hal ini. Deteksi jenis transportasi penting karena pengguna smartphone mungkin menggunakan berbagai jenis transportasi, misalnya bus, kereta, pesawat. Namun, hanya mobil, sepeda motor, sepeda yang perlu diparkir. Untuk menghindari deteksi yang salah, SmartPark menggunakan beberapa sensor smartphone: Akselerometer, Girokop, Orientasi, Sensor medan magnet, Sensor luminositas, Sensor tekanan atmosfer, dan Mikrofon. Langkah penting kedua adalah menghasilkan profil lokasi dari setiap pengguna ParkSense. Setiap kali kendaraan diparkir, pengemudi perlu memasukkan beberapa informasi parkir, misalnya nomor tempat parkir, di aplikasi. Profil lokasi terdiri dari informasi tertentu, yaitu SSID & RSSI dari titik akses WiFi, CELLID & RSSI dari BTS seluler yang melayani. SmartPark memeriksa jenis kendaraan pengguna dan mengirim permintaan ke server SmartPark untuk tempat parkir. Setelah pengguna parkir, SmartPark mulai memindai jaringan WiFi dan seluler untuk membuat profil lokasi dan kemudian menyimpannya. Saat kendaraan diparkir, SmartPark memicu deteksi mode transportasi setiap 10 detik. Setelah pengguna meninggalkan tempat parkir, SmartPark mengirim pesan ke server SmartPark untuk menandai tempat tersebut sebagai tersedia (Nawaz, Efstratiou, & Mascolo, 2013).

#### KONDISI SMART CITY DI JAKARTA

Konsep yang dikenal sebagai "kota pintar" menyoroti sebuah sistem perkotaan yang terhubung secara cerdas, yang bertujuan untuk memberikan akses cepat dan akurat kepada masyarakat terhadap informasi yang mereka butuhkan. Konsep kota pintar ini dianggap sebagai solusi untuk mengelola sumber daya secara efisien (Hasibuan & Sulaiman, 2019). Secara sederhana, kota pintar mengintegrasikan informasi langsung dengan kehidupan masyarakat perkotaan. Pemerintah Provinsi Jakarta mendirikan Jakarta Smart City pada Tahun 2016 sebagai bentuk motor utama dalam mendorong terciptanya ekosistem kota cerdas 4.0 di Jakarta. Tidak hanya menjadi tempat eksperimen untuk ide-ide baru, tetapi juga sebagai wadah sinergi yang memfasilitasi kerja sama antara warga Jakarta dan Pemerintah Provinsi DKI Jakarta.





**Gambar 2.** Indikator Jakarta Smart City

Saat ini Jakarta memiliki 7 indikator kota pintar untuk mewujudkan ekosistem smart city 4.0 di Jakarta terdiri dari *Smart Environment*, *Smart Economy*, *Smart Mobility*, *Smart People*, *Smart Branding*, *Smart Governance*, *Smart Living*.

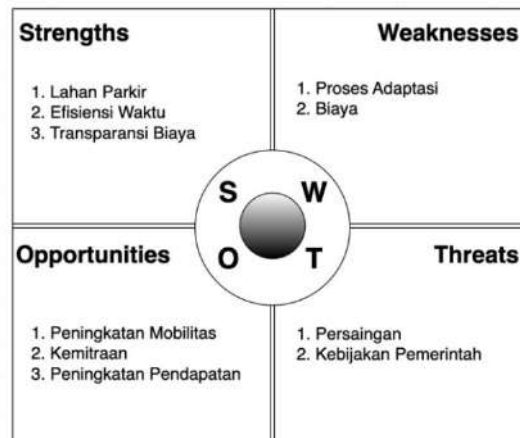
1. **Smart Environment** : Transformasi lingkungan dalam sebuah kota cerdas adalah proses yang mengubah wajah kota serta membentuk lingkungan yang lebih bersih dengan tujuan menciptakan pemukiman manusia yang lebih baik (Salleh et al., 2022). Langkah yang telah diambil Jakarta *smart city* terdiri dari pengolahan sampah, kolaborasi dengan warga untuk bantuan lingkungan, pengendalian banjir, pengurangan emisi gas buang, program sampah tanggung jawab bersama, program Jakarta *Recycle Center* (Simorangkir, 2023).
2. **Smart Economy** : Fokus pada smart economy adalah pada pengelolaan ekonomi dengan mempertimbangkan proses inovasi dan kemampuan daya saing suatu kota untuk mencapai pertumbuhan ekonomi yang lebih baik dan cerdas. Hal ini dianggap sebagai salah satu faktor kunci dalam meningkatkan pengembangan sumber daya (Saputra et al., 2022). Dalam Jakarta Smart City, terutama dalam ranah Smart Economy, upaya yang dilakukan adalah mengembangkan budaya kewirausahaan dan semangat inovasi di kalangan masyarakat untuk meningkatkan produktivitas. Contohnya adalah program-program seperti jakpraner, harga pasar di aplikasi JAKI, dan JakNaker (Sofa et al., 2022).
3. **Smart Mobility** : Menurut (Benevolo et al., 2016) dalam (Kaledi et al., 2019), Smart mobility merupakan gagasan tentang pembangunan perkotaan sebagai bagian dari konsep kota pintar yang berfokus pada pengembangan sistem transportasi berbasis teknologi informasi dan komunikasi. Dalam menghadapi tantangan kemacetan dan untuk meningkatkan mobilitas, Jakarta Smart City telah mengimplementasikan berbagai upaya, seperti pengembangan *Transit Oriented Development*, revitalisasi Halte Transjakarta, pengoperasian Bus Listrik Transjakarta, dan implementasi Sistem Pembayaran Terintegrasi Jaklingo (Sofa, 2023).
4. **Smart People** : Smart people merujuk pada penduduk perkotaan yang tidak hanya memiliki kualifikasi pendidikan yang baik, tetapi juga memperhatikan kualitas interaksi sosial mereka, yang merupakan bagian integral dari pembentukan kota cerdas yang melibatkan masyarakat yang cerdas (Aptika, 2015). Aplikasi JAKI merupakan salah satu implementasi smart people di Jakarta, dimana masyarakat berperan aktif dalam pengembangan kota Jakarta. Selain itu, JSCLab Sharing, Musrenbang, JSC Goes to School, Data Science Trainee juga merupakan program yang telah dilaksanakan oleh

Jakarta Smart City.

5. Smart Branding: Smart Branding adalah strategi pemasaran atau penamaan wilayah yang bertujuan meningkatkan daya saing perkotaan agar mampu menarik perhatian serta partisipasi dari berbagai elemen ekosistemnya, termasuk masyarakat lokal maupun dari luar daerah, pelaku bisnis, dan investor, dengan tujuan mempercepat pertumbuhan kota (Sofa et al., 2023).
6. Smart Governance : Smart Governance adalah sistem tata kelola pemerintahan yang menggunakan teknologi informasi dan komunikasi untuk meningkatkan efektivitas, efisiensi, transparansi, partisipasi, dan konektivitas antara pemerintah, warga, industri, dan pemangku kepentingan lainnya dalam proses pengambilan kebijakan. Ini melibatkan berbagai inovasi smart city seperti layanan publik digital, kebijakan berbasis data, penggunaan Master Data Management dan Big Data, pengaduan warga online, partisipasi komunitas, serta keterbukaan data (Sofa et al., 2023).
7. Smart Living : Smart City adalah lingkungan hunian pintar yang meliputi infrastruktur, ekonomi, mobilitas, komunitas, dan aspek lain yang meningkatkan kualitas layanan publik, tetapi tetap memperhatikan kebutuhan dan aspirasi kota (Arrohman et al., 2023). Contoh bentuk implementasinya di Jakarta seperti pencarian taman melalui aplikasi JAKI, taman literasi, *Jakarta future city hub*.

## ANALISA IMPLEMENTASI PARKIR PINTAR DALAM KONTEKS SMART CITY

Total jumlah kendaraan bermotor di Provinsi DKI Jakarta terus meningkat dari tahun 2020 hingga 2022, menunjukkan pertumbuhan yang signifikan. Peningkatan jumlah kendaraan pribadi sebesar 11,90%, atau setara dengan 400,592 kendaraan, dan kenaikan jumlah sepeda motor sebesar 7,20%, atau setara dengan 1,163,067 kendaraan (BPS DKI Jakarta, 2022). Dengan kecenderungan masyarakat yang lebih memilih menggunakan kendaraan pribadi daripada transportasi umum, ini menimbulkan tantangan baru bagi kota seperti Jakarta karena pemerintah diharuskan untuk menyediakan lebih banyak lahan parkir. Dengan setiap individu atau keluarga memiliki kendaraan pribadi seperti mobil, motor, atau sepeda, fasilitas parkir kendaraan menjadi semakin diperlukan (Hernikawati, 2021). Kepala Dinas Perhubungan (dishub) Jakarta mencatat bahwa selama bulan Ramadan, banyak kendaraan pribadi yang parkir di jalanan, yang berpotensi menyebabkan kemacetan. Hal ini menyoroti perlunya penanganan lebih lanjut terhadap parkir liar yang dapat mengganggu kelancaran lalu lintas dan mobilitas di kota (Ramadhan & Prihammanda, n.d.). Untuk mengatasi hal tersebut, smart parking menjadi solusi atas masalah tersebut, penulis melakukan analisa SWOT (*Strengths, weakness, opportunities, threats*) untuk menemukan peluang, tantangan dan solusi paling sesuai untuk masalah smart parking di Jakarta seperti pada Gambar 2.



**Gambar 3.** Analisis SWOT Smart Parking dalam Konteks Smart City

a. Strengths

1. Lahan Parkir

Dengan memanfaatkan teknologi, aplikasi smart parking dapat memberikan informasi real-time tentang ketersediaan lahan parkir di berbagai lokasi. Hal ini memungkinkan penggunaan lahan parkir yang ada menjadi lebih efisien, mengurangi kemungkinan terjadinya lahan parkir yang tidak terpakai sepenuhnya atau terlalu penuh.

2. Efisiensi Waktu

Dengan adanya sistem parkir yang efisien, pengguna kendaraan dapat dengan cepat menemukan tempat parkir yang sesuai, menghemat waktu yang sebelumnya dihabiskan untuk mencari tempat parkir. Hal ini berkontribusi pada produktivitas masyarakat perkotaan secara keseluruhan, karena waktu yang dihemat dapat digunakan untuk kegiatan yang lebih produktif.

3. Transparansi biaya

Dengan mengetahui biaya parkir secara transparan, pengguna dapat merencanakan anggaran mereka dengan lebih baik saat berpergian ke kota. Transparansi biaya juga dapat membantu mencegah kemungkinan biaya tersembunyi atau penipuan yang terkait dengan parkir.

b. Weakness

1. Proses Adaptasi

Beberapa masyarakat mungkin menghadapi kesulitan dalam beradaptasi dengan teknologi baru, seperti penggunaan aplikasi mobile untuk membayar parkir.

2. Biaya

Implementasi sistem parkir pintar memerlukan investasi awal yang signifikan untuk infrastruktur dan teknologi, yang mungkin menjadi hambatan bagi beberapa pemerintah kota.

c. Opportunities

1. Peningkatan Mobilitas

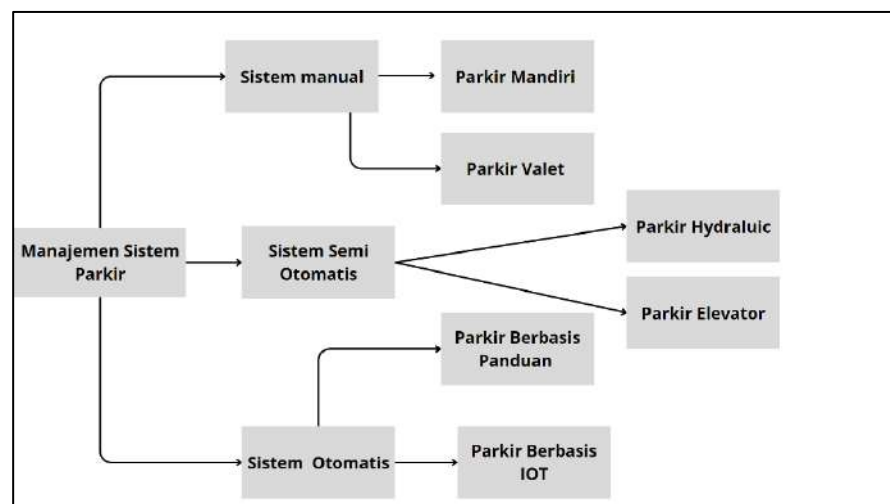
Implementasi parkir pintar dapat meningkatkan mobilitas di kota dengan mengurangi kemacetan dan waktu mencari parkir.

2. Kemitraan  
Peluang untuk kerjasama antara sektor swasta dan publik dalam pengembangan dan operasionalisasi sistem parkir pintar.
  3. Peningkatan Pendapatan  
Penggunaan teknologi parkir pintar dapat meningkatkan pendapatan daerah melalui pengelolaan parkir yang lebih efisien dan penagihan yang lebih akurat.
- d. Threats
1. Persaingan  
Persaingan dari solusi parkir tradisional atau alternatif dapat menghambat adopsi teknologi parkir pintar.
  2. Kebijakan Pemerintah  
Perubahan regulasi dan kebijakan pemerintah dapat mempengaruhi implementasi dan operasionalisasi sistem parkir pintar.
- e. Solusi yang bisa diimplementasikan:
1. Kecukupan kebutuhan mesin e-parking yang memadai, pemeliharaan mesin secara berkala dan kerjasama dengan perbankan
  2. Kecukupan kebutuhan jukir sesuai dengan analisa kebutuhan
  3. Tersedianya papan informasi, tarif dan marka rambu yang informatif
  4. Penyediaan atribut dan peralatan pendukung jukir.

## SISTEM PARKIR TITIK TERDEKAT

### Pengertian Sistem Parkir

Konsep Smart City telah diusulkan untuk menangani masalah kemacetan dan polusi kendaraan diberbagai belahan dunia termasuk khususnya Jakarta, Indonesia. Pembangunan parkir untuk lahan terbatas secara besar dilakukan di bawah tanah dari bangunan gedung. Karena kurangnya cahaya pada suatu gedung dibutuhkan sumber listrik yang besar untuk menerangi parkiran yang luas. Hal tersebut mengakibatkan pemborosan energi. Diketahui sistem parkir sendiri dibagi menjadi beberapa bagian:



**Gambar 4.** Sistem Parkir Kendaraan

### 1. Sistem Manual

Parkir manual sendiri merupakan parkir yang dilakukan melibatkan manusia secara utuh. Parkir Valet merupakan contoh sistem parkir manual yang masih dilakukan hingga saat ini. Masih banyak masalah yang ditimbulkan akibat dari parkir manual yaitu biaya yang dikeluarkan cukup banyak, selain itu banyak slot kosong yang masih harus dideteksi secara manual.

## 2. Sistem Semi Otomatis

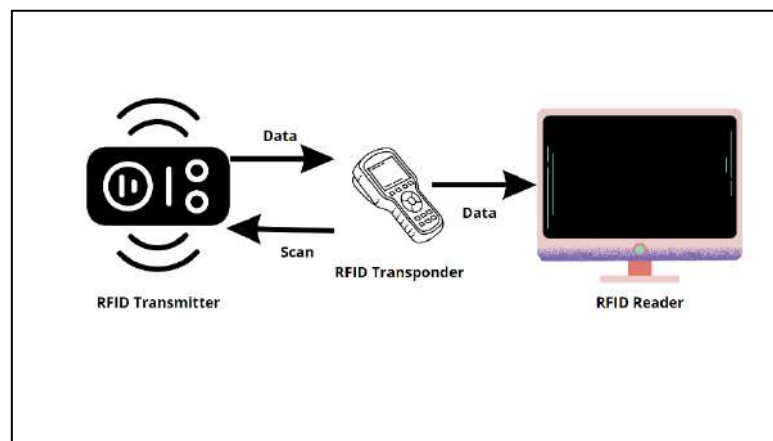
Pengertian dari parkir Semi Otomatis merupakan parkir yang dilakukan melibatkan teknologi dan manusia. Seperti contohnya parkir Hydraulic dan Elevator merupakan contoh parkir semi otomatis.

## 3. Sistem Otomatis

Parkir otomatis merupakan sistem parkir yang sepenuhnya dilakukan oleh teknologi. Contoh parkir otomatis yaitu parkir menggunakan teknologi IOT dan Guide Sistem. Kelebihan yang didapatkan dari parkir otomatis yaitu: Informasi terkait slot parkir yang masih tersedia, Navigasi otomatis melalui sistem serta Pemantauan dan keamanan.

### Arsitektur Pencarian Lahan Parkir

Berbagai pendekatan IOT dilakukan salah satunya Radio Frequency Identification (RFID) merupakan teknologi identifikasi berbasis gelombang radio, salah satu solusi dalam pengembangan teknologi dengan memanfaatkan identifikasi. RFID dibagi menjadi tiga yaitu RFID Tag yang biasa disebut dengan transponder, RFID Reciver, dan RFID interogator. RFID Tag yang berisi data, diletakan pada objek parkir atau gate untuk mengidentifikasi lahan parkir yang kosong sehingga pengguna tidak perlu berkeliling untuk mencari slot parkir yang kosong.



**Gambar 5.** Sistem RFID Pada Sistem Parkir Cerdas

Cara kerja RFID untuk mengidentifikasi kendaraan secara otomatis saat memasuki maupun meninggalkan lahan parkir. Cara kerja umum RFID untuk parkir cerdas diantaranya:

### 1. Pemasangan Tag (Transmitter)

Kendaraan yang menggunakan RFID akan dipasang Tag. Tag tersebut akan dipasang pada area yang mudah dideteksi oleh pembaca, seperti di area kaca depan

## 2. RFID Reader

Pembaca RFID dapat dipasang pada gerbang keluar maupun gerbang masuk, RFID Reader akan membaca RFID Tag yang terpasang pada kendaraan

## 3. Pengidentifikasi Kendaraan

Setelah skema RFID Reader membaca RFID tag yang terpasang pada kendaraan maka sistem akan melakukan identifikasi informasi kendaraan. Informasi kendaraan tersebut berupa nomor unik atau data unik lain terkait kendaraan yang masuk ke area parkir.

## Near Field Communication (NFC)

Near Field Communication (NFC) merupakan teknologi komunikasi nirkabel yang digunakan untuk penukaran data melalui perangkat elektronik yang saling berdekatan. Teknologi NFC sendiri didasarkan dengan standar ISO/IEC 18092. Teknologi NFC dimaksudkan untuk mengurangi resiko intersepsi data yang rendah. NFC bermanfaat untuk mengganti tiket parkir yang sebelumnya berupa kertas menjadi digital, penyimpanan data juga tidak mudah hilang atau rusak. Informasi dari teknologi NFC memiliki beberapa fungsi dalam sistem parkir pintar:

### 1. Pembayaran Parkir Tanpa Kontak langsung

NFC dapat memungkinkan pengguna parkir untuk melakukan pembayaran parkir tanpa adanya kontak langsung dengan pusat terminal pembayaran parkir. Pada skemanya pengguna dapat menggunakan perangkat NFC seperti smartphone maupun kartu NFC untuk melakukan pembayaran dengan mendekatkan ke alat pembaca NFC.

### 2. Otentikasi Akses NFC

NFC memungkinkan menjadi alat otentikasi akses pada area parkir. Kartu NFC dapat digunakan untuk membuka palang pintu masuk maupun keluar pembatas parkir secara otomatis.

### 3. Pemantauan Area Parkir

Pada saat pengguna parkir meninggalkan maupun memasuki area parkir, sistem dapat mencatat waktu kedatangan maupun waktu meninggalkan area parkir dengan memindai perangkat yang terpasang NFC.

### 4. Terintegrasi dengan aplikasi

Beberapa aplikasi sudah banyak yang melakukan integrasi dengan NFC untuk memudahkan pengguna layanan dalam melakukan pembayaran. Seperti aplikasi banking maupun aplikasi E-Parking.

Dengan memanfaatkan NFC untuk sistem parkir, pengguna dapat dengan lebih nyaman dan aman karena memungkinkan pengelola untuk memantau maupun mengelola penggunaan lahan parkir secara efisien.

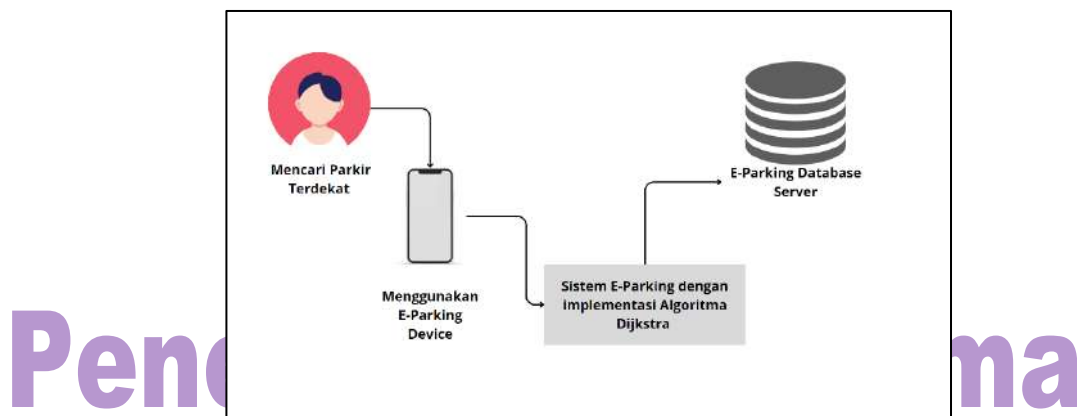
## Algoritma Penentu Titik Terdekat

Pada praktiknya pendekatan algoritma titik terdekat menuju titik lokasi yang ditentukan pada pemetaan GIS untuk mencari lahan parkir juga diperlukan. Pemilihan rute terpendek menjadi perhatian pada saat ini, karena fokus pemilihan rute terpendek melibatkan waktu mencapai titik tujuan, biaya, dan jarak. Beberapa pendekatan dilakukan untuk membandingkan algoritma pencarian titik terdekat diantaranya algoritma Greedy, A-Star, dan Dijkstra (Wayahdi et al., 2021). Berdasarkan perbandingan tiga algoritma Greedy, A-Star, dan Dijkstra. Algoritma Greedy dapat bekerja secara cepat dalam mencari rute terdekat, namun kurang optimal dalam



mempertimbangkan sub-solusi secara optimal. Algoritma A-Star dinilai lebih baik dibandingkan algoritma Greedy namun, algoritma ini cenderung memerlukan data kompleks karena menggunakan fungsi heuristik. Algoritma terakhir yaitu Algoritma Dijkstra dinilai lebih baik dibandingkan kedua algoritma lainnya karena dapat bekerja secara optimal. Cara kerja Algoritma Dijkstra mencari rute terpendek berdasarkan tepi bobot non-negatif. Pada beberapa kasus algoritma Dijkstra cenderung memerlukan kompleksitas waktu yang tinggi.

Beberapa penelitian melakukan perbandingan algoritma A\* dan Dijkstra dalam pencarian rute terpendek ke pusat kesehatan pada saat pandemi Covid-19 (Ali et al., n.d.). Pada praktiknya pencarian jalur terpendek untuk jalur lalu lintas sangat berperan penting. Sistem navigasi membantu membuat keputusan berdasarkan jalur lalu lintas terpendek dan juga memberikan jalur alternatif. Algoritma bekerja di dalam graf dari satu simpul ke simpul tujuan, ketika mencapai jalur terpendek maka algoritma akan berhenti (Makariye Neha, n.d.). Pada Gambar 6. merupakan arsitektur yang diusulkan dapat membangun parkir terintegrasi dengan menerapkan algoritma Dijkstra.



**Gambar 6.** Arsitektur Perancangan Algoritma Dijkstra Pada Sistem E-Parking

Informasi mengenai parkir dapat diakses sesuai kebutuhan menggunakan aplikasi E-Parking melalui perangkat pribadi pengguna. Kemudian tempat-tempat parkir terdekat dilacak melalui peta berdasarkan titik terdekat melalui algoritma Dijkstra. E-Parking database server akan menyimpan terkait informasi-informasi parkir terdekat.

## STUDI KASUS: IMPLEMENTASI PARKIR PINTAR

Beberapa studi kasus implementasi parkir pintar dilakukan untuk meninjau keberhasilan parkir pintar yang akan diimplementasikan.

### A. Implementasi Parkir Pintar di Kota Lain

#### 1. Kota Bandung

Pada tahun 2016, Kota Bandung memulai pemasangan mesin parkir elektronik sebagai solusi untuk masalah parkir yang serius, termasuk parkir liar dan pengelolaan retribusi parkir yang tidak efektif (Nurani, 2017). Pada akhir Desember 2016, Dinas Perhubungan Kota Bandung memasang 445 mesin parkir elektronik dengan dana sebesar Rp.55 miliar, yang terpasang di 211 lokasi di seluruh kota (Ispranoto, 2018). Cara kerja mesin ini adalah, pengguna memilih jenis kendaraan yang ingin diparkir dan memasukkan durasi parkir yang diinginkan. Mesin akan mengeluarkan tiket parkir secara otomatis setelah proses ini selesai. Selanjutnya, pengguna dapat membayar

biaya parkir dengan kembali ke mesin dan menggunakan kartu pembayaran elektronik. Gambar 3 menunjukkan mesin parkir otomatis.



**Gambar 7.** Mesin Parkir Bandung (Ispranoto, 2018)

Hasil evaluasi dari mesin parkir di Bandung menunjukkan bahwa penerapan mesin parkir elektronik di Kota Bandung sebagai bagian dari smart city belum terealisasi secara optimal, dilihat dari berbagai aspek seperti penggunaan mesin parkir, sistem pembayaran yang masih manual, dan target peningkatan retribusi parkir yang jauh dari target Pendapatan Asli Daerah (PAD) Kota Bandung (Suherman, 2020). Untuk itu, perlu langkah perbaikan seperti kajian penempatan mesin, peningkatan sumber daya manusia, dan sosialisasi secara masif.

## 2. Kementerian PUPR

Salah satu contoh implementasi teknologi smart parking di Kementerian PUPR adalah di gedung Kantor Pusat Kementerian PUPR di Jakarta. Teknologi ini dibuat atas dasar mengatasi permasalahan keterbatasan lahan di Jakarta. Ilustrasi parkir pintar digambarkan pada Gambar 4.



**Gambar 8.** Ilustrasi Smart Parking Kementerian PUPR (Arbi, 2022)

Teknologi ini dilengkapi dengan fitur pengenalan nomor kendaraan (ANPR) yang mendeteksi masuk dan keluar kendaraan dari area parkir. Informasi tentang ketersediaan tempat parkir ditampilkan di layar luar gedung. Pengemudi hanya perlu menyerahkan mobilnya di titik yang ditentukan, di mana mesin akan menyimpannya di ruang parkir yang tersedia, yang dipilih oleh sistem komputerisasi berdasarkan informasi yang diberikan (Ashari, 2023).

### 3. Jepang

Parkir otomatis berlantai banyak, yang memindahkan mobil ke tempat parkir secara otomatis, umum di Jepang. Dengan peningkatan penggunaan mobil, kemacetan lalu lintas parah terjadi, dan parkir liar di tepi jalan meningkat drastis. Sebagai solusi untuk masalah parkir di negara dengan lahan terbatas, jumlah fasilitas parkir otomatis terus bertambah (Japan, 2017).

Penerbit Gunadarma



**Gambar 9.** Hi-Tech Bicycle Parking (Japan, 2017)

Gambar 9. menunjukkan metode parkir sepeda dengan teknologi Smart Parking yang telah diimplementasikan di Jepang. Teknologi ini memungkinkan pengguna untuk dengan mudah menemukan dan memarkirkan sepeda mereka melalui aplikasi seluler atau terminal khusus. Dengan sistem ini, pengguna dapat menghemat waktu dan mengurangi kerumitan dalam mencari tempat parkir yang tersedia.

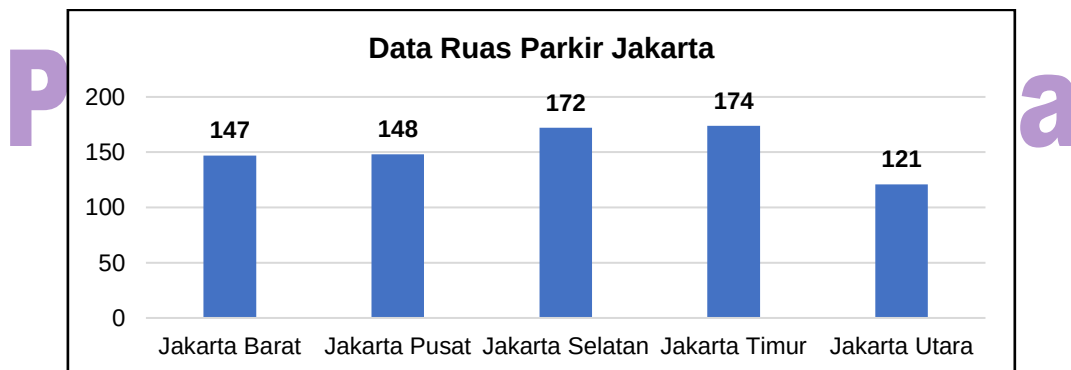


**Gambar 10.** Automated Parking System (Japan, 2017)

Selain itu, mengingat tingginya jumlah pengguna mobil pribadi di Jepang dan keterbatasan lahan parkir yang semakin mendesak, diperlukan sebuah solusi baru.

## B. Hasil Implementasi Parkir Pintar di Jakarta

Menurut data yang dirilis oleh BPS, Jakarta memiliki 762 ruas parkir yang dikelola oleh unit pengelola (UP) perparkiran. Terdiri dari Jakarta Barat 147 titik, Jakarta Pusat 148 titik, Jakarta Selatan 172 titik, Jakarta Timur 174, Jakarta Utara 121 titik (BPS DKI Jakarta, 2023). Perbandingan antar kota Jakarta dapat dilihat pada Gambar 7.



**Gambar 11.** Data Ruas Parkir Provinsi DKI Jakarta

Selain itu, jumlah bangunan yang memiliki IMB pada tahun 2020 adalah 6.798, meningkat menjadi 10.131 pada tahun 2021 (BPS, 2022). Kenaikan jumlah bangunan ini dapat berdampak pada peningkatan permintaan akan fasilitas parkir di sekitar area tersebut. Penerapan solusi parkir konvensional membutuhkan lebih banyak tenaga kerja jika dibandingkan dengan smart parking. Solusi smart parking memberikan kenyamanan bagi pengguna parkir dalam menemukan tempat parkir untuk kendaraan mereka dan memungkinkan reservasi sebelumnya. Ini merupakan keunggulan yang tidak dimiliki oleh sistem parkir konvensional yang mengharuskan pengguna datang langsung dan mencari tempat parkir yang tersedia (Hernikawati, 2021). Selain itu, tingkat keamanan smart parking juga lebih tinggi dibandingkan dengan parkir konvensional. Telah dilakukan penelitian tentang parkir pintar di Jakarta yang menjelaskan penggunaan IoT dalam sistem parkir. Mulai dari pemesanan parkir, tiket tanpa kertas, pembayaran non-tunai, hingga parkir berpemandu otomatis, semuanya telah dijelaskan. Implementasi sistem ini telah diuji coba di beberapa mal di Jakarta Selatan (Mufaqih et al., 2020b).

Sektor transportasi merupakan yang pertama dalam memperkenalkan IoT kepada masyarakat umum. Ini karena transportasi, sebagai layanan publik yang langsung dirasakan oleh banyak orang, melibatkan mobilitas, sehingga IoT dalam transportasi berhubungan dengan jaringan teknologi nirkabel (Sriratnasari et al., 2019). Untuk menambah optimalisasi penerapan smart parking, pemerintah dapat mengembangkan pengolahan citra atau visi komputer untuk mendeteksi kendaraan. Penggunaan sistem pengolahan citra atau visi komputer untuk mendeteksi kendaraan membutuhkan jumlah sensor yang lebih sedikit, tetapi memerlukan biaya instalasi yang tinggi karena kebutuhan akan jaringan kamera. Namun, setelah terpasang, biasanya mereka memerlukan perawatan yang minim (Channamallu et al., 2023). Dengan menggunakan teknologi seperti Internet of Things (IoT), aplikasi parkir pintar dapat membantu pengguna untuk menemukan tempat parkir yang tersedia secara real-time, mengurangi kemacetan dan waktu yang terbuang akibat mencari tempat parkir. Selain itu, data tentang jumlah ruas parkir yang dikelola oleh UP perpajakan juga dapat diintegrasikan ke dalam sistem smart parking untuk meningkatkan pengelolaan dan efisiensi penggunaan ruang parkir secara keseluruhan. Biaya operasional jangka panjang untuk smart parking cenderung lebih rendah dibandingkan dengan biaya operasional parkir konvensional, membuatnya lebih menguntungkan secara finansial.

### C. Indikator Keberhasilan Pada Aspek Ekonomi Sosial

Dalam mengembangkan smart parking, evaluasi menjadi sangat penting, terutama dalam konteks dampaknya pada aspek ekonomi dan sosial. Evaluasi ini akan membantu dalam memahami efektivitas sistem parkir pintar tersebut serta kontribusinya terhadap pertumbuhan ekonomi dan kesejahteraan sosial masyarakat. Tabel 1 menggabungkan indikator keberhasilan pada pengembangan smart parking di Jakarta khususnya pada aspek ekonomi dan sosial serta metode yang dapat dilakukan pada proses evaluasi dukungan *smart parking* terhadap Jakarta *smart city*.

**Tabel 1. Indikator Keberhasilan Pengembangan Smart Parking dalam Mendukung Smart City**

| Aspek   | Indikator Keberhasilan         | Relevansi                                                                         | Metode                                                                                                          |
|---------|--------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Ekonomi | Peningkatan PAD                | Meningkatkan pendapatan pemerintah daerah untuk pembangunan dan pelayanan publik. | Analisis pertumbuhan Pendapatan Asli Daerah dari sektor parkir, seperti pajak dan retribusi.                    |
|         | Pengaruh Pendapatan Masyarakat | Meningkatkan daya beli masyarakat dan kontribusi ekonomi secara keseluruhan.      | Survei untuk mengukur perubahan dalam pendapatan dan pengeluaran masyarakat setempat terkait penggunaan parkir. |
| Sosial  | Tingkat Kepuasan               | Mencerminkan kualitas layanan dan kepuasan pengguna secara keseluruhan.           | Survei kepuasan pengguna dan analisis umpan balik dari pelanggan parkir.                                        |
|         | Penyerapan Tenaga Kerja        | Menciptakan lapangan kerja dan kesempatan ekonomi bagi masyarakat setempat.       | Analisis data jumlah pekerja yang terlibat dalam manajemen dan pengelolaan area parkir.                         |

Dampak ekonomi merupakan salah satu indikator kunci yang dapat digunakan untuk mengevaluasi keberhasilan pengembangan smart parking di Jakarta. Penerapan ini sudah diterapkan di Kota Bandung dan Kota Medan. Pada Kota Bandung, target penerimaan retribusi parkir pada tahun 2017 adalah sebesar 140 miliar rupiah, namun hanya tercapai sekitar 5 miliar rupiah, atau sekitar 5% dari target yang ditetapkan (Nurmawan et al., 2019). Sementara itu, di



Kota Medan, implementasi parkir elektronik bertujuan untuk meningkatkan Pendapatan Asli Daerah (PAD) Kota Medan telah tercapai, sebagian karena adanya target setoran minimum yang harus dicapai oleh para penjaga parkir setiap hari (Ivana & Mohammad Ridwan, 2023). Selain itu, pemerintah Provinsi DKI Jakarta dapat mengukur pengaruh pendapatan masyarakat terhadap pengembangan *Smart Parking*. Hal ini bisa dilakukan dengan mengumpulkan survei serta data untuk mengetahui daya beli masyarakat Jakarta. Evaluasi ini akan membantu memahami sejauh mana pengembangan *Smart Parking* telah memberikan kontribusi terhadap peningkatan daya beli dan kesejahteraan masyarakat setempat. Untuk menilai dampak sosial terhadap masyarakat Provinsi DKI Jakarta, pemerintah perlu memperhatikan aspirasi warga, baik yang bersifat negatif maupun positif. Hal ini penting untuk mengukur sejauh mana tingkat penerimaan dan pemahaman masyarakat terhadap pengembangan *Smart Parking*. Evaluasi ini juga dapat membantu menentukan apakah upaya sosialisasi yang telah dilakukan sudah memadai atau memerlukan langkah-langkah tambahan. Dengan demikian, tindakan ini dapat mencegah potensi penolakan terhadap perkembangan teknologi di kalangan masyarakat. Harapannya bukan hanya mengembangkan pusat pengelolaan pemerintah, tetapi juga memberikan peluang penyerapan tenaga kerja bagi warga sekitar melalui pengembangan smart parking. Hal ini akan mendukung pertumbuhan ekonomi lokal dan meningkatkan kesejahteraan masyarakat secara keseluruhan. Hasil dari evaluasi ini akan memberikan pemahaman yang lebih baik tentang keberhasilan implementasi smart parking di Jakarta serta dampaknya terhadap masyarakat dan ekonomi kota tersebut. Ini akan menjadi dasar untuk penyempurnaan dan pengembangan lebih lanjut dari sistem parkir pintar di masa depan.

### 1. Analisis Terhadap Hasil Implementasi

Penerapan sistem parkir pintar di berbagai kota telah menunjukkan hasil yang menjanjikan dalam mengatasi tantangan parkir dan meningkatkan efisiensi. Kota-kota seperti Bandung telah berhasil memasang mesin parkir elektronik untuk mengatasi masalah seperti parkir ilegal dan pengelolaan biaya parkir yang tidak efektif. Proses otomatis mengeluarkan tiket parkir dan menerima pembayaran elektronik telah merampingkan pengalaman parkir bagi pengguna. Inisiatif parkir cerdas memiliki potensi untuk meningkatkan mobilitas perkotaan dan mengurangi kemacetan lalu lintas. Dengan memanfaatkan teknologi seperti Transit Oriented Development dan bus listrik, kota dapat meningkatkan sistem transportasi. Sistem pembayaran terintegrasi seperti Jaklingo berkontribusi pada pengalaman parkir yang mulus bagi penghuni dan pengunjung. Namun, tantangan yang terkait dengan literasi digital dan masalah privasi harus diatasi untuk adopsi luas solusi parkir pintar.

Mendidik pengguna tentang fitur aplikasi parkir pintar dapat meningkatkan kegunaan mereka. Memastikan privasi dan keamanan data dalam sistem parkir pintar sangat penting untuk membangun kepercayaan di antara pengguna dan menjaga informasi sensitif. Pemantauan dan evaluasi berkelanjutan dari implementasi parkir pintar sangat penting untuk menilai efektivitasnya dan mengidentifikasi area untuk perbaikan. Melakukan penilaian rutin dapat membantu kota mengoptimalkan operasi parkir dan meningkatkan kepuasan pengguna. Mekanisme umpan balik harus dibentuk untuk mengumpulkan masukan dari para pemangku kepentingan dan memasukkan saran untuk meningkatkan sistem parkir cerdas.



2. Perbandingan dengan Metode Konvensional

Berikut adalah perbandingan antara sistem parkir pintar dan metode parkir konvensional dari berbagai aspek:

Table 2. Perbandingan Sistem Parkir Pintar dengan Metode Konvensional

| Aspek                      | Sistem Parkir Pintar                                            | Metode Parkir Konvensional                  |
|----------------------------|-----------------------------------------------------------------|---------------------------------------------|
| Teknologi                  | NFC dan ANPR untuk manajemen parkir                             | Proses manual untuk tiket dan pembayaran    |
| Informasi <i>Real-time</i> | Tersedia melalui aplikasi seluler                               | Tidak tersedia, bergantung pada tanda fisik |
| Pembayaran                 | Melalui aplikasi seluler terintegrasi                           | Proses manual                               |
| Waktu Pencarian            | Singkat, dengan panduan real-time                               | Panjang, dengan pemeriksaan manual          |
| Integrasi Aplikasi         | Terintegrasi dengan perbankan dan E-Parking                     | Tidak terintegrasi                          |
| Efisiensi Pengelolaan      | Optimalisasi pemanfaatan ruang dengan teknologi NFC             | Tidak ada optimasi teknologi                |
| Dampak Lingkungan          | Mendukung mobilitas berkelanjutan dengan fitur ramah lingkungan | Mengabaikan dampak lingkungan               |

7. Diskusi tentang Tantangan yang Dihadapi

A. Tantangan Integrasi Teknologi

Mengintegrasikan teknologi canggih seperti NFC dan ANPR ke dalam infrastruktur yang ada menimbulkan tantangan dalam hal kompatibilitas dan kompleksitas sistem. Memastikan komunikasi yang mulus antara komponen dan sistem yang berbeda sangat penting untuk keberhasilan penerapan solusi parkir pintar.

B. Kelangsungan Keuangan dan Keberlanjutan

Investasi awal dan biaya pemeliharaan berkelanjutan dari sistem parkir pintar dapat menjadi signifikan. Memastikan kelangsungan finansial sistem ini melalui penghasil pendapatan dan operasi hemat biaya adalah tantangan utama. Mengembangkan model bisnis yang berkelanjutan dan mengeksplorasi kemitraan dengan sektor swasta sangat penting untuk kesuksesan jangka panjang.

C. Persaingan dengan Metode Parkir Konvensional

Persaingan dari solusi parkir tradisional yang sudah lebih dikenal dan digunakan oleh masyarakat menjadi tantangan lain. Pengguna yang sudah terbiasa dengan sistem parkir konvensional mungkin enggan untuk beralih ke sistem yang baru. Untuk itu, diperlukan upaya lebih dalam mempromosikan keunggulan dan manfaat dari sistem parkir pintar dibandingkan metode konvensional.

D. Adopsi Pengguna dan Perubahan Perilaku

Mendorong adopsi pengguna solusi parkir pintar dan mempromosikan perubahan perilaku menuju praktik transportasi yang lebih berkelanjutan menghadirkan tantangan. Mendidik

masyarakat tentang manfaat parkir pintar, mengatasi kekhawatiran pengguna tentang privasi data, dan memberi insentif kepada kebiasaan parkir ramah lingkungan sangat penting untuk penerimaan dan pemanfaatan secara luas.

#### **E. Masalah Efisiensi Operasional**

Mempertahankan efisiensi operasional dalam sistem parkir pintar memerlukan pelatihan yang memadai untuk staf dan pemantauan kinerja sistem secara berkelanjutan. Tantangan mungkin timbul dalam mengoptimalkan pemanfaatan ruang parkir dan memastikan pengalaman pengguna yang lancar, yang memerlukan strategi manajemen proaktif.

## **KESIMPULAN**

Pentingnya implementasi sistem parkir pintar di Jakarta sebagai bagian dari inisiatif kota pintar (smart city). Sistem parkir pintar menawarkan keuntungan signifikan dibandingkan metode parkir konvensional melalui penggunaan teknologi canggih yang memanfaatkan teknologi Radio Frequency Identification (RFID), Near Field Communication (NFC), Cloud, dan seluler penting untuk meningkatkan efisiensi pengelolaan parkir dengan mendeteksi titik terdekat dengan implementasi Sistem Cerdas.

Tantangan yang dihadapi dalam implementasi ini meliputi adaptasi teknologi oleh masyarakat, biaya tinggi untuk pemasangan infrastruktur, perubahan kebijakan pemerintah, persaingan dengan metode parkir tradisional, keterbatasan infrastruktur, serta isu keamanan dan privasi data. Solusi yang disarankan mencakup edukasi dan sosialisasi kepada masyarakat, alokasi anggaran yang memadai, kebijakan pemerintah yang mendukung, promosi keunggulan sistem parkir pintar, peningkatan infrastruktur, serta perlindungan data pengguna dan pengembangan sumber daya manusia yang kompeten.

Secara keseluruhan, Integrasi teknologi ini diharapkan dapat mengurangi kemacetan lalu lintas dan mendukung transformasi menjadi smart city di Jakarta yang menyediakan informasi real-time tentang ketersediaan parkir dan mempermudah proses pembayaran melalui aplikasi seluler.

## **REKOMENDASI KEBIJAKAN**

Parkir pintar dapat berjalan selain melakukan regulasi kebijakan parkir program edukasi dan sosialisasi menjadi kunci penting dalam mendorong penerimaan masyarakat terhadap teknologi baru seperti sistem parkir pintar. Melalui kampanye informasi yang menyeluruh, baik melalui media sosial, seminar, maupun lokakarya, diharapkan dapat meningkatkan pemahaman dan penerimaan masyarakat terhadap konsep dan manfaat dari sistem parkir pintar. Selain itu, Investasi berkelanjutan menjadi faktor krusial dalam keberlangsungan infrastruktur parkir pintar. Kolaborasi antara pemerintah dan sektor swasta menjadi kunci dalam memastikan adanya investasi yang berkelanjutan meliputi alokasi dana untuk perangkat keras, perangkat lunak, dan pelatihan tenaga kerja agar infrastruktur parkir pintar dapat terus beroperasi dan berkembang seiring waktu.

Pengembangan sumber daya manusia menjadi aspek penting dalam memastikan keberhasilan implementasi sistem parkir pintar. Pelatihan dan pengembangan sumber daya manusia yang kompeten dalam bidang teknologi informasi dan manajemen parkir diperlukan untuk memastikan bahwa sistem parkir pintar dikelola dengan baik dan memberikan layanan optimal

kepada pengguna. Selain itu, peningkatan infrastruktur yang ada juga menjadi prioritas dalam mengoptimalkan operasional sistem parkir pintar. Hal ini mencakup peningkatan jaringan internet yang stabil dan pemasangan sensor parkir yang memadai. Dengan demikian, melalui pendidikan dan sosialisasi yang komprehensif, investasi berkelanjutan, pengembangan sumber daya manusia, dan peningkatan infrastruktur, diharapkan implementasi sistem parkir pintar dapat berjalan lancar dan memberikan manfaat maksimal bagi masyarakat serta mendukung kemajuan menuju Smart City yang lebih berkelanjutan.

## DAFTAR PUSTAKA

- Ali, H., Alasadi, A., Talib Aziz, M., Dhiya, M., & Abdulmajed, A. (n.d.). *A Network Analysis for Finding the Shortest Path in Hospital Information System with GIS and GPS*. <https://doi.org/10.23977/jnca.2020.050103>
- Aptika. (2015). *Dari Internet Of Thing Menuju Smart City dan Smart People*. Aptika Kominfo. <https://aptika.kominfo.go.id/2015/12/dari-internet-of-thing-menuju-smart-city-dan-smart-people/>
- Arbi, I. (2022). *Menengok Inovasi Perparkiran di Kementerian PUPR, Mobil-mobil Disusun bak Menara dengan Bantuan Mesin*. Kompas.Com.
- Arrohman, Z. D., Andriani, W., & Gunawan. (2023). Analisis Penerapan Smart Living Dalam Pembangunan Smart City Di Kota Tegal. *Jurnal Cahaya Mandalika*, 4(2), 347–356.
- Ashari, M. (2023). *Menilik Inovasi Smart Parking di Kementerian PUPR*. Kninght Frank. <https://kfmap.asia/blog/menilik-inovasi-i-smart-parking-i-di-kementerian-pupr/2503>
- Benevolo, C., Dameri, R. P., & D'Auria, B. (2016). *Smart Mobility in Smart City BT - Empowering Organizations* (T. Torre, A. M. Braccini, & R. Spinelli, Eds.; pp. 13–28). Springer International Publishing.
- BPS. (2022). *Jumlah IMB, Bangunan dan Luas Bangunan DKI Jakarta*.
- BPS DKI Jakarta. (2022). *Jumlah Kendaraan Bermotor Menurut Jenis Kendaraan (unit) di Provinsi DKI Jakarta*. In *BPS DKI Jakarta*.
- BPS DKI Jakarta. (2023). *Filed Data Data Ruas Parkir di Provinsi DKI Jakarta yang Dikelola Oleh Unit Pengelola (UP) Perparkiran*.
- Channamallu, S. S., Kermanshachi, S., Rosenberger, J. M., & Pamidimukkala, A. (2023). A review of smart parking systems. *Transportation Research Procedia*, 73(November), 289–296. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2023.11.920>
- Hartawan, M. S., Putra, A. S., & Muktiono, A. (n.d.). Smart City Concept for Integrated Citizen Information Smart Card or ICISC in DKI Jakarta. In *International Journal Of Science*. <http://ijstm.inarah.co.id>
- Hasibuan, A., & Sulaiman, O. K. (2019). Smart Cit, Konsep Kota Cerdas Sebagai Alternatif Penyelesaian Masalah Perkotaan Kabupaten/Kota, di Kota-Kota Besar Provinsi Sumatera Utara. *Buletin Utama Teknik*, 14(2), 127–135.
- Hernikawati, D. (2021). Perbandingan Solusi Parkir Konvensional dengan Smart Parking. *Majalah Semi Ilmiah Populer Komunikasi Massa*, 2(2), 118–130.
- Ispranoto, T. (2018). *Lima Bulan Beroperasi Mesin Parkir Bandung Hasilkan Rp 1,4 M*. Detik News. <https://news.detik.com/berita-jawa-barat/d-3985935/lima-bulan-beroperasi-mesin-parkir-bandung-hasilkan-rp-1-4-m>
- Ivana, I. R., & Mohammad Ridwan. (2023). Efektivitas Penggunaan Sistem Parkir Elektronik (E-Parking) Dalam Mewujudkan Smart City di Kota Medan. *Jurnal Administrasi Publik*, 19(2), 276–297. <https://doi.org/10.52316/jap.v19i2.184>
- Japan, W. (2017). *HIDDEN LIKE SECRET BASES – AUTOMATED MULTISTORY PARKING FACILITIES*. Web Japan : Trends in Japan.
- Kaledi, S., Herwangi, Y., & Dewanti. (2019). Strategi Pengembangan Smart Mobility Berbasis Transportasi Publik Di Kota Yogyakarta. *REGION: Jurnal Pembangunan Wilayah Dan Perencanaan Partisipatif*, 14, 113–123.
- Makariye Neha. (n.d.). 06. *Towards Shortest Path Computation using*.

- Mufaqih, M. S., Kaburuan, E. R., & Wang, G. (2020a). Applying smart parking system with internet of things (IoT) design. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 725(1). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/725/1/012095>
- Mufaqih, M. S., Kaburuan, E. R., & Wang, G. (2020b). Applying smart parking system with internet of things (IoT) design. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 725(1). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/725/1/012095>
- Nurani, K. (2017). Mesin parkir elektronik sebagai wujud dari smart city di kota bandung. *Jurnal Ilmu Sosial Dan Ilmu Politik*, 7(2), 63–80.
- Nurmawan, A. R., Saadah, K., & Suwondo, S. (2019). Analisis Efektivitas Program Terminal Parkir Elektronik Sebagai Perwujudan Smart City Kota Bandung. *Prosiding Industrial Research Workshop and National Seminar*, 10(1), 1274–1284.
- Ramadhan, B., & Prihammanda, B. (n.d.). *Dishub: Jalanan di Jakarta Bakal Jadi Tempat Parkir Jika Kemacetan tak Diatasi*.
- Rifai, A. I., Wibowo, T., Isradi, M., & Mufhidin, A. (2020). *Attribution 4.0 International (CC BY 4.0) On-Street Parking and Its Impact on Road Performance: Case Comersil Area in Jakarta City*. <http://world.journal.or.id/index.php/wjce>
- Salleh, M., Fahmy-Abdullah, M., Sufahani, S., & Ali, M. (2022). *Smart Cities with Smart Environment* (pp. 273–283). [https://doi.org/10.1007/978-981-16-7597-3\\_22](https://doi.org/10.1007/978-981-16-7597-3_22)
- Saputra, D. A. D., Kismartini, K., Dwimawanti, I. H., & Afrizal, T. (2022). Mewujudkan Semarang Hebat melalui Smart City (Studi Kasus pada Dimensi Smart Economy Kota Semarang). *Perspektif*, 11(3), 1043–1049. <https://doi.org/10.31289/perspektif.v11i3.6273>
- Simorangkir, E. (2023). *Smart Environment: Cara Cerdas Mengelola Lingkungan Jakarta*. Jakarta Smart City. <https://smartcity.jakarta.go.id/id/blog/smart-environment-cara-cerdas-mengelola-lingkungan-jakarta/>
- Sofa, A. (2023). *Smart Mobility: Bagaimana Jakarta Menerapkan Smart Mobility?* Jakarta Smart City: Smart Mobility. <https://smartcity.jakarta.go.id/id/blog/bagaimana-jakarta-menerapkan-smart-mobility/>
- Sofa, A., Batubara, R., & Gagat, A. (2022). *Membedah Smart Economy dan Manfaatnya Buat Jakarta*. Jakarta Smart City: Smart Economy. <https://smartcity.jakarta.go.id/id/blog/membedah-smart-economy-dan-manfaatnya-buat-jakarta/>
- Sofa, A., Batubara, R., & Gagat, A. (2023). *Kenali Smart City, Definisi dan Pengertiannya*. Smart City: Jakarta Smart City. <https://smartcity.jakarta.go.id/id/blog/mengenal-konsep-pengertian-smart-city/>
- Sriratnasari, S., Wang, G., Kaburuan, E., & Jayadi, R. (2019). *Integrated Smart Transportation using IoT at DKI Jakarta*. <https://doi.org/10.1109/ICIMTech.2019.8843747>
- Suherman, D. (2020). Evaluasi Dampak Kebijakan Mesin Parkir Elektronik di Kota Bandung Evaluation Of Electronic Parking Machine Impact Policy In Bandung City Diki Suherman. *POLITICON: Jurnal Ilmu Politik*, 2(1), 75–86.
- Wayahdi, M. R., Ginting, S. H. N., & Syahputra, D. (2021). Greedy, A-Star, and Dijkstra's Algorithms in Finding Shortest Path. *International Journal of Advances in Data and Information Systems*, 2(1), 45–52. <https://doi.org/10.25008/ijadis.v2i1.1206>



## **PENERAPAN ARTIFICIAL INTELLIGENCE DALAM SISTEM PANDUAN PERJALANAN WARGA SUBURBAN MENUJU JAKARTA**

**M. Isnin Faried<sup>1\*</sup>, Elliana Gautama<sup>2</sup> and Agnes Novita I.S.<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>Teknik Informatika, Fakultas Teknologi Informasi, IKPIA Perbanas, Jakarta 12940, Indonesia

<sup>2, 3</sup>Sistem Informasi, Fakultas Teknologi Informasi, IKPIA Perbanas, Jakarta 12940, Indonesia

\*Penulis Koresponden, e-mail: [isninfaried@perbanas.id](mailto:isninfaried@perbanas.id)

### **ABSTRAK**

Faktor kemacetan khususnya pada jam sibuk di Jakarta menjadi masalah yang belum terpecahkan saat ini. Kondisi transportasi umum sudah lebih baik dan nyaman namun belum mampu menggerakkan warga untuk beralih menggunakan fasilitas ini. Harapan pemerintah agar warga beralih ke transportasi umum dapat mengurangi kemacetan tentu saja belum tercapai dan masalah kemacetan tetap ada. *Artificial Intelligence* (kecerdasan buatan) dapat dimanfaatkan untuk menggali data dalam mempelajari pola perilaku sebuah objek dalam hal ini kepadatan lalu lintas berdasarkan hari kerja dan pergerakan warga menggunakan transportasi umum. Studi yang dituangkan menjadi tulisan ini dibuat dengan tujuan agar dapat digunakan sebagai panduan perjalanan warga yang tinggal di kawasan suburban. Panduan yang dihasilkan fokus pada faktor optimasi perjalanan dengan variabel hitung efisiensi biaya dan waktu. Dasar perhitungan yang digunakan meliputi pola data perjalanan hari kerja, kondisi cuaca dan pemutakhiran data sepanjang rute perjalanan. Data perjalanan warga pada hari kerja menjadi sumber utama proses olahan yang dilakukan bidang kecerdasan buatan. Proses awal dilakukan dengan melihat pola pergerakan perjalanan warga dengan menggunakan algoritma pengenalan pola. Dari hasil ini akan diperoleh data pengetahuan yang dijadikan rujukan dalam mengolah data selanjutnya yaitu komputasi optimasi yang diterapkan pada referensi perjalanan secara *real-time*. Berdasarkan beberapa referensi perjalanan hasil komputasi sebelumnya, selanjutnya akan dilakukan olah data menggunakan algoritma heuristik untuk menghindari hasil temuan berulang, sehingga didapatkan rekomendasi akhir yang terbaik secara *real-time*. Proses perhitungan menggunakan kecerdasan buatan tidak dapat berjalan maksimal jika tidak ada dukungan penuh dari pihak pemilik data untuk melakukan pemeliharaan dan pemutakhiran Big Data. Resiko yang muncul berdampak pada akurasi hasil yang tidak optimal. Hal ini menjadi tugas bersama antara pihak pengembang aplikasi, pembuat kebijakan dan otoritas transportasi agar hasil studi ini dapat digunakan warga untuk memperoleh manfaat perjalanan yang optimal dan mendorong usaha migrasi menggunakan transportasi umum sehingga masalah kemacetan dapat dikurangi secara signifikan.

Kata Kunci: *Artificial Intelligence, Pengenalan Pola, Optimasi, Algoritma Heuristik, Suburban*

### **PENDAHULUAN**

Faktor kemacetan khususnya pada jam sibuk di Jakarta menjadi masalah yang belum terpecahkan saat ini. Kondisi transportasi umum sudah lebih baik dan nyaman namun belum mampu menggerakkan warga untuk beralih menggunakan fasilitas ini. Harapan pemerintah agar warga beralih ke transportasi umum dapat mengurangi kemacetan tentu saja belum tercapai dan masalah kemacetan tetap ada. Dampak lain dari kemacetan adalah polusi gas buang (CO<sub>2</sub>) akut yang dihasilkan oleh kendaraan dan berdampak pada pemborosan dari segi



bahan bakar maupun biaya operasional. Fakta tersebut dirangkum dari tulisan yang dipublikasikan oleh Kementerian Perhubungan Republik Indonesia melalui laman resminya (Kementerian Perhubungan Republik Indonesia [Internet], 2022). Kemampuan bidang ilmu *Artificial Intelligence* (AI) atau Kecerdasan Buatan sudah memungkinkan melakukan olah data skala kompleks (Big Data) secara cepat dengan hasil mendekati sempurna (Boddington, n.d.). Kesempurnaan dapat dicapai jika data yang diolah dalam keadaan bersih dan selalu mutakhir serta didukung perangkat keras yang memiliki kemampuan pengolahan data tingkat tinggi (*High Performance Data Analytics/HPDA*). Hal ini sesuai dengan sebuah artikel *online* dari laman yang dimiliki run:ai (Run:ai, 2023).

Aplikasi yang sudah diimplementasikan di seputar Jakarta yang memiliki kemiripan ide penelitian yaitu Moovit. Aplikasi ini memberikan fitur pilihan rute terbaik, rute terdekat, estimasi waktu tempuh perjalanan serta tarif kendaraan. Secara prinsip aplikasi ini memberikan informasi memanfaatkan transportasi umum dalam melakukan perjalanan agar memperoleh panduan perjalanan beserta biaya yang dibutuhkan untuk setiap jenis transportasi. Berdasarkan pengalaman beberapa sumber aplikasi ini memiliki kelemahan yaitu belum mencakup seluruh transportasi umum yang ada. Rangkuman ini dirangkum berdasarkan sumber tulisan *online* yaitu oto-detik (Adli, 2023) dan medcom.id (Diana, 2022).

Pemerintah Propinsi Jakarta sudah mencoba menerapkan AI yang diimplementasikan pada 20 persimpangan dalam usaha mengelola kemacetan. Penerapan ini diterapkan oleh perwakilan yang ditunjuk yaitu Jakarta Transportation Service. Target peralatan ini adalah penentuan rasio antara kapasitas jalan dengan kepadatan lalu lintas (menggunakan analisa visual menggunakan kamera) sehingga dapat melakukan identifikasi jalur mana yang lebih padat kendaraannya dengan demikian prioritas lampu hijau menyala lebih lama dapat direkayasa. Secara umum penerapan AI ini memiliki dampak efektifitas dalam mengurangi kemacetan akan tetapi faktor banyaknya jumlah kendaraan dibanding kapasitas jalan tidak berdampak pada pengurangan kemacetan di Jakarta. Penjelasan ini hasil rangkuman dari dua sumber yang dilusikan di laman *online* antaranews.com (Nurhaliza & S, 2023) dan kompas.id (Aranditio, 2023).

Tulisan ini merupakan penuangan ide dari peneliti sebagai usaha memberikan kontribusi alternatif penyelesaian masalah di atas melalui topik implementasi AI dalam penentuan perjalanan warga daerah penyanggah saat berangkat atau kembali beraktifitas di Jakarta khususnya pada jam sibuk. Tulisan *book chapter* ini luaran hasil karya peneliti tahap awal dari rangkaian penelitian yang akan dilakukan dalam waktu 2 sampai 3 tahun hingga diperoleh hasil aplikasi yang final. Luaran tahap awal yang dituliskan di sini dalam bentuk model yang terdiri dari model arsitektur dan model sinkronisasi antar metode mesin pembelajaran (*Machine Learning*).

Ide ini akan dikembangkan menjadi aplikasi berbasis *mobile* dimana pengguna dapat melakukan rencana perjalanan menuju Jakarta dan kembali dari Jakarta saat jam sibuk (macet). Sebelum ide ini menjadi aplikasi yang siap digunakan perlu dilakukan tahapan pengembangan mulai penyusunan gagasan menjadi model dilanjutkan dengan mengembangkan model menjadi aplikasi melalui rangkaian penulisan kode program, uji data dan uji aplikasi yang memiliki tingkat kecepatan proses dengan akurasi hasil olah data maksimal. Aplikasi ini memiliki kemampuan melakukan penelusuran rute perjalanan yang akan dijadikan pilihan atau panduan pengguna dengan hasil perhitungan jarak terpendek dan atau waktu tempuh paling singkat ditambah dengan perkiraan biaya perjalanan serta pilihan jenis transportasi apa saja yang digunakan.



## STATE OF THE ART

Hasil penelitian ini merupakan ide murni dari peneliti yang dibuat dalam bentuk model. Model dikembangkan dengan pertimbangan kondisi sehari-hari untuk daerah penyanggah dan situasi rute perjalanan menuju Jakarta dan sebaliknya dengan variabel ukur waktu perjalanan, kondisi jalan dengan data yang selalu *updated* dan sarana transportasi normal dengan adanya dukungan infrastruktur teknologi informasi yang *reliable* dan *sustainable*. Yang dimaksud dengan kondisi jalan memiliki arti kondisi dimana terdapat kemungkinan jalan yang akan ditempuh terdapat pekerjaan perbaikan atau mengalami rekayasa lalu lintas selain kondisi normal. Sedangkan transportasi normal di atas memiliki arti tidak terdapat perubahan biaya, tidak mengalami gangguan perjalanan atau jumlah yang beroperasi tidak mengalami perubahan. Selain menggunakan variabel di atas model ini juga memanfaatkan teknologi yang sudah diimplementasikan yaitu pemantauan kondisi lalu lintas di beberapa lampu merah persimpangan di Jakarta. Data hasil olahan tersebut disinergikan ke dalam data sudah direncanakan dalam model.

Kemampuan aplikasi ini cukup lengkap karena mencakup fungsi pencarian rute optimal diintegrasikan dengan pilihan jenis moda transportasi untuk perhitungan biaya perjalanan sehingga dapat dijadikan usulan perbaikan dari aplikasi yang sudah ada karena berdasarkan analisis peneliti beberapa penerapan AI untuk implementasi transportasi umumnya masih belum otomatis terintegrasi sesuai variabel di atas. Hal inilah yang membedakan ide penulis dengan penelitian atau penerapan tentang implementasi AI yang sudah ada. Muatan terapan teknologi dalam penelitian ini termasuk juga penerapan algoritma tertentu yang disesuaikan dengan tujuan pencarian rute perjalanan optimal.

## PEMBAHASAN

# Penerbit Gunadarma

Model sistem yang akan dikembangkan untuk panduan perjalanan warga *suburban* dibuat dengan memanfaatkan data acuan sumber, rekaman transaksi harian, dan data *real-time* ditambah dengan data sumber lain (pantauan kamera jalan raya atau perkiraan cuaca) dan diolah menggunakan algoritma tertentu yang secara spesifik disiapkan dalam konsep *Artificial Intelligence*. Secara spesifik model sistem yang dikembangkan dibuat dalam bentuk model arsitektur aplikasi yang dapat dilihat pada gambar 1.

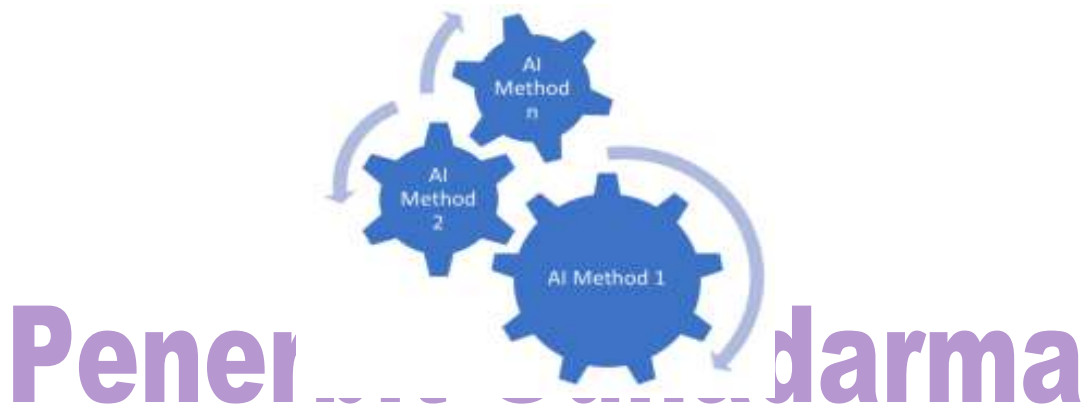


**Gambar 1.** Model Arsitektur Proses Pencarian Rute Optimal Aplikasi

Berdasarkan gambar di atas aplikasi diawali dengan pengguna memberikan masukan data rencana perjalanan yang digambarkan sebagai bagan “Kondisi Awal Pengguna”. Selanjutnya masukan tersebut akan diproses oleh blok “Pemrosesan Menggunakan Konsep AI (proses)”

guna dilakukan perhitungan dan olah data dengan target hasil rute perjalanan optimal. Berdasarkan gambar tersebut terlihat blok proses membutuhkan simpanan data menjadi sumber olahan. Proses tersebut melakukan komputasi untuk analisis data kondisi saat itu (*real time*). Selain itu proses tersebut disiapkan juga untuk menghasilkan simpanan data pola perilaku perjalanan dalam kondisi tertentu (data rekaman). Akhirnya hasil olahan data ini dibagi menjadi dua bagian yaitu data *real-time* dan data rekaman. Data tersebut akan ditambah dengan hasil olahan proses eksternal dari alat pemantauan berbasis AI yang sudah diimplementasikan pemerintah Jakarta. Saat pemrosesan memperoleh target rute perjalanan optimal maka aplikasi akan menghasilkan informasi berupa “Panduan Perjalanan” yang sesuai dengan pengguna yaitu memiliki waktu tempuh dan biaya perjalanan minimal.

Inti dari penelitian ini yaitu pemanfaatan konsep AI terletak pada blok “Pemrosesan” dimana di dalam blok ini akan diimplementasikan beberapa algoritma yang memiliki keterkaitan satu sama lain atau konvergensi. Model konvergensi beberapa algoritma (dalam gambar disebut sebagai *Methods*) dapat dilihat pada gambar 2.



**Gambar 2.** Model Konvergensi *Artificial Intelligence Methods*.

Yang dimaksud dengan konvergensi di atas adalah masing-masing algoritma (*method*) akan melakukan proses sesuai kebutuhan penugasan misalnya hitung biaya atau hitung jarak terpendek sehingga satu sama lain dimungkinkan memberikan hasil untuk diproses oleh metode lain atau digunakan sebagai data atau informasi pendukung untuk luaran aplikasi.

### Konsep dan Teori Dasar.

Pada bagian ini akan menjelaskan beberapa istilah dan konsep teknologi yang digunakan dalam penelitian.

#### Artificial Intelligence (AI)

Elaine Rich dalam buku “Introduction to Artificial Intelligence” memberikan definisi *Artificial Intelligence* (AI) adalah studi tentang bagaimana sebuah komputer dapat melakukan hal-hal yang dapat memudahkan pekerjaan orang (individu). Definisi lain yang digunakan dalam buku yang ditulis (Voulgaris & Bulut, 2018), dinyatakan bahwa AI terdiri dari serangkaian algoritma yang memanfaatkan informasi (hasil olahan data) yang digunakan untuk pengambilan keputusan dan menyelesaikan tugas atau proses tertentu. Berdasarkan dua definisi tersebut maka disimpulkan bahwa *Artificial Intelligence* adalah bidang ilmu tentang komputasi dari serangkaian algoritma dalam mengolah data menjadi informasi yang dapat memudahkan pekerjaan atau digunakan sebagai alat bantu pengambilan Keputusan (Russell & Norvig, 2016).

## Machine Learning

Selain definisi di atas Elaine Rich menjelaskan bahwa *Machine Learning* adalah subbidang (utama) dari AI. Definisi awal tentang *Machine Learning* (ML) dibuat oleh Arthur Samuel pada tahun 1959 sebagaimana dikutip oleh (Primarta, 2018) dalam bukunya. Definisi tersebut adalah “*ML is a field of computer science that gives computers the ability to learn without being explicitly programmed*” jika dialih bahasakan menjadi “ML adalah bidang ilmu komputer yang memberi kemampuan sebuah komputer untuk belajar tanpa diprogram secara eksplisit”. Definisi lain yang dibuat oleh Perusahaan IBM yang dikutip dalam buku yang ditulis oleh (Purnama, 2019) adalah “*Machine Learning is a form of AI that enables a system to learn from data rather than through explicit programming*”. Dari dua definisi tersebut maka dapat disimpulkan bahwa *Machine Learning* adalah implementasi (sub bidang) AI yang memberikan kemampuan sistem atau komputer melakukan pembelajaran (analisis) sumber data tanpa program eksplisit.

Beberapa algoritma *Machine Learning* yang dapat digunakan untuk melakukan optimasi rute sebagai berikut:

### 1. Algoritma Reinforcement Learning (RL).

Algoritma RL termasuk dalam pembelajaran supervisi berupa metodologi yang digunakan untuk melakukan prediksi berdasarkan sumber data (Ertel, 2017). Salah satu Algoritma yang termasuk dalam RL adalah Q-Learning (Amine, 2020). Berdasarkan laporan penelitian oleh (Dikshit et al., 2023) menjelaskan bahwa algoritma Q Learning dapat digunakan sebagai salah satu metode yang ditujukan untuk membuat panduan pemilihan kendaraan dengan rute terpendek.

Algoritma RL ini dapat dimanfaatkan dalam pengendalian lampu lalu lintas dengan melakukan pembelajaran optimalisasi arus lalu lintas secara *real-time*. Dengan menerapkan prinsip kerja menganalisa kondisi jalan raya (berdasarkan analisis cctv) kemudian diolah untuk melihat kondisi kemacetan yang ada dan memberikan sistem adaptif yaitu membuat keputusan pengaturan lampu lalu lintas dari segi waktu aktif merah dan hijau (Ripla, 2024).

### 2. Algoritma Genetika (GA) dan Algoritma Koloni Semut (ACO)

Dua algoritma ini bagian dari *Evolutionary Computing* (EC) dengan proses kerja menggunakan pendekatan probabilistik guna memperoleh hasil optimal (Negnevitsky, 2005). Secara prinsip kinerjanya meniru proses Biologi. Dalam penelitian ini algoritma ini akan digunakan untuk menemukan rute optimal dengan beberapa variabel kepadatan lalu lintas, kondisi jalan, dan waktu. Algoritma ACO ini bagian dari algoritma Heuristic karena pengembangan dari algoritma ini dikenal dengan Improved Heuristic Mechanism ACO (IHMACO) yaitu algoritma yang salah satu pengembangannya dari mekanisme heuristic dengan target penilaian terarah (Eiben & Smith, 2015).

## Data Real-Time dan Data Rekaman (Data History)

Setelah mengenal beberapa konsep teknologi *Artificial Intelligence* dan algoritma (*method*) untuk implementasi model maka data sumber olahan atau proses dikategorikan menjadi 2 jenis. Data *real-time* adalah data yang tersedia sebagai sumber olahan yang tersedia tanpa adanya penundaan waktu dan atau data termutakhirkan (*updated*). Sedangkan Data Rekaman atau *Data History* adalah data hasil olahan suatu waktu (sudah lewat) serta memiliki karakteristik (pola perjalanan) tertentu yang dipengaruhi kondisi saat data diolah. Kondisi yang dimaksud meliputi waktu proses, keadaan tidak normal (untuk jalan terdapat rekayasa lalu lintas, perbaikan jalan, banjir dan lain sebagainya). Rincian (contoh) Data yang akan diolah disajikan dalam tabel 1 di bawah dengan klasifikasi 2 jenis data.

**Tabel 1.** Data Sumber Olahan

| <b>DATA Real-Time</b>             | <b>DATA Rekaman (Data History)</b>                                                    |
|-----------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| Data Cuaca                        | Data Perjalanan terdampak Cuaca                                                       |
| Data Biaya Transportasi           | Data Perjalanan terdampak Perubahan Rute                                              |
| Data Data Waktu Tempuh Perjalanan | Data Perjalanan terdampak Perbaikan Jalan                                             |
|                                   | Data Perjalanan terdampak Banjir                                                      |
| Data Hari                         | Data yang mencatat titik kemacetan untuk kondisi di atas ( <i>kondisi terdampak</i> ) |

Selain data tersebut proses yang dijalankan memanfaatkan data eksternal yaitu data hasil olahan AI yang diimplementasikan pada lampu lalu lintas di beberapa persimpangan di Jakarta.

### Ilustrasi Implementasi.

Setelah membahas konsep teknologi dan data maka pada bagian ini akan dijelaskan implementasikan hasil penelitian yang berupa aplikasi. Selama melakukan analisis dan rancangan, penulis sudah mempertimbangkan beberapa kondisi yang mungkin dialami pengguna aplikasi berhubungan dengan keadaan *real* saat melakukan perencanaan perjalanan. Kondisi ini digolongkan menjadi 3 yaitu kondisi normal, kondisi dengan gangguan cuaca, dan gangguan kondisi perjalanan yang akan ditempuh. Penjelasan rinci dari implementasi beserta beberapa kondisi tersebut dijelaskan sebagai berikut.

#### Kondisi 1 (Normal)

Yang dimaksud dengan normal adalah kondisi cuaca dan rute perjalanan tidak ada perubahan. Proses yang dilakukan untuk kondisi ini diawali pengguna merencanakan perjalanan dengan menentukan jam berangkat. Aplikasi akan melakukan proses perhitungan dan pencarian rute optimal. Proses ini akan berjalan baik karena tidak terdapat kondisi yang menjadi perhatian khusus (normal).

#### Kondisi 2 (Gangguan Cuaca | Hujan atau Banjir)

Yang dimaksud dengan kondisi ini jika cuaca dalam kondisi hujan dan rute perjalanan tidak terdapat perubahan. Proses yang dilakukan untuk kondisi ini diawali pengguna merencanakan perjalanan dengan menentukan jam berangkat. Aplikasi akan melakukan proses perhitungan dan pencarian rute optimal. Proses memerlukan waktu komputasi lebih dibandingkan kondisi normal karena terdapat kondisi yang menjadi perhatian khusus. Proses ini akan melakukan pemeriksaan data rekaman (histori) perihal Data Perjalanan terdampak Cuaca atau Banjir dan Data Titik Kemacetan yang ditimbulkan adanya Cuaca (hujan | banjir). Dengan algoritma yang telah dipilih maka konsep ML sangat berperan melakukan komputasi agar diperoleh hasil optimal.

#### Kondisi 3 (Gangguan Perubahan Rute atau Perbaikan Jalan)

Yang dimaksud dengan kondisi ini cuaca normal dan terdapat rekayasa lalu lintas atau perbaikan jalan yang merubah rute perjalanan. Proses yang dilakukan untuk kondisi ini diawali pengguna merencanakan perjalanan dengan menentukan jam berangkat. Aplikasi akan melakukan proses perhitungan dan pencarian rute optimal. Proses memerlukan waktu komputasi lebih dibandingkan kondisi normal karena terdapat kondisi yang menjadi perhatian

khusus. Proses ini akan melakukan pemeriksaan data rekaman (histori) perihal Data Perjalanan terdampak Perubahan Rute atau Perbaikan Jalan dan Data Titik Kemacetan yang ditimbulkan. Dengan algoritma yang telah dipilih maka konsep ML sanga berperan melakukan komputasi agar diperoleh hasil optimal.

### **Potensi Masalah Implementasi.**

Penulis memiliki prediksi potensi pengurangan performa aplikasi jika beberapa kondisi di bawah tidak dapat dipenuhi.

### **Kondisi Infrastruktur Teknologi.**

Infrastruktur Teknologi memiliki peranan penting untuk implementasi aplikasi ini. Kebutuhan utama adalah digunakannya mesin komputasi yang memiliki kemampuan olah big data yang bersumber dari *multichannel*, *multiplatform* dan lintas organisasi. Selain mesin komputasi rancangan *enterprise architecture* (EA) sangat berperan juga bahkan EA ini harus dimiliki dan dianalisa kelayakannya paling awal sebelum melakukan integrasi mesin, data dan kanal sistem.

### **Keterlambatan Pemutakhiran Data.**

Sesuai dengan rancangan yang dibuat di sini data yang valid juga memiliki peranan penting dalam implementasi. Meminjam istilah yang umum digunakan dalam dunia olah data yaitu “*Garbage In Garbage Out*” maka dampak langsung yang akan dirasakan pengguna jika terdapat data sumber yang tidak valid karena terlambat dilakukan pemutakhiran dan atau tidak dilakukan pemeliharaan data maka akurasi hasil tidak diperoleh. Luaran yang ditampilkan sangat mungkin tidak sesuai dengan harapan pengguna dan risiko keterlambatan atau besarnya biaya akan dirasakan pengguna.

### **Potensi Tren Masa Depan.**

Gagasan menggunakan aplikasi ini masih memerlukan beberapa tahapan validasi khususnya ujicoba algoritma dengan sumbar data serta kondisi pendukung seperti cuaca dan kondisi lainnya. Saat ini penulis masih menggunakan pendekatan pengembangan komponen secara parsial artinya kodifikasi program khususnya AI masih terpisah dengan perangkat komputasi.

Kebutuhan proses yang cepat didukung performa kinerja perangkat yang baik memunculkan inovasi baru yaitu teknologi modular dimana beberapa modul sudah menjadi teknologi sistem tanam (*embedded system*). Artinya modul tertentu dengan fungsi spesifik dan didalamnya sudah tertanam sistem cerdas (AI) dengan fungsi yang sesuai. Dengan analogi mainan anak “Lego” maka tren ke depan para peneliti dan pengembang teknologi informasi dimudahkan dengan konsep membangun sebuah ide hanya dengan merangkai beberapa modul siap pakai sesuai keinginan. Selain teknologi modular akan muncul tren teknologi komunikasi data yang lebih cepat dan tidak terkendala letak deografis dataran, pegunungan dan laut.

Munculnya tren teknologi informasi di atas tentu saja sejalan dengan tren kebutuhan pengguna dimana saat yang akan datang diperlukan perangkat yang ringan (secara fisik) dan ramping sehingga memudahkan mobilitas atau operasional perangkat. Perangkat ini mungkin saja ditambahkan menjadi bagian lain perangkat atau merupakan perangkat mandiri dengan fitur lainnya sejenis misalkan pendamping pengguna melakukan perjalanan. Perangkat yang dimaksud sejenis *wearable devices* dengan fitur panduan perjalanan dan penterjemah multi bahasa.

## KESIMPULAN

Proses perhitungan menggunakan kecerdasan buatan tidak dapat berjalan maksimal jika tidak ada dukungan penuh dari pihak pemilik data untuk melakukan pemeliharaan dan pemutakhiran (Big) Data. Risiko yang muncul berdampak pada akurasi hasil yang tidak optimal. Hal ini menjadi tugas bersama antara pihak pengembang aplikasi, pembuat kebijakan dan otoritas transportasi agar hasil studi ini dapat digunakan warga untuk memperoleh manfaat perjalanan yang optimal dan mendorong usaha migrasi menggunakan transportasi umum sehingga masalah kemacetan dapat dikurangi secara signifikan.

Model yang dirancang disini sudah disiapkan untuk segala kemungkinan namun agar hasil (aplikasi) diperoleh lebih optimal dan valid diperlukan tahapan lanjutan yaitu mengembangkan aplikasi dengan menerapkan rangkaian penulisan kode program, uji data dan uji aplikasi kepada sampel beberapa pengguna hingga siap diluncurkan.

## REKOMENDASI KEBIJAKAN (POLICY BRIEF)

Guna menjaga reliabilitas aplikasi karena bersifat *real time* ada beberapa kesiapan non teknis yang harus dilakukan. Kesiapan non teknis yang dimaksud sebagai berikut: 1. Pemerintah provinsi Jakarta membuat perjanjian kerjasama dan kesepakatan dengan pihak terkait baik tingkat provinsi, tingkat wilayah penyanggah dan atau dinas terkait sumber data. 2. Isi kesepakatan dalam perjanjian tentang kestabilan sistem komputasi dan jaringan agar diperoleh *sustainable processing*. Kondisi ini dimaksud jika dalam implementasi dibutuhkan akses infrastruktur antar wilayah (tidak tersentralisasi di sebuah institusi atau kantor dinas) 3. Isi kesepakatan dalam perjanjian tentang pemutakhiran data secara terus menerus (*continuity*) baik untuk kondisi normal maupun kondisi jika ada pekerjaan tertentu misalkan perbaikan, penutupan dan pengalihan jalan, perubahan kebijakan dan lain sebagainya. 4. Memastikan Infrastruktur Teknologi yang digunakan memiliki legalitas akses dengan pihak ketiga antara lain Google untuk prediksi cuaca, dan lain sebagainya.

## DAFTAR PUSTAKA

- Adli, R. (2023, June 3). *Aplikasi Wajib Pengguna Transportasi Umum, Bisa Pantau Bus dan Kereta secara Real Time*. <https://oto.detik.com/berita/d-6752692/2-aplikasi-wajib-pengguna-transportasi-umum-bisa-pantau-bus-dan-kereta-secara-real-time>
- Amine, A. (2020). *Q-Learning Algorithm: From Explanation to Implementation*. <https://towardsdatascience.com/q-learning-algorithm-from-explanation-to-implementation-cdbeda2ea187>
- Aranditio, S. (2023). *Why is Jakarta still jammed even though it has used AI technology*. Boddington, P. (n.d.). *Towards a Code of Ethics for Artificial Intelligence*. Diana, L. (2022). *Ini 3 Aplikasi yang Bantu Kamu Naik Transportasi Umum untuk Keliling Jakarta*. <https://osc.medcom.id/community/ini-3-aplikasi-yang-bantu-kamu-naik-transportasi-umum-untuk-keliling-jakarta-4282>
- Dikshit, S., Atiq, A., Shahid, M., Dwivedi, V., & Thusu, A. (2023). The Use of Artificial Intelligence to Optimize the Routing of Vehicles and Reduce Traffic Congestion in Urban Areas. *EAI Endorsed Transactions on Energy Web*, 10. <https://doi.org/10.4108/ew.4613>



- Eiben, A. E., & Smith, J. E. (2015). Natural Computing Series Introduction to Evolutionary Computing. In *Natural Computing Series*. [www.springer.com/series/](http://www.springer.com/series/)
- Ertel, W. (2017). *Introduction to Artificial Intelligence*. Springer.
- Kementerian Perhubungan Republik Indonesia [Internet]. (2022). *Kemenhub Gencar Kembangkan Transportasi Massal di Jabodetabek*. <https://dephub.go.id/post/read/kemenhub-gencar-kembangkan-transportasi-massal-di-jabodetabek#>
- Negnevitsky, M. (2005). Artificial Intelligence: A Guide to Intelligent Systems. In *Pearson Education Limited* (Vol. 2).
- Nurhaliza, S., & S, R. (2023). *Jakarta uses AI to manage congestion in 20 intersections*. <https://en.antaranews.com/news/286914/jakarta-uses-ai-to-manage-congestion-in-20-intersections>
- Primartha, R. (2018). Belajar Machine Learning. Informatika Bandung.
- Purnama, B. (2019). Pengantar Machine Learning. Informatika Bandung.
- Ripla, A. (2024). Revolutionizing Traffic Management: Artificial Intelligence in Optimizing Urban Mobility. <https://www.linkedin.com/pulse/revolutionizing-traffic-management-artificial-urban-ripla-pgcert-lmnp>
- Run:ai. (2023). HPC and AI Better Together. <https://www.run.ai/guides/hpc-clusters/hpc-and-ai>
- Russell, S. J., & Norvig, P. (2016). Artificial Intelligence A Modern Approach (Third Edit). Pearson. <https://doi.org/10.1016/j.pathol.2015.12.053>
- Voulgaris, Z., & Bulut, Y. E. (2018). AI for Data Science (First Edit). Technics Publications.

# Penerbit Gunadarma

## INTEGRASI KECERDASAN BUATAN DALAM TRANSPORTASI UMUM JAKARTA MENUJU EFISIENSI, KEANDALAN, DAN PENURUNAN POLUSI

**Mochammad Kresna Noer<sup>1\*</sup>**

<sup>1</sup>Magister Ilmu Komunikasi, Fakultas Ekonomi dan Ilmu Sosial, Universitas Bakrie,  
Jakarta 12940, Indonesia

\*Penulis Koresponden, e-mail: [kresna.noer@bakrie.ac.id](mailto:kresna.noer@bakrie.ac.id)

### ABSTRAK

Kendaraan umum di Jakarta telah menjadi pilihan utama warganya untuk mobilitas sehari-hari. Hasil dari riset yang saya lakukan pada tahun 2023 terkait preferensi penggunaan transportasi menunjukkan bahwa Transjakarta menduduki peringkat tertinggi, diikuti oleh layanan transportasi berbasis daring, KRL, dan kendaraan pribadi. Meskipun transportasi publik memiliki popularitas yang tinggi, beberapa masalah muncul, terutama terkait dengan kepadatan halte, waktu tunggu yang lebih lama, yang berdampak pada jadwal yang tidak dapat diandalkan, dan informasi rute yang kurang memadai. Dalam kaitannya dengan permasalahan tersebut, integrasi data dari berbagai aplikasi seperti JakLingko, *Google Maps & Ride Hailing* dengan penerapan kecerdasan buatan diharapkan dapat menjadi solusi. Hal ini diharapkan dapat memberikan informasi yang lebih akurat kepada para pengguna transportasi umum, meningkatkan efisiensi waktu dan biaya, serta dalam jangka panjang, dapat mengurangi tingkat polusi di Jakarta secara signifikan, mengingat sekitar Agustus 2023 Jakarta sempat mendapatkan peringkat 10 besar kota yang polusi udaranya terbilang tinggi. Implikasinya, upaya ini juga akan memberikan dampak positif pada citra Jakarta sebagai sebuah kota pintar. Paper ini akan menguraikan langkah-langkah menuju tujuan tersebut, termasuk komponen-komponen kritis yang perlu diperhatikan.

Kata Kunci: AI, Efisiensi Waktu, Transportasi

### PENDAHULUAN

Sebagai salah satu kota terpadat di dunia, Jakarta menghadapi tantangan besar dalam mengelola mobilitas harian penduduknya. Kendaraan umum telah menjadi tulang punggung mobilitas perkotaan, dengan Transjakarta memegang peranan utama dalam preferensi transportasi warga. Namun, hasil riset terbaru menyoroti masalah yang muncul seiring dengan popularitas transportasi publik, termasuk kepadatan halte, waktu tunggu yang tidak terduga, dan informasi rute yang kurang memadai. Dalam upaya mengatasi tantangan ini, integrasi data dari berbagai aplikasi seperti JakLingko, *Google Maps & Ride Hailing*, didukung oleh penerapan kecerdasan buatan, muncul sebagai solusi potensial.

Permasalahan ini tidak hanya berkaitan dengan kenyamanan pengguna, tetapi juga berdampak pada efisiensi waktu dan biaya serta tingkat polusi yang tinggi di Jakarta. Sejak Jakarta masuk dalam daftar 10 besar kota dengan tingkat polusi udara yang signifikan pada Agustus 2023, mendesak perlunya tindakan cepat dan efektif untuk mengurangi dampak negatifnya. Dengan mengadopsi teknologi terkini, diharapkan bahwa solusi yang diusulkan akan memberikan informasi yang lebih akurat kepada pengguna transportasi umum, meningkatkan kualitas pengalaman mereka, dan pada akhirnya, mengarah pada penurunan tingkat polusi yang berkelanjutan. Walaupun mungkin dalam waktu dekat statusnya bukan Ibukota lagi, upaya ini memiliki implikasi yang lebih luas terhadap citra Jakarta sebagai kota pintar yang progresif.

## STATE OF THE ART

Bahwa pemerintah Indonesia sudah berusaha untuk mengatasi masalah transportasi di Jakarta dengan mengambil langkah-langkah yang membawa perubahan ke arah positif demi kenyamanan penduduk kota. Artikel ini merupakan rekomendasi dari hasil survei yang tentunya masih memiliki keterbatasan dan kelemahan untuk memahami sentimen publik terhadap kebijakan transportasi, dengan fokus pada integrasi berbagai moda transportasi publik. Selain itu, artikel juga menyoroti pentingnya investasi dalam infrastruktur transportasi dan pengembangan solusi berbasis teknologi seperti integrasi aplikasi atau superaplikasi untuk meningkatkan pengalaman pengguna transportasi publik. Dengan demikian, fokus utama dari artikel ini adalah pada upaya pemerintah dan pemangku kepentingan untuk meningkatkan sistem transportasi publik Jakarta dengan memperhatikan kebutuhan dan keinginan masyarakat serta memanfaatkan teknologi terkini.

## PEMBAHASAN

### Smart Mobility Sebagai Landasan Utama

DKI Jakarta merupakan salah satu provinsi di Indonesia yang telah menerapkan konsep kota pintar yang telah dipromosikan sejak tahun 2014 sebagai solusi untuk berbagai masalah kota melalui prinsip dan pilar kota pintar. Jakarta juga membranding dirinya sebagai Jakarta *Smart City* dengan melakukan transformasi digital dan memanfaatkan teknologi sebagai alat untuk mencapai atau menerapkan kota pintar yang memberikan manfaat bagi masyarakat Jakarta. Setelah sukses dengan aplikasi JAKI untuk pelayanan publik, perlu juga adanya integrasi aplikasi dengan bantuan fitur AI sebagai sumber utama informasi terkait transportasi di DKI Jakarta.

Sebagai kota metropolitan dengan jumlah penduduk tertinggi di Indonesia dan dengan dinamika pertumbuhan perkotaan yang cepat, Jakarta perlu membentuk identitas kota agar dapat menjadi kota unggulan dengan melakukan *branding* atau pencitraan sehingga identitas kota Jakarta melekat di benak masyarakat bahkan dunia. Menurut Miller Merriles dan Herington dalam Widiastuti (2019, p.1), *branding* kota merupakan prosedur komunikasi yang tepat untuk mengembangkan merek untuk sebuah kota, wilayah, dan orang-orang yang tinggal di dalamnya berdasarkan pasar target mereka. *Branding* kota dibentuk dan disesuaikan oleh pemerintah lokal sesuai dengan potensi kota tersebut. Oleh karena itu, pada tanggal 15 Desember 2014, Jakarta berkomitmen untuk menerapkan konsep Jakarta *Smart City* sebagai *branding* kota Jakarta. Sejalan dengan arus digitalisasi, Pemerintah Provinsi DKI Jakarta menyesuaikan konsep kota pintar untuk meningkatkan kesejahteraan masyarakat dan menangani masalah-masalah publik dengan lebih baik sebagai upaya pemerintah untuk meningkatkan kota Jakarta. Konsep kota pintar dianggap mampu menjadi solusi bagi pemerintah dalam merespons dengan cepat kebutuhan masyarakat.

Kota pintar adalah konsep yang diterapkan pada sebuah kota dengan mengandalkan teknologi informasi dan komunikasi (TIK). Kota-kota yang telah menerapkan sistem kota pintar akan mengalami banyak perkembangan yang akan memengaruhi kehidupan masyarakat di kota tersebut. Dalam penelitiannya, Cohen Boyd (2014) dalam Annisah (2017, p.60) menyatakan

bahwa "Kota pintar adalah pendekatan yang luas dan terintegrasi untuk meningkatkan efisiensi operasional sebuah kota, meningkatkan kualitas hidup penduduknya, dan mengembangkan ekonomi regional." Dia juga menyebutkan implementasi konsep kota pintar yang berfokus pada 6 pilar utama, yaitu; *Smart Governance*; *Smart Society*; *Smart Life*; *Smart Mobility*; *Smart Economy*; dan *Smart Environment*. Dari keenam pilar yang disebutkan, setiap kota akan fokus dan menyesuaikan kebutuhan sendiri sesuai dengan tingkat urgensi yang dialami. Ide dalam paper ini tentunya akan memenuhi salah satu aspek dalam 6 pilar kota pintar yaitu "Smart Mobility".

*Smart Mobility* adalah Manajemen infrastruktur perkotaan yang dikembangkan di masa depan adalah sistem manajemen terpadu dan berorientasi untuk memastikan keselarasan dengan kepentingan publik (Permana, et. al. 2013). Pemahaman yang berbeda tentang smart mobility adalah sebagai pertemuan antara kebutuhan transportasi antara orang dan barang, yang melibatkan ekonomi, lingkungan dan sumber daya manusia: (Caltrans, 2010, p.7). Saat ini, Upaya untuk mewujudkan smart mobility sudah ada. Melalui beberapa transportasi umum, yaitu, TransJakarta, MRT Jakarta, KAI Commuter Line dan LRT Jakarta dimana saat ini masyarakat dapat memantau rute perjalanan, jumlah transportasi, dan jadwal keberangkatan melalui aplikasi *jaki*. Namun hal itu tidak cukup. *Smart Mobility* adalah konsep yang mengacu pada kemampuan suatu kota untuk memfasilitasi pergerakan dengan efisien dan efektif guna mencapai tujuan dengan pergerakan yang minimal. Ini berarti sistem mobilitas harus responsif, inovatif, dan kompetitif. Responsif artinya sistem mobilitas harus dapat memenuhi kebutuhan, keinginan, dan harapan penggunaanya secara aktual. Kemudian, inovatif berarti sistem mobilitas harus mampu memfasilitasi pergerakan yang efektif dan efisien. Sementara itu, sistem mobilitas juga harus bersifat kompetitif dengan menyediakan berbagai pilihan perjalanan.

Indikator pencapaian *Smart Mobility* kota dapat ditentukan berdasarkan beberapa kriteria, antara lain (Wicaksana, et. al., 2020):

1. Jarak perjalanan harian rata-rata kurang dari 2 km dan setidaknya 20% dari penduduk kota menggunakan transportasi non-motor.
2. Tingkat ketersediaan mode transportasi umum mencapai 90% dari jumlah pengguna, dengan tersedianya rute alternatif dan armada transportasi yang dalam kondisi fisik optimal. Selain itu, angka kecelakaan per 10.000 penduduk juga menjadi pertimbangan.
3. Rata-rata waktu perjalanan harian kurang dari 20 menit, dengan kecepatan mode rata-rata minimal 40 km/jam.

### **Kondisi Mikro Perilaku Penggunaan Transportasi Gen Z Saat Ini**

Hasil riset ini pernah dipresentasikan di konferensi internasional *Commnews* 2023. Perlu disajikan kembali dalam paper ini karena bisa menjadi rujukan data demi memberikan wawasan tentang pola penggunaan transportasi oleh Gen Z yang pada masa mendatang akan menjadi generasi produktif dan dominan. Survei tersebut disebar kepada mahasiswa Universitas Bakrie dengan menggunakan metode *convenient sampling*, menghasilkan sampel sebanyak 74 responden. Ada beberapa alasan di balik pemilihan populasi ini:

Pertama, populasi ini mewakili demografi Millennials dan Gen Z. Kedua, universitas tersebut berada di Jakarta, dikelilingi oleh berbagai pilihan transportasi umum yang berhenti tepat di

depan kampus. Ketiga, kampus ini terletak di area yang terkena kebijakan transportasi Ganjil-Genap dan dilengkapi dengan kamera E-TLE. Keempat, area sekitar kampus memiliki jalur sepeda khusus di jalan-jalan yang menuju ke universitas, termasuk Tebet, Gatot Subroto, dan Mampang.

Pendekatan kuantitatif diadopsi karena kapasitasnya untuk analisis berbasis data dan penyusunan rekomendasi di masa depan. Statistik deskriptif digunakan untuk menganalisis data yang terkumpul. Namun, penting untuk dicatat bahwa ukuran sampel yang relatif kecil, yaitu 74, dikombinasikan dengan metode *convenient sampling*, membatasi generalisabilitas temuan studi ini. Untuk mengambil kesimpulan yang konkret dan rekomendatif sesuai dengan teori yang telah mapan, ukuran sampel yang lebih besar yang mencakup demografi yang beragam akan diperlukan di masa mendatang.



**Gambar 1.** Preferensi Transportasi Publik Responden  
(Sumber: Noer, et. al. 2023)

Bus Umum: 1,33%, Transjakarta (Bus Rapid Transit): 44,00%, Taksi: 1,33%, Kereta Komuter (KRL): 29,33%, Kereta Api Ringan (LRT): 14,67%, Mass Rapid Transit (MRT): 12,00%, Transportasi Motor Online: 46,67%, Transportasi Mobil Online: 18,67%, Angkutan Kota: 2,67%, Mobil Pribadi (Bensin): 16,00%, Mobil Listrik: 2,67%, Sepeda Motor (Bensin): 30,67%, Sepeda Motor Listrik: 0,00%. Perlu dicatat bahwa tidak ada responden yang memilih sepeda motor listrik. Sebaliknya, sebagian besar memilih Transjakarta, yang mencakup 44% dari responden, atau sepeda motor pribadi berbahan bakar bensin dan transportasi motor online. Ini merupakan pertimbangan penting, mengingat sepeda motor menyumbang beban polusi tertinggi per penumpang, melampaui mobil pribadi berbahan bakar bensin, mobil pribadi berbahan bakar diesel, mobil penumpang, dan bus. Dengan populasi Jakarta yang menyumbang 78% dari total kendaraan bermotor Indonesia, yang berjumlah sekitar 24,5 juta kendaraan, dan dengan laju pertumbuhan tahunan sebesar 1.046.837 sepeda motor, menjadi jelas bahwa dalam kurun waktu 10 tahun dari tahun 2012 hingga 2022, jumlah kendaraan bermotor di Indonesia meningkat pesat sebesar 64%, setara dengan peningkatan 48,9 juta unit (Aulia Mutiara Hatia Putri, 2023). Temuan ini secara kolektif menekankan urgensi implementasi solusi transportasi komprehensif yang memprioritaskan keberlanjutan lingkungan dan mempromosikan adopsi

kendaraan listrik untuk mengatasi tingkat polusi yang meningkat di lingkungan perkotaan yang dinamis di Jakarta.

Dalam sebuah pernyataan, Profesor Sudharto P Hadi, seorang profesor ilmu lingkungan di Universitas Diponegoro Semarang, menekankan bahwa penggunaan transportasi publik dapat memainkan peran penting dalam mengurangi tingkat polusi udara di Jakarta. Dia berpendapat bahwa lonjakan kepemilikan kendaraan pribadi telah berkontribusi secara signifikan pada eskalasi tingkat polusi udara baru-baru ini di ibu kota, "Jumlah kendaraan pribadi yang tinggi telah menyebabkan kemacetan lalu lintas dan, akibatnya, polusi udara. Emisi dari mesin berbahan bakar bensin memiliki dampak langsung pada polusi udara," (Nora Azizah, 2023)

Namun, menanggapi tantangan ini tidaklah tanpa hambatan, seperti yang terungkap oleh hasil survei publik yang dilakukan di Jakarta. Tantangan yang dihadapi oleh penduduk yang memilih transportasi publik antara lain:

1. Waktu tunggu yang panjang: 48,00%
2. Kepadatan penumpang: 74,67%
3. Kebersihan yang buruk: 8,00%
4. Keterbatasan aksesibilitas bagi individu dengan disabilitas: 4,00%
5. Jadwal yang tidak dapat diandalkan: 29,33%
6. Kekhawatiran akan keamanan: 2,67%
7. Biaya tarif: 10,67%
8. Infrastruktur yang tidak memadai: 12,00%
9. Kondisi cuaca: 9,33%
10. Jarak: 17,33%
11. Informasi rute yang tidak memadai: 16,00%

Tantangan-tantangan ini menggambarkan kompleksitas dalam mendorong penggunaan transportasi publik yang lebih besar di Jakarta, meskipun memiliki potensi untuk meredakan polusi udara yang disebabkan oleh penyebaran kendaraan pribadi. Bahkan 8% dari responden kami sempat mengalami pelecehan saat menggunakan transportasi publik. Mengatasi isu-isu ini sangat penting untuk menciptakan sistem transportasi yang lebih berkelanjutan dan ramah lingkungan di kota.

Kami juga meminta responden untuk mengevaluasi kepuasan mereka dengan transportasi publik dalam skala 0-100. Kepuasan dengan transportasi publik di Jakarta merupakan isu yang kompleks dan dapat bervariasi dari individu ke individu. Meskipun masih ada tantangan yang berkelanjutan, perbaikan terus dilakukan, dan investasi berkelanjutan dalam sistem transportasi penting untuk meningkatkan kepuasan secara keseluruhan dan mendorong lebih banyak orang untuk menggunakan transportasi publik di Jakarta. Hasilnya adalah 69,4, yang berada di bawah 70, menunjukkan bahwa perbaikan diperlukan di berbagai sisi. Responden memberikan rekomendasi berikut untuk peningkatan:

1. Memberikan informasi waktu nyata tentang jadwal dan keterlambatan, bersama dengan aksesibilitas yang mudah dari lokasi tempat tinggal atau tempat kerja. Selain itu, fokus



pada meningkatkan keselamatan dan kenyamanan penumpang.

2. Menyediakan opsi transportasi publik yang menghubungkan kompleks perumahan dengan stasiun, kereta komuter (KRL), dan lokasi LRT.
3. Meningkatkan pajak kendaraan, khususnya untuk mobil.
4. Memperluas armada transportasi publik karena kepadatan penduduk yang tinggi di Jakarta.
5. Menyediakan fasilitas menunggu dan tempat duduk yang memadai dan nyaman.
6. Meningkatkan aksesibilitas ke Distrik Bisnis yang ramai dan Universitas di Jabodetabek.
7. Mengimplementasikan subsidi pemerintah untuk Transportasi Publik.
8. Mendirikan perhentian tambahan di lokasi seperti Cempaka Putih dan Kramat Jati. Meningkatkan akses penting, karena menggunakan layanan transportasi online untuk mencapai halte bus terdekat melibatkan biaya tambahan.
9. Meningkatkan aksesibilitas bagi individu dengan disabilitas dan lansia.

Kami menemukan bahwa informasi waktu secara nyata dan keselamatan sangat penting, baik keselamatan dalam perjalanan maupun keselamatan dari tindak kejahatan di dalam moda transportasi (Noer, et. al. 2023).

### Solusi & Langkah Selanjutnya

Dalam meningkatkan efisiensi dan kenyamanan dalam integrasi transportasi publik, solusi masa depan dapat melibatkan penggunaan aplikasi berbasis kecerdasan buatan (AI). AI yang dapat diinterpretasikan adalah teknologi yang dirancang untuk membuat model kecerdasan buatan yang hasilnya bisa dipahami oleh manusia. Tujuannya adalah agar kita bisa mengetahui alasan di balik setiap keputusan yang diambil oleh AI, tanpa mengurangi ketepatan prediksi yang dihasilkan. Dengan kata lain, AI ini tidak hanya memberikan hasil yang akurat, tetapi juga mampu menjelaskan bagaimana dan mengapa hasil tersebut didapatkan (Adadi, 2023).

Aplikasi tersebut dapat memberikan informasi real-time tentang jadwal, rute, dan ketersediaan moda transportasi publik, sehingga memudahkan penumpang dalam merencanakan perjalanan mereka. Dengan menggunakan teknologi AI, aplikasi tersebut dapat mengoptimalkan rute perjalanan dengan memperhitungkan kondisi lalu lintas saat itu, meminimalkan waktu tunggu, dan mengurangi ketidakpastian.

Selain itu, aplikasi berbasis AI juga dapat menyediakan rekomendasi perjalanan yang disesuaikan dengan preferensi pengguna, seperti mode transportasi favorit, jarak tempuh, dan waktu perjalanan yang diinginkan. Hal ini dapat membantu meningkatkan pengalaman pengguna dan mendorong lebih banyak orang untuk beralih dari penggunaan kendaraan pribadi ke transportasi publik.

Dengan integrasi aplikasi berbasis AI dalam sistem transportasi publik, diharapkan dapat tercipta lingkungan transportasi yang lebih efisien, terkoneksi, dan ramah lingkungan di Jakarta. Hal yang perlu diperhatikan adalah:

#### 1. Privasi Pengguna:

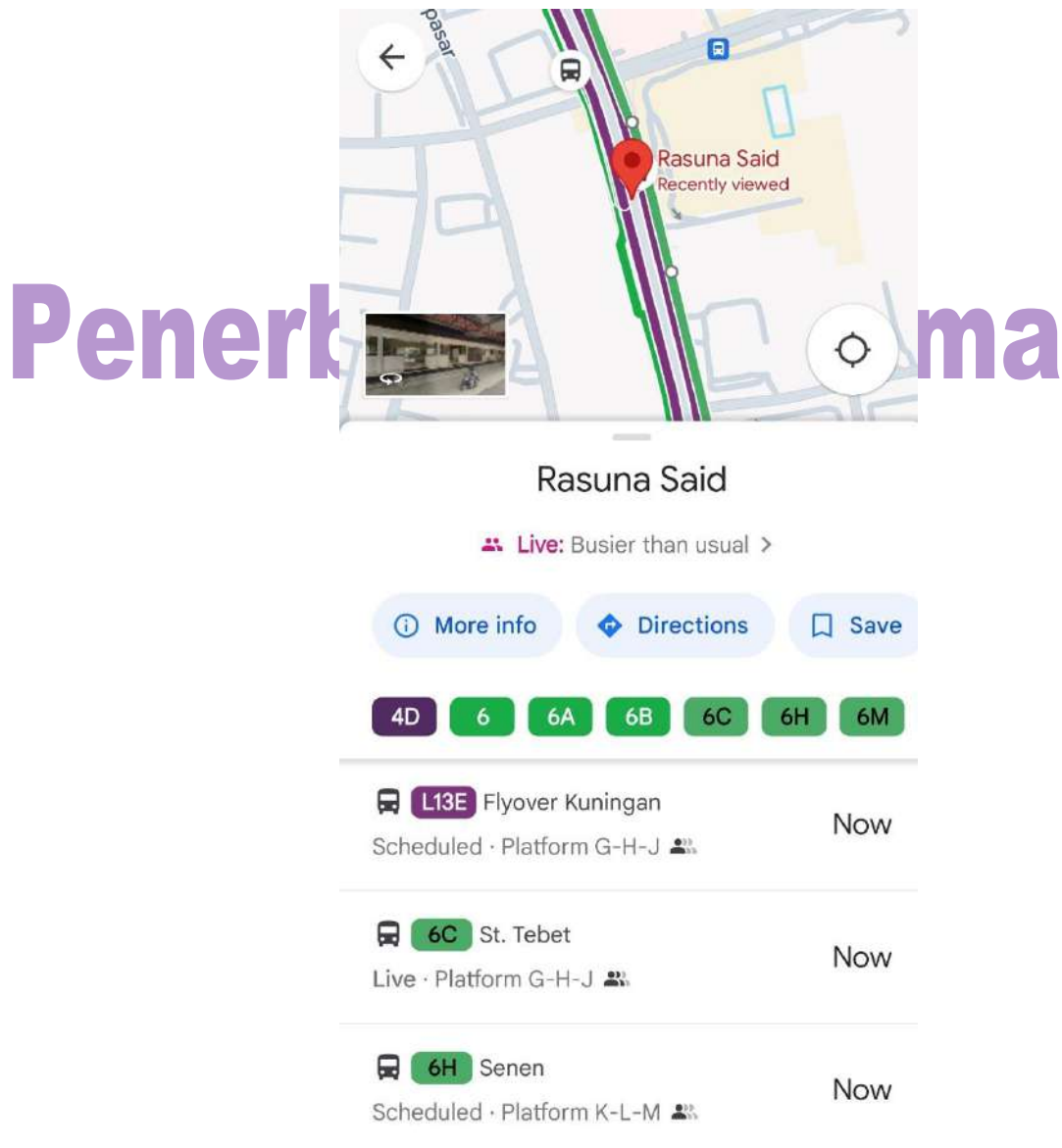
- Menjaga privasi pengguna merupakan hal yang sangat penting dalam

pengembangan aplikasi berbasis AI. Data pribadi pengguna, seperti lokasi dan preferensi perjalanan, harus diatur dengan ketat dan hanya digunakan untuk tujuan yang ditentukan.

- Aplikasi harus menyediakan opsi untuk pengguna untuk mengontrol dan mengelola izin akses data mereka. Misalnya, memberikan opsi untuk menonaktifkan pelacakan lokasi atau memilih untuk berbagi data secara anonim.

## 2. Integrasi dengan Aplikasi Lain:

- Integrasi dengan aplikasi seperti Google Maps, yang sudah menjadi platform yang sangat populer untuk merencanakan rute perjalanan, dapat memperluas jangkauan dan fungsionalitas aplikasi. Saat ini Jadwal kedatangan bus TransJakarta kini bisa dipantau secara real-time melalui Google Maps Dengan membuka aplikasi Google Maps dan mengklik ikon halte, jadwal kedatangan bus muncul secara langsung. Pengguna dapat melihat waktu kedatangan dan posisi bus, seperti rute 6 Rasuna Said ke berbagai tujuan yang ada di Jakarta.



**Gambar 2.** Integrasi Aplikasi  
Sumber: Tangkapan Layar Ponsel Pribadi

- Kerjasama dengan platform berbagi perjalanan seperti Gojek atau Grab dapat memberikan opsi tambahan kepada pengguna untuk merencanakan perjalanan dengan berbagai mode transportasi, termasuk transportasi publik, ojek online, dan taksi.
- Integrasi dengan aplikasi MyMRTJ dan Jaklingko, yang menyediakan informasi dan layanan terkait MRT dan angkutan kota Jakarta, dapat memperkaya pengalaman pengguna dengan menyediakan informasi yang lebih lengkap dan terintegrasi seperti halnya yang sudah dilakukan Transjakarta.
- Kecerdasan buatan (AI) dapat merancang rute dan kombinasi moda transportasi terbaik untuk mencapai tujuan. Agar AI dapat membuat perhitungan yang akurat dan mengambil keputusan terbaik, AI memerlukan informasi yang cukup dan tervalidasi kebenarannya.

### 3. Fungsionalitas Aplikasi:

- Aplikasi harus memiliki antarmuka pengguna yang ramah dan mudah digunakan, serta menyediakan fitur-fitur yang intuitif untuk merencanakan perjalanan, memonitor jadwal, dan memperoleh informasi terkini tentang kondisi lalu lintas.
- Teknologi kecerdasan buatan dapat digunakan untuk mengoptimalkan rekomendasi rute perjalanan berdasarkan preferensi pengguna dan kondisi lalu lintas yang sedang berlangsung.
- Fitur-fitur tambahan seperti pembayaran elektronik atau pemesanan tiket secara online juga dapat ditambahkan untuk meningkatkan kenyamanan pengguna dalam menggunakan transportasi publik.

# Penerbit Gunadarma

Agar sistem kecerdasan buatan (AI) dapat dipercaya, ada tujuh hal penting yang harus dipenuhi. Pertama, manusia harus bisa mengawasi dan mengendalikan AI, memastikan bahwa keputusan yang diambil oleh AI sesuai dengan keinginan dan nilai-nilai kemanusiaan. Kedua, AI harus dirancang dengan keamanan dan ketangguhan tinggi, sehingga dapat diandalkan dan tidak mudah diserang peretas. Ketiga, privasi dan data pengguna harus dijaga dengan ketat, memastikan bahwa informasi pribadi tidak disalahgunakan dan dikelola dengan baik. Keempat, AI harus beroperasi dengan transparansi, artinya cara kerja dan keputusan AI harus jelas dan mudah dipahami oleh pengguna. Kelima, AI harus adil dan tidak mendiskriminasi penggunanya. Keenam, AI harus mendukung kesejahteraan lingkungan dan masyarakat, berkontribusi pada kebaikan bersama. Terakhir, AI harus dapat dipertanggungjawabkan, dengan adanya pihak yang bertanggung jawab atas semua tindakan dan keputusan yang diambil oleh sistem AI. Dengan memenuhi ketujuh hal ini, sistem AI dapat menjadi lebih dapat dipercaya dan bermanfaat bagi semua pengguna (Adadi, 2023).

## KESIMPULAN

Dalam konteks transportasi di Jakarta, data survei menunjukkan bahwa mayoritas responden mendukung kebijakan pemerintah Indonesia terkait transportasi. Hal ini menggambarkan kesesuaian langkah-langkah pemerintah dengan keinginan penduduk kota. Namun, survei juga mengungkapkan variasi sentimen publik terhadap kebijakan transportasi, dengan beberapa mendapatkan dukungan signifikan sementara yang lain menimbulkan kekhawatiran. Oleh

karena itu, penting bagi pembuat kebijakan dan otoritas kota untuk memahami pandangan masyarakat ini, karena kebijakan mereka membentuk masa depan transportasi Jakarta.

Salah satu temuan penting dari survei adalah dukungan yang kuat untuk kebijakan yang mendorong integrasi berbagai moda transportasi publik, terutama integrasi dengan destinasi rekreasi. Hal ini menandakan perlunya konektivitas dan aksesibilitas yang ditingkatkan dalam jaringan transportasi publik Jakarta. Masyarakat percaya bahwa sistem transportasi terintegrasi dapat mengurangi ketergantungan pada kendaraan pribadi, mengatasi kemacetan lalu lintas, dan menurunkan tingkat polusi.

Integrasi dan penyediaan informasi berbasis AI diidentifikasi sebagai langkah yang tepat untuk mengatasi beberapa masalah yang dihadapi, seperti waktu tunggu yang panjang, kepadatan, dan informasi rute yang kurang memadai. Potensi solusi lainnya adalah pengembangan superaplikasi yang dapat menangani beberapa masalah tersebut secara holistik, seperti memberikan informasi real-time tentang jadwal dan kepadatan transportasi publik, serta menyediakan layanan alternatif saat cuaca buruk dan opsi perjalanan yang ramah bagi penyandang disabilitas. Dengan pendekatan ini, diharapkan akan ada peningkatan signifikan dalam pengalaman transportasi publik di Jakarta, yang juga dapat memberikan dampak positif pada citra Jakarta sebagai kota pintar yang progresif. Tantangan berikutnya adalah bagaimana mengoptimalkan aksesibilitas bagi penduduk kota penyangga Jakarta?.

## REKOMENDASI KEBIJAKAN (*POLICY BRIEF*)

Saat mengembangkan aplikasi berbasis kecerdasan buatan untuk integrasi transportasi publik, pemerintah perlu memperhatikan ketentuan yang terkandung dalam Undang-Undang Informasi dan Transaksi Elektronik (UU ITE) Republik Indonesia. Beberapa kaitannya adalah:

### 1. **Perlindungan Data Pengguna:**

UU ITE mengatur perlindungan data pribadi pengguna. Dalam pengembangan aplikasi, pemerintah harus memastikan bahwa data pribadi pengguna disimpan dan diolah sesuai dengan ketentuan yang diatur dalam undang-undang ini, termasuk persetujuan pengguna atas penggunaan data mereka.

### 2. **Pencegahan Penyalahgunaan Teknologi:**

UU ITE juga mengatur tentang pencegahan penyalahgunaan teknologi, termasuk penggunaan AI dalam aplikasi transportasi publik. Pemerintah harus memastikan bahwa aplikasi tersebut tidak digunakan untuk tujuan yang melanggar hukum, seperti pelanggaran privasi atau pencemaran nama baik.

### 3. **Perlindungan Konsumen:**

UU ITE memberikan perlindungan kepada konsumen terkait transaksi elektronik. Dalam konteks aplikasi transportasi publik, pemerintah harus memastikan bahwa konsumen dilindungi dari praktik-praktik yang merugikan, seperti penipuan atau penyalahgunaan informasi pembayaran.

Dengan memperhatikan ketentuan dalam UU ITE, pemerintah dapat memastikan bahwa pengembangan dan penggunaan aplikasi berbasis kecerdasan buatan untuk integrasi transportasi publik dilakukan secara legal, etis, dan sesuai dengan hak-hak pengguna. Hal ini penting untuk membangun kepercayaan masyarakat dan meningkatkan adopsi teknologi

di sektor transportasi publik.

## DAFTAR PUSTAKA

- Adadi, A., & Bouhoute, A. (2023). *Explainable Artificial Intelligence for Intelligent Transportation Systems*. Taylor & Francis Group. <https://public.ebookcentral.proquest.com/choice/PublicFullRecord.aspx?p=30750553>
- Annisah, A. (2018). Usulan Perencanaan Smart City: Smart Governance Pemerintah Daerah Kabupaten Mukomuko [Internet]. [cited 2024 May 10] *Masyarakat Telematika Dan Informasi: Jurnal Penelitian Teknologi Informasi Dan Komunikasi*, 8(1), 59-80. Available from: <https://media.neliti.com/media/publications/233812-usulan-perencanaan-smart-city-smart-gove-d5e8410f.pdf>
- Aulia Mutiara Hatia Putri [Internet]. 2023. Penyebab Polusi: PLTU Vs Kendaraan, Mana yang Benar? CNBC Indonesia Research; [updated 2023 Aug 27; cited 2024 May 14]. Available from: <https://www.cnbcindonesia.com/research/20230827113429-128-466441/penyebab-polusi-pltu-vs-kendaraan-mana-yang-benar>
- Caltrans. 2010. Smart Mobility 2010: A Call to Action for the New Decade [Internet]. [cited 2024 May 10]. Available from: <https://dot.ca.gov/-/media/dot-media/programs/transportation-planning/documents/office-of-smart-mobility-and-climate-change/smf-handbook-062210-a-a11y.pdf>.
- Noer, M. K., Agustini, P., Rudianto D. Productive Generation Attitude About Policy On Transportation Sector In Jakarta. Commnews Conference. 2023.
- Nora Azizah [Internet]. 2023. Pakar: Transportasi Umum Bisa Kurangi Tingkat Polusi Udara. Republika; [updated 2023 Aug 30; cited 2024 May 14]. Available from: <https://news.republika.co.id/berita/s071kp463/pakar-transportasi-umum-bisa-kurangi-tingkat-polusi-udara>
- Permana, A. Y., Soetomo, S., Hardiman, G., & Buchori, I. (2013). Smart Architecture as a Concept of Sustainable Development in the Improvement of the Slum Settlementarea in Bandung [Internet]. [cited 2024 May 10]. *Internasional Refereed Journal of Engineering and Science*, 2(9), 26-35. Available from: <http://irjes.com/Papers/vol2-issue9/E02092635.pdf>
- Electronic Books*
- Widiastuti, T., Mihardja, E. J., & Agustini, P. M. (2019). *Strategi City Branding Kota Samarinda*. Universitas Bakrie Press, Jakarta. ISBN 978-602-7989-22-1
- Wicaksana, G. B. A. (2020). Future city based on smart mobility concept: Character and benchmarking [Internet]. [cited 2024 May 10]. *Journal of Architectural Research and Education*, 2(1), 10. Available from: <https://ejournal.upi.edu/index.php/JARE/article/view/24112> doi: 10.17509/jare.v2i1.24112



## PEMBANGUNAN KOTA JAKARTA YANG BERKELANJUTAN MELALUI INTEGRASI AI DALAM SEKTOR ENERGI DAN TRANSPORTASI

Mustika Sari<sup>1</sup>, Indriyati<sup>2\*</sup>, Lut Mafrudoh<sup>3</sup>

<sup>1, 2, 3</sup> Manajemen, Institut Transportasi dan Logistik Trisakti, Jakarta 13410, Indonesia

\*Penulis Koresponden, [indry2833@gmail.com](mailto:indry2833@gmail.com)

### ABSTRAK

Pengembangan kota Jakarta yang berkelanjutan yang mengacu pada SDGS yang mempunyai 17 tujuan, Dimana salah satunya adalah kota dan pemukiman yang berkelanjutan. Tantangan kota Jakarta adalah akses transportasi publik yang berkelanjutan antar kota dan kota2 penyangga. Salah satu tantangan yang dihadapi Jakarta dalam mewujudkan pembangunan yang berkelanjutan adalah akses transportasi publik yang berkelanjutan antar kota dan kota-kota penyangga. Integrasi kecerdasan buatan (AI) dalam sektor energi dan transportasi dapat menjadi solusi untuk mengatasi tantangan tersebut. AI dapat digunakan untuk meningkatkan efisiensi dan efektivitas sistem transportasi publik, sehingga dapat mengurangi ketergantungan pada kendaraan pribadi dan meningkatkan aksesibilitas masyarakat. Dalam penelitian ini, kami mengkaji potensi integrasi AI dalam sektor energi dan transportasi untuk mendukung pembangunan kota Jakarta yang berkelanjutan. Kami menganalisis potensi AI dalam meningkatkan efisiensi dan efektivitas sistem transportasi publik, serta potensi AI dalam mengurangi emisi gas rumah kaca dari sektor transportasi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa integrasi AI memiliki potensi yang besar untuk mendukung pembangunan kota Jakarta yang berkelanjutan. AI dapat digunakan untuk meningkatkan efisiensi dan efektivitas sistem transportasi publik, sehingga dapat mengurangi ketergantungan pada kendaraan pribadi dan meningkatkan aksesibilitas masyarakat. Selain itu, AI juga dapat digunakan untuk mengurangi emisi gas rumah kaca dari sektor transportasi.

Kata Kunci: *Artificial Intelligence (AI)*, transportasi publik, sektor energi, integrasi

### PENDAHULUAN

Jakarta, ibu kota Indonesia, tengah menghadapi tantangan berat dalam pembangunan berkelanjutan. Populasi yang terus meningkat berbanding lurus dengan kemacetan lalu lintas yang kian parah. Polusi udara dan emisi gas rumah kaca pun turut menjadi momok. Di sisi lain, keterbatasan sumber daya energi semakin menjadi kendala. Namun, di tengah tantangan tersebut, muncul secercah harapan: kecerdasan buatan (Artificial Intelligence, AI) (Anggy Giri Prawiyogi & Aang Solahudin Anwar, 2023) . Teknologi AI berpotensi menjadi jawaban untuk mewujudkan Jakarta sebagai kota yang berkelanjutan. Visi integrasi AI dalam pembangunan Jakarta bukanlah sekadar angan-angan. Dengan kecerdasan buatan, Jakarta dapat menjelma menjadi kota pintar yang efisien dan ramah lingkungan (Mauleny, 2015). Kualitas hidup masyarakat pun akan meningkat seiring dengan terciptanya lingkungan yang lebih sehat dan mobilitas yang lebih cerdas. Pada akhirnya, Jakarta yang berkelanjutan tidak hanya akan meningkatkan kesejahteraan warganya, tetapi juga turut mendongkrak daya saing kota ini di tingkat global (Manullang & Sinaga, 2022).

#### Latar belakang

Pembangunan kota Jakarta yang berkelanjutan menjadi sebuah kebutuhan mendesak dalam menghadapi tantangan global akan perubahan iklim dan pertumbuhan populasi yang cepat. Sebagai sebuah megapolis yang berkembang pesat, Jakarta memiliki peran yang signifikan dalam mencapai Tujuan Pembangunan Berkelanjutan (SDGs) (Hidayatulloh & Anisa, 2022) terutama pada tujuan ke-11 yang menekankan pentingnya kota dan pemukiman yang



berkelanjutan. Kota-kota besar seperti Jakarta memiliki peran kunci dalam mengurangi ketimpangan, meningkatkan kualitas hidup penduduknya, dan melindungi lingkungan. Namun, Jakarta juga dihadapkan pada berbagai tantangan yang kompleks, termasuk kemacetan lalu lintas, polusi udara, kepadatan penduduk yang tinggi, dan ketidaksetaraan akses terhadap layanan dasar. Dalam konteks ini, pembangunan kota Jakarta yang berkelanjutan tidak hanya menjadi sebuah aspirasi, tetapi juga sebuah kebutuhan mendesak (Setyono & Kiono, 2021). Pentingnya pembangunan kota Jakarta yang berkelanjutan dalam konteks SDGs menjadi landasan bagi penelitian dan tindakan bersama dalam menghadapi tantangan-tantangan yang dihadapi, khususnya dalam mengoptimalkan akses transportasi publik antar kota dan kota penyangga (Yudiartono et al., 2022). Dalam bab ini, kita akan mengeksplorasi peran integrasi kecerdasan buatan (AI) dalam merumuskan solusi untuk tantangan tersebut, dengan fokus pada peningkatan efisiensi dan efektivitas sistem transportasi public (Zafira & Puspitasari, 2022).

Latar belakang ini menyoroti urgensi pembangunan kota Jakarta yang berkelanjutan sebagai respons terhadap tantangan global, dan menggarisbawahi peran kota besar seperti Jakarta dalam mencapai Tujuan Pembangunan Berkelanjutan. Hal ini juga menekankan bahwa meskipun Jakarta memiliki peran penting dalam mengurangi ketimpangan sosial dan melindungi lingkungan, namun kota ini dihadapkan pada sejumlah tantangan kompleks seperti kemacetan lalu lintas dan polusi udara. Dalam konteks ini, latar belakang ini memberikan pemahaman yang lebih dalam tentang urgensi dan kompleksitas pembangunan kota Jakarta yang berkelanjutan, serta menegaskan pentingnya langkah-langkah strategis dalam mencapai transformasi tersebut (Karim et al., 2019).

Kemacetan lalu lintas di Jakarta tidak hanya menimbulkan masalah mobilitas, tetapi juga berdampak langsung pada kegiatan ekonomi dan kualitas hidup penduduk. Dengan populasi kendaraan yang terus meningkat dan infrastruktur jalan yang terbatas, kemacetan menjadi sebuah fenomena tak terhindarkan. Waktu yang terbuang dalam kemacetan lalu lintas juga mengakibatkan peningkatan biaya operasional transportasi bagi penduduk dan bisnis, karena waktu yang terbuang berarti biaya bahan bakar dan biaya operasional kendaraan yang lebih tinggi. Ketimpangan aksesibilitas transportasi antara daerah perkotaan dan pinggiran kota dapat menyebabkan isolasi komunitas lokal dari layanan dan peluang ekonomi yang lebih luas. Hal ini dapat memperburuk disparitas sosial-ekonomi antara wilayah perkotaan dan pedesaan, serta menghambat pembangunan yang merata di seluruh kota Jakarta.

Meskipun telah ada upaya pengembangan infrastruktur transportasi publik seperti jaringan Transjakarta dan kereta api, masih terdapat keterbatasan dalam jangkauan, kapasitas, dan kualitas layanan. Wilayah-wilayah di pinggiran kota atau kota-kota penyangga mungkin tidak mendapatkan layanan transportasi publik yang memadai, sehingga meningkatkan ketergantungan pada kendaraan pribadi dan berkontribusi pada peningkatan kemacetan lalu lintas (De Gani & Sembiring, 2023). Polusi udara yang dihasilkan oleh kendaraan bermotor menjadi masalah serius di Jakarta, mengancam kesehatan masyarakat dan merusak kualitas lingkungan. Tingginya tingkat emisi gas buang dan partikel berbahaya dari kendaraan tidak hanya berdampak pada kesehatan fisik, tetapi juga memperburuk kualitas udara dan lingkungan kota secara keseluruhan. Selain itu, tingkat kebisingan yang tinggi dari lalu lintas juga dapat berdampak negatif pada kesehatan mental dan kesejahteraan penduduk secara keseluruhan (Ninvika et al., 2024).

Tujuan Pembangunan Berkelanjutan (SDGs) adalah serangkaian target global yang disepakati oleh negara-negara anggota Perserikatan Bangsa-Bangsa (PBB) pada tahun 2015 untuk mencapai pembangunan yang berkelanjutan di seluruh dunia (Sitorus, 2022). Tujuan ke-11 dari SDGs adalah "Membangun kota dan pemukiman yang inklusif, aman, tangguh, dan berkelanjutan". Dalam konteks tujuan ke-11 SDGs, fokus utamanya adalah pada pembangunan kota dan pemukiman yang dapat menjamin akses yang adil terhadap layanan dasar, infrastruktur yang berkualitas, perlindungan lingkungan yang berkelanjutan, dan kesempatan ekonomi yang merata bagi seluruh penduduk. Beberapa aspek penting yang tercakup dalam tujuan ini meliputi:

1. **Aksesibilitas dan Ketersediaan Infrastruktur:** Memastikan adanya infrastruktur yang memadai untuk transportasi, air bersih, sanitasi, listrik, dan perumahan yang terjangkau dan berkualitas bagi semua warga kota.
2. **Pengurangan Ketimpangan:** Mengurangi kesenjangan dalam akses terhadap layanan dasar dan peluang ekonomi antara wilayah perkotaan dan pedesaan, serta antara kelompok-kelompok sosial yang berbeda.
3. **Kebijakan Lingkungan dan Perlindungan Lingkungan:** Mendorong praktik pembangunan yang ramah lingkungan, termasuk pengurangan polusi udara dan air, pengelolaan limbah yang efisien, dan perlindungan terhadap ekosistem perkotaan.
4. **Ketahanan Kota Terhadap Bencana:** Meningkatkan ketahanan kota terhadap bencana alam dan bencana terkait iklim, termasuk peningkatan perencanaan tata ruang dan mitigasi risiko bencana.
5. **Partisipasi Masyarakat dan Pengambilan Keputusan yang Inklusif:** Mendorong partisipasi aktif masyarakat dalam proses pengambilan keputusan yang berkaitan dengan pembangunan kota, serta memastikan akses yang adil terhadap keadilan dan layanan publik.

Dengan memperhatikan tujuan tersebut seperti yang telah diuraikan, kota-kota di seluruh dunia, termasuk Jakarta, diharapkan untuk mengimplementasikan kebijakan dan program yang berkelanjutan guna menciptakan kota yang inklusif, aman, dan tangguh bagi seluruh penduduknya (Diah Riski Hardiana, 2018). Ini berarti kota-kota harus mengadopsi pendekatan pembangunan yang memperhatikan kebutuhan semua lapisan masyarakat tanpa membedakan status sosial, ekonomi, atau geografis. Kebijakan yang inklusif akan memastikan bahwa setiap warga memiliki akses yang sama terhadap layanan dasar seperti pendidikan, kesehatan, air bersih, sanitasi, dan transportasi. Selain itu, kota-kota harus berupaya menciptakan lingkungan yang aman bagi penduduknya. Ini mencakup upaya untuk mengurangi tingkat kejahatan, memperbaiki sistem keamanan publik, meningkatkan akses terhadap pelayanan kepolisian, dan memperkuat infrastruktur tanggap darurat untuk menghadapi bencana alam atau ancaman keamanan lainnya. Dengan demikian, penduduk dapat merasa aman dan dilindungi dalam menjalani kehidupan sehari-hari di kota (Liun, 2018).

Kota juga perlu menjadi tangguh, artinya mampu bertahan dan beradaptasi di tengah tantangan eksternal seperti perubahan iklim, bencana alam, atau krisis kesehatan. Ini melibatkan upaya untuk meningkatkan ketahanan infrastruktur, meningkatkan sistem peringatan dini, mengembangkan rencana mitigasi risiko, dan membangun kapasitas komunitas untuk menghadapi situasi darurat. Dengan cara ini, kota dapat tetap berfungsi dengan baik dan menjaga keberlangsungan hidup penduduknya dalam menghadapi berbagai tantangan yang mungkin terjadi.

## Tujuan

Untuk mengeksplorasi peran integrasi kecerdasan buatan (AI) dalam merumuskan solusi untuk tantangan pembangunan kota Jakarta yang berkelanjutan, dengan fokus pada peningkatan efisiensi dan efektivitas sistem transportasi publik. Dalam konteks latar belakang yang telah dijelaskan, tujuan ini mencakup tantangan yang dihadapi Jakarta dalam mencapai pembangunan kota yang berkelanjutan, khususnya dalam hal aksestransportasi publik antar kota dan kota penyangga. Serta potensi integrasi kecerdasan buatan (AI) dalam mengatasi tantangan tersebut dengan meningkatkan efisiensi dan efektivitas sistem transportasi publik. Dan juga diharapkan dapat memberikan wawasan dan rekomendasi mengenai penerapan teknologi AI dalam konteks pembangunan kota Jakarta yang berkelanjutan, yang dapat menjadi panduan bagi para pengambil keputusan dan praktisi di bidang tersebut.

## Tantangan Akses Transportasi Publik

Tantangan yang dihadapi oleh Jakarta dalam menyediakan akses transportasi publik yang berkelanjutan antar kota dan kota penyangga merupakan hal yang kompleks dan memerlukan perhatian serius. Jakarta sebagai salah satu kota terpadat di dunia, dengan pertumbuhan populasi yang terus meningkat, menghadapi tekanan besar terhadap infrastruktur transportasinya. Dalam mengatasi tantangan ini, perlu dipertimbangkan berbagai faktor seperti pertumbuhan ekonomi yang cepat, perubahan pola perjalanan masyarakat, serta kebutuhan akan sistem transportasi yang ramah lingkungan. Kemacetan lalu lintas, keterbatasan infrastruktur, ketidaksetaraan akses, dan dampak lingkungan merupakan beberapa aspek yang perlu diperhatikan secara serius dalam upaya meningkatkan kualitas dan keberlanjutan sistem transportasi publik di Jakarta. Dengan pemahaman mendalam tentang tantangan ini, langkah-langkah strategis dapat dirancang untuk merumuskan solusi yang efektif dan berkelanjutan dalam meningkatkan akses transportasi publik di kota Jakarta (Suarna, 2013).

Berikut adalah beberapa poin penjelasan yang lebih detail terkait tantangan tersebut:

### 1. Kemacetan Lalu Lintas

Jakarta tidak hanya menjadi masalah mobilitas, tetapi juga mempengaruhi kegiatan ekonomi dan kualitas hidup penduduk. Dengan populasi kendaraan yang terus meningkat dan infrastruktur jalan yang terbatas, terjadinya kemacetan lalu lintas menjadi tak terhindarkan. Waktu yang terbuang dalam kemacetan lalu lintas juga berarti peningkatan biaya operasional transportasi bagi penduduk dan bisnis.

### 2. Keterbatasan Infrastruktur Transportasi

Meskipun telah terjadi pengembangan infrastruktur transportasi publik seperti jaringan Transjakarta dan kereta api, masih terdapat keterbatasan dalam jangkauan, kapasitas, dan kualitas layanan. Beberapa daerah di pinggiran kota atau kota-kota penyangga mungkin tidak dilayani dengan baik oleh sistem transportasi publik, menyebabkan ketergantungan yang tinggi pada kendaraan pribadi dan meningkatkan kemacetan lalu lintas.

### 3. Ketidaksetaraan Akses

Ketimpangan aksesibilitas transportasi antara daerah perkotaan dan pinggiran kota dapat mengisolasi komunitas lokal dari layanan dan peluang ekonomi yang lebih luas. Hal ini bisa menyebabkan ketidakmerataan dalam pembangunan dan meningkatkan disparitas sosial-ekonomi antara wilayah perkotaan dan pedesaan.

### 4. Dampak Lingkungan dan Kesehatan

Polusi udara yang dihasilkan oleh kendaraan bermotor menjadi masalah serius di Jakarta. Tingginya tingkat emisi gas buang dan partikel berbahaya dari kendaraan tidak hanya berdampak negatif pada kesehatan masyarakat, tetapi juga memperburuk kualitas udara

dan lingkungan kota secara keseluruhan. Selain itu, tingginya tingkat kebisingan dari lalu lintas juga dapat berdampak negatif pada kesehatan mental dan kesejahteraan penduduk. Pemaparan detail tentang tantangan-tantangan ini memperlihatkan bahwa akses transportasi publik yang berkelanjutan menjadi krusial dalam mencapai pembangunan kota Jakarta yang berkelanjutan. Dengan pemahaman yang mendalam tentang masalah ini, langkah-langkah strategis dapat dirancang untuk mengatasi tantangan tersebut demi mencapai tujuan pembangunan yang berkelanjutan (Abbas, 2020).

## **PERAN INTEGRASI AI DALAM SEKTOR ENERGI DAN TRANSPORTASI**

Integrasi kecerdasan buatan (AI) dalam sektor energi dan transportasi memiliki peran yang penting dalam mengatasi tantangan akses transportasi publik yang berkelanjutan di Jakarta. Dengan populasi yang terus bertambah dan infrastruktur yang terbatas, Jakarta memerlukan solusi yang inovatif untuk meningkatkan efisiensi dan kualitas layanan transportasi publiknya. Di sinilah peran AI menjadi krusial. Melalui analisis data yang canggih dan kemampuan prediktifnya, AI dapat membantu dalam merancang solusi yang lebih adaptif dan responsif terhadap dinamika pergerakan masyarakat. Misalnya, dengan memantau pola perjalanan, AI dapat menyesuaikan penjadwalan dan rute transportasi publik secara real-time, mengurangi waktu tunggu dan memaksimalkan pemanfaatan armada. Selain itu, AI juga dapat digunakan untuk mengelola kepadatan lalu lintas dengan lebih efisien. Dengan menganalisis data lalu lintas secara mendalam, sistem AI dapat mengidentifikasi pola kemacetan dan mengarahkan arus lalu lintas ke rute alternatif, sehingga mengurangi kemacetan dan waktu perjalanan (Kabul Paminto, 2020).

Di bidang energi, AI dapat membantu dalam pengoptimalan konsumsi energi pada armada transportasi publik. Dengan memantau dan menganalisis data penggunaan energi, AI dapat memberikan rekomendasi untuk meningkatkan efisiensi energi, mengurangi biaya operasional, dan mengurangi emisi gas rumah kaca. Lebih jauh lagi, pengembangan kendaraan otonom yang didukung oleh teknologi AI dapat membuka peluang baru dalam transformasi transportasi publik di Jakarta. Kendaraan otonom dapat mengurangi kecelakaan lalu lintas, meningkatkan keamanan, dan menyediakan akses transportasi yang lebih mudah bagi Masyarakat (Widyawati, 2022).

Dengan memanfaatkan kecerdasan buatan dalam sektor energi dan transportasi, Jakarta dapat menghadapi tantangan akses transportasi publik yang berkelanjutan dengan lebih efektif. AI bukan hanya menjadi alat untuk meningkatkan efisiensi operasional, tetapi juga merupakan fondasi untuk menciptakan sistem transportasi yang lebih adaptif, responsif, dan berkelanjutan untuk masa depan Jakarta yang lebih baik. AI dapat memberikan kontribusi yang signifikan melalui berbagai cara, seperti:

### **1. Optimasi Rute dan Penjadwalan**

AI dapat digunakan untuk menganalisis data lalu lintas secara real-time dan merancang rute optimal untuk transportasi publik. Dengan memanfaatkan algoritma machine learning, sistem transportasi dapat menyesuaikan penjadwalan dan rute berdasarkan pada pola perjalanan yang berubah.

### **2. Pengelolaan Kepadatan Lalu Lintas**

AI dapat membantu dalam mengelola kepadatan lalu lintas dengan memprediksi dan menghindari titik-titik kemacetan potensial. Dengan demikian, efisiensi transportasi publik dapat ditingkatkan dengan mengurangi waktu perjalanan dan meningkatkan keandalan layanan.

### **3. Peningkatan Efisiensi Energi**

Melalui analisis data dan pemodelan prediktif, AI dapat membantu dalam mengoptimalkan penggunaan energi dalam sistem transportasi. Ini termasuk manajemen energi untuk armada transportasi, pemantauan dan perawatan kendaraan, serta pengoptimalan konsumsi bahan bakar.

#### 4. **Pengembangan Kendaraan Otonom**

Pengembangan kendaraan otonom yang didukung oleh teknologi AI dapat mengubah paradigma transportasi publik. Dengan kendaraan yang dapat mengemudi sendiri dan berkomunikasi satu sama lain, efisiensi dan keamanan perjalanan dapat ditingkatkan secara signifikan.

#### 5. **Personalisasi Layanan Transportas** yaitu: AI dapat digunakan untuk menyediakan layanan transportasi publik yang lebih personal dan disesuaikan dengan kebutuhan individu. Ini dapat mencakup rekomendasi rute, jadwal perjalanan, dan informasi transportasi yang disesuaikan dengan preferensi pengguna.

Dengan memanfaatkan kecerdasan buatan (AI) dalam sektor energi dan transportasi, Jakarta dapat menghadapi tantangan akses transportasi publik yang berkelanjutan dengan lebih efektif. Integrasi AI membuka peluang untuk mengoptimalkan berbagai aspek sistem transportasi, mulai dari perencanaan rute, pengelolaan lalu lintas, hingga penggunaan energi yang lebih efisien. Penerapan AI dalam sistem transportasi memungkinkan Jakarta untuk meningkatkan efisiensi dan efektivitas layanan transportasi publik. Melalui analisis data yang canggih, AI dapat memberikan informasi real-time tentang kondisi lalu lintas, memprediksi pola pergerakan masyarakat, dan menyesuaikan penjadwalan transportasi secara dinamis. Hal ini membantu mengurangi waktu tunggu dan kemacetan, meningkatkan kenyamanan perjalanan, dan memperbaiki pengalaman pengguna secara keseluruhan (Yuliani, 2015).

Selain itu, integrasi AI juga membuka potensi untuk menciptakan lingkungan transportasi yang lebih inklusif, aman, dan berkelanjutan bagi penduduk kota. Dengan menerapkan teknologi AI dalam pengelolaan transportasi, Jakarta dapat memastikan aksesibilitas yang lebih baik bagi semua lapisan masyarakat, termasuk mereka yang tinggal di daerah terpencil atau kurang berkembang. Selain itu, sistem transportasi yang lebih efisien dan terorganisir dengan baik juga berkontribusi pada peningkatan keamanan, mengurangi risiko kecelakaan, dan menciptakan lingkungan yang lebih aman bagi pengguna jalan. Integrasi AI dalam sektor energi dan transportasi juga berpotensi untuk mempromosikan keberlanjutan lingkungan. Dengan memanfaatkan teknologi AI untuk mengoptimalkan penggunaan energi, Jakarta dapat mengurangi emisi gas rumah kaca dari sektor transportasi, memperbaiki kualitas udara, dan menjaga keberlanjutan lingkungan kota. Ini sejalan dengan komitmen global untuk mengurangi dampak negatif transportasi terhadap lingkungan dan mengarahkan perkembangan menuju pola transportasi yang lebih ramah lingkungan.

Secara keseluruhan, integrasi AI dalam sektor energi dan transportasi tidak hanya membawa potensi untuk meningkatkan efisiensi operasional, tetapi juga memberikan kesempatan untuk menciptakan transformasi positif dalam cara Jakarta mengelola transportasi publiknya. Dengan menerapkan teknologi AI secara bijaksana dan terarah, Jakarta dapat mencapai tujuan pembangunan kota yang lebih inklusif, aman, dan berkelanjutan bagi penduduknya.



## PEMBAHASAN

### INTEGRASI AI DALAM MENINGKATKAN EFISIENSI TRANSPORTASI PUBLIK

#### Meningkatkan Efisiensi Sistem Transportasi Publik dengan AI

Peraturan yang mengatur transportasi di Indonesia adalah Undang-Undang Nomor 22 tahun 2009 Tentang Lalu Lintas dan Angkutan Jalan, yang selanjutnya dikenal sebagai UU No. 22/2009. Dalam pasal 1 Ayat (37) UU No. 22/2009, kendaraan adalah semua jenis kendaraan, baik kendaraan bermotor maupun tidak bermotor. Peraturan transportasi kontemporer telah dibuat oleh pemerintah, seperti Peraturan Menteri Perhubungan Republik Indonesia Nomor PM 45 Tahun 2020 tentang Kendaraan Tertentu Dengan Penggerak Motor Listrik (PM No. 45 Tahun 2020) dan Peraturan Menteri Perhubungan Republik Indonesia Nomor PM 44 Tahun 2020 tentang Pengujian Tipe Fisik Kendaraan Bermotor Dengan Penggerak Motor Listrik (PM No. 44 Tahun 2020) (Juliansyah, 2022).

Untuk menghadapi tantangan yang akan datang dari perkembangan kota kontemporer, konsep Smart City digunakan dalam ibu kota negara baru. Dalam beberapa dekade terakhir, konsep ini telah menjadi sangat populer karena dianggap mampu mengatasi pertumbuhan populasi yang terus meningkat di perkotaan dan juga dianggap mampu memenuhi permintaan untuk pendekatan kreatif dan inovatif untuk mengelola kompleksitas kehidupan perkotaan. Diharapkan, dengan mengambil pelajaran dari pembangunan Jakarta, konsep kota pintar dapat diterapkan pada ibu kota negara baru untuk mengatasi masalah dan tantangan yang mungkin muncul dalam pembangunan perkotaan di masa mendatang. Namun, untuk mencapai tujuan tersebut, diperlukan data dan teknologi yang dapat meningkatkan efisiensi, keberlanjutan, pembangunan ekonomi, dan kualitas hidup Masyarakat (Sari, 2022).

Kendaraan otonom adalah tren baru yang unik dan kontemporer dalam kemajuan transportasi publik. Semua aspek implementasinya, dari kebijakan hingga implementasi, menarik untuk dipelajari karena diterapkan di banyak negara seperti Amerika Serikat, Korea Selatan, China, dan Jerman. Ibu Kota Negara Baru (IKN) berencana untuk menggunakan Integrated Transport System (ITS) dan kendaraan otonom untuk transportasi publik di masa mendatang, Indonesia memiliki peluang besar untuk mencapai level 3 hingga 5. Namun, masalah seperti infrastruktur jalan raya, ancaman keamanan siber, dan sikap tidak disiplin masyarakat dapat menghalangi adopsi kendaraan otonom di Indonesia (Rasdiyanti et al., 2024).

Pendekatan Internet of Things (IoT) dapat meningkatkan konsumsi energi terbarukan, meningkatkan efisiensi energi, dan mengurangi dampak negatif pada lingkungan yang disebabkan oleh penggunaan energi. (Anggy Giri Prawiyogi & Aang Solahudin Anwar, 2023).

#### Mengurangi Ketergantungan pada Kendaraan Pribadi

Pembahasan mengenai dampak penggunaan AI dalam transportasi publik terhadap mengurangi ketergantungan pada kendaraan pribadi, serta peningkatan aksesibilitas masyarakat terhadap transportasi yang berkelanjutan.

Pemerintah saat ini sedang bersemangat untuk meningkatkan pelayanan publik melalui penggunaan teknologi informasi dan komunikasi kontemporer. Peningkatan efektivitas dan kualitas pelayanan tidak hanya dipengaruhi oleh faktor teknologi; visi dan misi organisasi juga berpengaruh. Untuk membantu pelayanan masyarakat, sistem informasi ini membutuhkan bantuan dari dalam organisasi. (Amy et al., 2020).



DKI Jakarta memiliki banyak masalah transportasi yang rumit. Salah satu masalah transportasi saat ini adalah kepadatan lalu lintas yang masih sulit untuk diatasi. Panjang jalan di Jakarta hanya sekitar 7 persen dari luas kota, tetapi di negara maju, panjang jalan harus antara 12 hingga 15 persen dari luas kota. Hal ini disebabkan oleh sejumlah alasan, termasuk kebutuhan mobilitas yang tinggi dan gaya hidup kendaraan pribadi di masyarakat DKI Jakarta. Pada tahun 2020, ada 20.221.821 kendaraan di DKI Jakarta, menurut Jakarta.bps.go.id. Jumlah tersebut terdiri dari motor, mobil penumpang, bus, dan truk. Jumlah kendaraan roda dua, atau motor, adalah yang paling banyak dari keempat kategori tersebut, dengan 16.141.380 unit. (Mu'allimah & Mashpufah, 2021)

Transportasi publik massal yang cepat dan murah harus digunakan untuk mengurangi kemacetan di DKI Jakarta. Ini disebabkan oleh fakta bahwa memindahkan penumpang dari kendaraan pribadi ke transportasi publik yang hemat waktu dan biaya, seperti Bus Transjakarta, yang juga dikenal sebagai Busway. Diharapkan bahwa ini akan membantu mengurangi kemacetan di Ibu Kota Negara. Oleh karena itu, kebijakan yang mengatur layanan publik berbasis Bus Rapid Transit (BRT) yang memudahkan perjalanan. (Kurniawan, 2019).

Untuk berkompetisi dalam ekonomi global kontemporer, pemerintah di seluruh dunia harus memiliki kemampuan strategis untuk "governance dinamis". Pemerintah diminta untuk menyesuaikan diri karena berbagai bidang dan aspek kehidupan sedang berubah. Untuk membuat dan menerapkan kebijakan pemerintah yang beradaptasi dengan perubahan lingkungan, tata kelola yang dinamis menjadi landasan penting. Pelayanan transportasi publik yang mudah dan aman telah dibuat oleh pemerintah provinsi DKI Jakarta. Meskipun banyak inovasi telah dilakukan, masih ada banyak hal yang perlu diperbaiki. Karena statusnya sebagai pusat ibu kota dan pusat ekonomi, masyarakat daerah memilih Jakarta sebagai tempat migrasi. Dalam hal ini, pemerintah DKI Jakarta menghadapi tantangan karena harus membuat kebijakan yang sesuai dengan kebutuhan masyarakat dan tetap fleksibel (Ramadhan, 2023).

## **AI DALAM MENGURANGI EMISI GAS RUMAH KACA**

### **Menggunakan AI untuk Mengurangi Emisi Gas Rumah Kaca**

Dalam mengatasi masalah emisi gas rumah kaca dari sektor transportasi, kecerdasan buatan (AI) telah membuka peluang besar untuk menciptakan solusi yang efektif. Menggunakan kecerdasan buatan (AI) untuk mengurangi emisi gas rumah kaca dalam sektor transportasi menjanjikan solusi yang efektif dan inovatif dalam menghadapi tantangan perubahan iklim. AI memberikan kemampuan untuk menganalisis data besar secara cepat dan akurat, serta menghasilkan rekomendasi yang tepat waktu untuk mengoptimalkan penggunaan sumber daya dan mengurangi dampak negatif terhadap lingkungan (Iyer, 2021).

Salah satu aplikasi utama AI adalah dalam pengoptimalan penggunaan bahan bakar. Melalui analisis data tentang kondisi jalan, lalu lintas, cuaca, dan kondisi kendaraan, sistem AI dapat memberikan strategi pengemudi yang paling efisien untuk mengurangi konsumsi bahan bakar. Ini dapat mencakup saran tentang kecepatan optimal, rute yang lebih efisien, dan perawatan kendaraan yang tepat waktu untuk meminimalkan emisi gas buang.

Selain itu, AI juga dapat digunakan dalam manajemen lalu lintas yang lebih efisien. Dengan memprediksi pola lalu lintas dan mengatur sinkronisasi lampu lalu lintas secara dinamis, sistem AI dapat mengurangi kemacetan dan waktu tunggu yang berlebihan. Ini tidak hanya mengurangi emisi gas buang karena kendaraan tidak terjebak dalam lalu lintas yang padat, tetapi juga meningkatkan efisiensi penggunaan infrastruktur transportasi yang ada. Kemudian

dapat digunakan untuk mempromosikan transportasi berkelanjutan. Dengan menganalisis data perilaku pengguna transportasi, sistem AI dapat menyusun strategi promosi yang disesuaikan untuk mendorong penggunaan kendaraan ramah lingkungan seperti kendaraan listrik, carpooling, atau transportasi umum. Ini membantu mengurangi konsumsi bahan bakar fosil dan emisi gas rumah kaca secara keseluruhan (Bharadiya, 2023).

Secara keseluruhan, penggunaan AI dalam mengurangi emisi gas rumah kaca dari sektor transportasi menawarkan potensi besar untuk menciptakan solusi yang efektif dan berkelanjutan dalam menghadapi tantangan perubahan iklim. Dengan memanfaatkan analisis data yang canggih dan kecerdasan buatan, kita dapat mengoptimalkan penggunaan sumber daya, mengurangi polusi udara, dan mempromosikan transportasi berkelanjutan untuk melestarikan lingkungan alam bagi generasi mendatang (Chan et al., 2022).

**Beberapa aplikasi utama AI dalam konteks ini termasuk:**

#### **4. Pengoptimalan Penggunaan Bahan Bakar**

AI dapat digunakan untuk mengoptimalkan penggunaan bahan bakar dalam kendaraan, baik kendaraan pribadi maupun transportasi umum. Sistem AI dapat menganalisis data secara real-time tentang kondisi jalan, lalu lintas, dan kondisi kendaraan untuk menghasilkan strategi pengemudi yang paling efisien. Ini dapat mencakup saran tentang kecepatan optimal, rute yang lebih efisien, dan pemeliharaan kendaraan yang tepat waktu untuk meminimalkan konsumsi bahan bakar dan emisi.

#### **5. Manajemen Lalu Lintas yang Efisien**

AI dapat membantu dalam manajemen lalu lintas yang lebih efisien, mengurangi kemacetan dan waktu tunggu yang berlebihan. Dengan menganalisis data lalu lintas secara real-time, sistem AI dapat mengoptimalkan sinkronisasi lampu lalu lintas, mengalokasikan jalur dengan lebih baik, dan memberikan rekomendasi tentang waktu perjalanan yang optimal. Hal ini tidak hanya mengurangi emisi gas buang karena kurangnya kemacetan, tetapi juga meningkatkan efisiensi penggunaan infrastruktur transportasi yang ada.

#### **6. Promosi Transportasi Berkelanjutan**

AI dapat digunakan untuk mengembangkan dan mempromosikan solusi transportasi berkelanjutan, seperti penggunaan kendaraan listrik, carpooling, atau transportasi umum. Melalui analisis data penggunaan transportasi dan preferensi pengguna, sistem AI dapat menyusun strategi promosi yang disesuaikan untuk mendorong perilaku transportasi yang ramah lingkungan. Ini dapat mencakup insentif finansial, kampanye kesadaran, atau pengembangan aplikasi yang memudahkan akses ke opsi transportasi berkelanjutan.

### **Dampak Positif Integrasi AI terhadap Lingkungan**

Integrasi kecerdasan buatan (AI) dalam sektor transportasi tidak hanya membawa manfaat operasional dan ekonomi, tetapi juga dampak positif yang signifikan terhadap lingkungan alam. Pertama, AI berperan dalam pengurangan polusi udara. Dengan memanfaatkan teknologi AI untuk mengoptimalkan penggunaan bahan bakar dan manajemen lalu lintas, kita dapat mengurangi jumlah kendaraan yang beroperasi dalam kondisi yang tidak efisien, sehingga mengurangi emisi gas buang. Selain itu, promosi transportasi berkelanjutan melalui strategi AI juga berkontribusi pada pengurangan polusi udara dengan mendorong penggunaan kendaraan ramah lingkungan seperti kendaraan listrik atau transportasi umum.

Kedua, integrasi AI membantu dalam perlindungan sumber daya alam. Dengan mengurangi konsumsi bahan bakar fosil dan mengoptimalkan penggunaan infrastruktur transportasi yang ada, kita dapat mengurangi tekanan terhadap lingkungan alam, seperti pengurangan habitat

yang disebabkan oleh pembangunan jalan baru atau pengeboran minyak. Dengan demikian, integrasi AI membantu dalam mempertahankan ekosistem yang sehat dan keberlanjutan sumber daya alam bagi masa depan.

Secara keseluruhan, integrasi AI dalam sektor transportasi tidak hanya membawa manfaat ekonomi dan efisiensi operasional, tetapi juga memainkan peran kunci dalam mengurangi emisi gas rumah kaca dan melestarikan lingkungan alam untuk generasi mendatang. Dengan memanfaatkan potensi AI untuk mengembangkan solusi yang inovatif dan berkelanjutan, kita dapat bergerak menuju masa depan yang lebih hijau dan berkelanjutan bagi seluruh makhluk hidup di planet ini. Integrasi AI dalam sektor transportasi tidak hanya membawa manfaat operasional dan ekonomi, tetapi juga dampak positif yang signifikan terhadap lingkungan:

### **1. Pengurangan Polusi Udara**

Dengan mempromosikan penggunaan kendaraan yang lebih efisien dan ramah lingkungan serta mengoptimalkan manajemen lalu lintas, integrasi AI dapat secara langsung mengurangi emisi polutan udara berbahaya. Penurunan dalam penggunaan bahan bakar fosil juga akan mengurangi jumlah partikel polusi yang dilepaskan ke atmosfer.

### **2. Perlindungan Sumber Daya Alam**

Dengan mengurangi konsumsi bahan bakar fosil dan mengoptimalkan penggunaan infrastruktur transportasi yang ada, integrasi AI membantu melindungi sumber daya alam yang terbatas. Hal ini termasuk mengurangi pengeboran minyak, penurunan tekanan terhadap habitat alami, dan pengurangan dampak negatif lainnya terhadap ekosistem.

Dengan demikian, integrasi AI dalam sektor transportasi tidak hanya membawa manfaat ekonomi dan efisiensi operasional, tetapi juga memainkan peran kunci dalam mengurangi emisi gas rumah kaca dan melestarikan lingkungan alam untuk generasi mendatang.

## **KESIMPULAN**

Dalam menghadapi tantangan yang kompleks dalam pembangunan kota Jakarta yang berkelanjutan, integrasi kecerdasan buatan (AI) dalam sektor energi dan transportasi telah menunjukkan potensi besar untuk meningkatkan efisiensi operasional, mengurangi dampak lingkungan, dan menciptakan lingkungan transportasi yang lebih inklusif dan aman bagi penduduk kota. Melalui penelitian ini, kami dapat menyimpulkan bahwa penerapan teknologi AI dalam pengelolaan energi dan transportasi memiliki dampak positif yang signifikan dalam mengoptimalkan layanan transportasi publik, mengurangi kemacetan lalu lintas, dan mengurangi emisi gas rumah kaca. Namun, upaya integrasi AI memerlukan kerjasama antara pemerintah, sektor swasta, dan masyarakat sipil untuk menciptakan kebijakan yang mendukung, infrastruktur yang memadai, dan kesadaran masyarakat yang tinggi terhadap manfaat teknologi AI dalam kehidupan sehari-hari.

## REKOMENDASI KEBIJAKAN (POLICY BRIEF)

### 1. Penguatan Kerjasama Antarstakeholder:

Pemerintah Provinsi DKI Jakarta perlu meningkatkan kerjasama dengan pihak swasta, akademisi, dan masyarakat sipil dalam pengembangan dan implementasi solusi berbasis AI dalam sektor energi dan transportasi. Dengan membangun kemitraan yang kuat, Jakarta dapat memanfaatkan sumber daya dan pengetahuan yang beragam untuk mencapai tujuan pembangunan kota yang berkelanjutan.

### 2. Peningkatan Infrastruktur Digital:

Pemerintah perlu menginvestasikan lebih lanjut dalam infrastruktur digital yang mendukung implementasi teknologi AI dalam pengelolaan transportasi. Hal ini meliputi pengembangan sensor dan sistem monitoring, serta penyediaan akses internet yang luas dan terjangkau untuk memfasilitasi pertukaran data secara real-time.

### 3. Pendidikan dan Pelatihan Tenaga Kerja:

Diperlukan pelatihan dan pendidikan khusus bagi tenaga kerja terkait untuk memahami dan mengelola teknologi AI dengan efektif. Program-program pelatihan ini dapat membantu memperkuat kapasitas sumber daya manusia yang terlibat dalam pengembangan dan implementasi solusi berbasis AI.

### 4. Pengembangan Kebijakan yang Terpadu:

Pemerintah perlu merumuskan kebijakan yang terpadu dan inklusif untuk mengatur penggunaan teknologi AI dalam sektor energi dan transportasi. Kebijakan ini harus mencakup standar, regulasi, dan insentif yang memfasilitasi pengembangan dan adopsi teknologi AI, sambil mempertimbangkan aspek keamanan, privasi, dan etika.

Dengan menerapkan rekomendasi ini, Pemerintah Provinsi DKI Jakarta dapat mempercepat transformasi menuju kota yang lebih inklusif, aman, dan berkelanjutan, serta memperkuat posisinya sebagai pusat inovasi dan pembangunan di Indonesia.

## DAFTAR PUSTAKA

- Abbas, K. A. (2020). Transportation and The Use of Oxygen. *Indonesian Journal of Anesthesiology and Reanimation*, 1(2), 58. <https://doi.org/10.20473/ijar.v1i22019.58-63>
- Amy, N., Muchali, A., Budiarto, J., Maulachela, A. B., & Ashril Rizal, A. (2020). Management of issue and public trust using information technology. *Journal of Physics: Conference Series*, 1539(1). <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1539/1/012073>
- Anggy Giri Prawiyogi, & Aang Solahudin Anwar. (2023). Perkembangan Internet of Things (IoT) pada Sektor Energi: Sistematis Literatur Review. *Jurnal MENTARI: Manajemen, Pendidikan Dan Teknologi Informasi*, 1(2), 187–197. <https://doi.org/10.34306/mentari.v1i2.254>
- Bharadiya, J. (2023). Artificial Intelligence in Transportation Systems A Critical Review. *American Journal of Computing and Engineering*, 6(1), 34–45. <https://doi.org/10.47672/ajce.1487>
- Chan, L., Hogaboam, L., & Cao, R. (2022). *Artificial Intelligence in Transportation BT - Applied Artificial Intelligence in Business: Concepts and Cases* (L. Chan, L. Hogaboam, & R. Cao (eds.); pp. 231–247). Springer International Publishing. [https://doi.org/10.1007/978-3-031-05740-3\\_15](https://doi.org/10.1007/978-3-031-05740-3_15)
- De Gani, F. A., & Sembiring, M. Y. G. (2023). Mengenal Identitas dan Integrasi Nasional

- Indonesia. *Indigenous Knowledge*, 1(2), 166–178.
- Diah Riski Hardiana. (2018). Implementasi sustainable development goals (SDGs) dalam pembangunan kota berkelanjutan di Jakarta. *Jusuf Kalla School of Government*, May, 1.
- Hidayatulloh, S., & Anisa. (2022). Kajian Prinsip Arsitektur Berkelanjutan pada Bangunan Perkantoran (Studi Kasus: Gedung Utama Kementerian PUPR). *Jurnal Arsitektur Zonasi*, 5(3), 521–530.
- Iyer, L. S. (2021). AI enabled applications towards intelligent transportation. *Transportation Engineering*, 5, 100083. <https://doi.org/10.1016/j.treng.2021.100083>
- Juliansyah, F. M. (2022). Kepastian Hukum Terhadap Mobil Berteknologi Auto Pilot Ditinjau Dari Perspektif Hukum Lalu Lintas Jalan Di Indonesia. *Bureaucracy Journal : Indonesia Journal of Law and Social-Political Governance*, 2(2), 794–805. <https://doi.org/10.53363/bureau.v2i2.108>
- Kabul Paminto, A. (2020). Analisis Dan Proyeksi Kebutuhan Energi Sektor Transportasi Di Indonesia. *Jurnal Energi Dan Lingkungan (Enerlink)*, 16(2), 51–54. <https://doi.org/10.29122/jel.v16i2.4801>
- Karim, M. Al, Utomo, G. J., & Fauziah, B. (2019). Kualitas Hidup Dan Pertumbuhan Ekonomi, Studi Kasus Dki Jakarta Dan Daerah Penyangganya. *Jurnal Pembangunan Wilayah & Kota*, 15(3), 227–247. <https://doi.org/10.14710/pwk.v15i3.22287>
- Kurniawan, I. A. (2019). Implementasi Kebijakan Transportasi Publik Bus Transjakarta (Busway) Dalam Rangka Mengurangi Kemacetan. *Jurnal Ilmiah Ilmu Administrasi*, 9(1), 1–24. <https://doi.org/10.33592/jiia.v9i2.258>
- Liun, E. (2018). Dampak Peralihan Massal Transportasi Jalan Raya Ke Mobil Listrik. *Jurnal Pengembangan Energi Nuklir*, 19(2), 113. <https://doi.org/10.17146/jpen.2017.19.2.4075>
- Manullang, E., & Sinaga, N. (2022). Potential and Challenges of Hydrogen Development as New Renewable Energy in Indonesia. *R.E.M. (Rekayasa Energi Manufaktur) Jurnal*, 7(2), 55–62. <https://doi.org/10.21070/r.e.m.v7i2.1647>
- Mauleny, A. T. (2015). Aglomerasi, Perubahan Sosial Ekonomi, Dan Kebijakan Pembangunan Jakarta. *Jurnal Ekonomi & Kebijakan Publik*, 6(2), 147–162.
- Mu'allimah, & Mashpufah, R. N. (2021). Analisis Kebijakan Pemerintah Provinsi Dki Jakarta Dalam. *Jurnal Manajemen Dan Ilmu Administrasi Publik*, 3, 291–296.
- Ninvika, D. H., Aulia, R. R., Wulandari, Y. P., & Pamungkas, B. P. (2024). *INTEGRASI TRANSPORTASI PUBLIK BERKELANJUTAN DI*. March.
- Prinsip Arsitektur Berkelanjutan Pada Bangunan Perkantoran Studi Kasus, K., Office Park, G., Selatan Syarif Hidayatulloh, T., & Hidayatulloh, S. (2022). Kajian Prinsip Arsitektur Berkelanjutan Pada Bangunan Perkantoran (Studi Kasus: Green Office Park 6, Tangerang Selatan). *Purwarupa*, 1(1), 21–26.
- Ramadhan, M. (2023). Pengelolaan Dalam Penyediaan Transportasi Public Pemerintah DKI Jakarta Dengan Konsep Dynamic Governance. *Journal of Social Contemplativa*, 1(1), 1–12. <https://doi.org/10.61183/jsc.v1i1.9>
- Rasdiyanti, A. D., Hayat, & Suyeno. (2024). Indonesia Government Policy Strategy to Support Autonomous Vehicles Implementation for Public Transport Strategi Kebijakan Pemerintah Indonesia dalam Mendukung Penerapan Kendaraan Otonom untuk Transportasi Publik. *Journal Aristo (Social, Politic, Humaniora)*, 12(2), 452–474.
- Sari, G. K. (2022). Integrasi Pembangunan Ibu Kota Negara Baru Dan Daerah Penyangganya. *STANDAR: Better Standard Better Living*, 1(2), 27–32. <http://majalah.bsilhk.menlhk.go.id/index.php/STANDAR/article/view/23>
- Setyono, A. E., & Kiono, B. F. T. (2021). Dari Energi Fosil Menuju Energi Terbarukan: Potret Kondisi Minyak dan Gas Bumi Indonesia Tahun 2020 – 2050. *Jurnal Energi Baru Dan Terbarukan*, 2(3), 154–162. <https://doi.org/10.14710/jebt.2021.11157>



- Sitorus, A. M. H. (2022). Sistem Transportasi Terintegrasi di DKI Jakarta: Analisis Transformasi Berkeadilan Sosial. *Jurnal Sosiologi Andalas*, 8(1), 31–41. <https://doi.org/10.25077/jsa.8.1.31-41.2022>
- Suarna, E. (2013). Analisa Karakteristik Keunggulan Ethanol Sebagai Sumber Energi Alternatif Pada Sektor Transportasi. *Jurnal Sains Dan Teknologi Indonesia*, 14(2). <https://doi.org/10.29122/jsti.v14i2.915>
- Widyawati, L. (2022). Ruang Terbuka Hijau Permukiman di Jakarta Menuju Pembangunan Kota Berkelanjutan. *Jurnal KaLIBRASI - Karya Lintas Ilmu Bidang Rekayasa Arsitektur, Sipil, Industri.*, 5(2), 148–159. <https://doi.org/10.37721/kalibrasi.v5i2.1080>
- Yudiartono, Y., Windarta, J., & Adiarso, A. (2022). Analisis Prakiraan Kebutuhan Energi Nasional Jangka Panjang Untuk Mendukung Program Peta Jalan Transisi Energi Menuju Karbon Netral. *Jurnal Energi Baru Dan Terbarukan*, 3(3), 201–217. <https://doi.org/10.14710/jebt.2022.14264>
- Yuliani, F. (2015). *Kemitraan Pemerintah , Dunia Usaha , dan Masyarakat dalam Sektor Transportasi Publik Partnerships among the Government , Business and the Society within Public Transportation Sector*. 02(02).
- Zafira, W. S., & Puspitasari, A. Y. (2022). Penerapan Prinsip Transit-Oriented Development (TOD) untuk Mewujudkan Transportasi yang Berkelanjutan. *Jurnal Kajian Ruang*, 2(1), 110. <https://doi.org/10.30659/jkr.v2i1.20440>

# Penerbit Gunadarma





## IMPLEMENTASI SMART PARKING BERBASIS ARTIFICIAL INTELLIGENCE UNTUK MENGATASI PERMASALAHAN PARKIR DI JAKARTA

Nita Merlina<sup>1\*</sup>, Agus Trihandoyo<sup>2</sup>, Nissa Almira Mayangky<sup>3</sup>,  
Daning Nur Sulistyowati<sup>4</sup>

<sup>1,3,4</sup>Sistem Informasi, Fakultas Teknologi Informasi, Universitas Nusa Mandiri, Jakarta  
13620, Indonesia

<sup>2</sup>Sistem dan Teknologi Informasi, Universitas Siber Indonesia,  
Jakarta 12530, Indonesia

\*Penulis Koresponden, e-mail: [nita@nusamandiri.ac.id](mailto:nita@nusamandiri.ac.id)

### ABSTRAK

Penggunaan kendaraan pribadi di Daerah Khusus Ibukota (DKI) Jakarta meningkatkan kebutuhan tempat parkir yang efisien. Masalah parkir yang tidak terkelola dengan baik menyebabkan kemacetan lalu lintas dan polusi udara. Artikel ini membahas solusi *Smart Parking* berbasis kecerdasan buatan (AI) sebagai solusi terhadap tantangan parkir di kota besar seperti DKI Jakarta. Memanfaatkan teknologi seperti *Internet of Things* (IoT), *Mask-RCNN*, dan pengenalan plat nomor otomatis, sistem mampu mendeteksi ketersediaan tempat parkir secara *real-time*, mengurangi waktu pencarian parkir, dan meningkatkan efisiensi manajemen parkir. Implementasi *Smart Parking* diharapkan mengurangi kemacetan lalu lintas dan meningkatkan pendapatan daerah. Kolaborasi antara pemerintah dan sektor swasta serta edukasi kepada masyarakat menjadi kunci sukses implementasi *Smart Parking*. Rekomendasi kebijakan meliputi pengembangan aplikasi mobile, penggunaan sistem pembayaran digital, dan pemasangan sensor serta CCTV di area parkir. Dengan demikian *Smart Parking* berbasis AI dapat menjadi solusi efektif dalam mengatasi permasalahan parkir di DKI Jakarta.

Kata Kunci: *Smart Parking*, Kecerdasan buatan (AI), DKI Jakarta, *Internet of Things* (IoT), Efisien

### PENDAHULUAN

Penggunaan kendaraan pribadi telah menjadi bagian integral dari kehidupan sehari-hari khususnya di perkotaan, di mana banyak orang lebih memilih kendaraan pribadi dibandingkan transportasi umum untuk perjalanan kerja. Hal ini disebabkan oleh kenyamanan dan pengurangan stres selama berkendara meskipun menemukan tempat parkir di kota besar bisa menjadi tantangan (Zulfiqar et al., 2023) (Alarbi et al., 2023). Cepatnya peningkatan kepemilikan mobil, kebijakan manajemen parkir yang tidak efisien, persyaratan parkir minimum untuk proyek baru, dan persepsi bahwa parkir adalah hak telah menyebabkan masalah signifikan di daerah perkotaan. Hal ini karena parkir yang melimpah mendorong ketergantungan pada kendaraan pribadi (Macea et al., 2023).

Seiring dengan pertumbuhan populasi jumlah kendaraan yang terus meningkat, menyebabkan tingginya angka kecelakaan terutama di daerah perkotaan. Setiap tahun 1,35 juta orang meninggal karena kecelakaan lalu lintas dan lima juta lainnya terluka. Lebih dari 80% dari jumlah total kematian akibat kecelakaan lalu lintas dapat dihindari melalui peningkatan kelancaran arus lalu lintas (Road Traffic Injuries, 2023).

Kemacetan lalu lintas sering terjadi di kota-kota besar terutama pada jam-jam sibuk akibat kekurangan tempat parkir atau sistem parkir yang tidak efisien. Area parkir yang tidak teratur dan berada di luar jalan semakin memperburuk situasi ini, menciptakan lingkungan yang tidak ramah dan padat bagi kendaraan lain (Thomas & Kovoov, 2018). Menurut Badan Pusat Statistik (BPS) Daerah Khusus Ibukota Jakarta (DKI Jakarta) jumlah penduduk DKI Jakarta pada tahun 2020-2022 mencapai 10.679.951 jiwa menjadikannya kota yang sangat padat dan menghadapi tantangan serius dalam pengelolaan parkir (Statistik, 2022), (Nwachi et al., 2024), (Chen et al., 2024).

Oleh karena itu artikel ini tidak hanya membahas ketersediaan tempat parkir tetapi juga mengeksplorasi pengenalan plat nomor kendaraan. Implementasi kecerdasan buatan dalam sistem *Smart Parking* diidentifikasi sebagai solusi yang menjanjikan untuk mengatasi masalah parkir dengan efisien. Sistem ini memanfaatkan teknologi informasi dan komunikasi termasuk sensor cerdas untuk mendeteksi ketersediaan tempat parkir, aplikasi seluler untuk membantu pengguna menemukan tempat parkir, dan integrasi dengan sistem pembayaran elektronik untuk mempermudah transaksi (Hou et al., 2020), (Perković et al., 2020). Berbagai teknologi seperti *Internet of Things* (IoT), *gateway*, dan integrasi perangkat lunak diterapkan dalam pengembangan kota cerdas. Teknologi ini meliputi sensor data, aplikasi seluler, *gateway* internal, dan studi literatur yang diperlukan (Al-Barhamtoshy et al., 2023), (Rocco et al., 2023).

Manfaat yang diharapkan dari penerapan sistem *Smart Parking* di DKI Jakarta mencakup pengurangan kemacetan lalu lintas dengan membantu pengguna menemukan tempat parkir lebih cepat, sehingga mengurangi waktu yang dihabiskan untuk mencari tempat parkir. Selain itu, sistem ini dapat mengurangi polusi udara dengan mengurangi jumlah kendaraan yang berputar-putar mencari parkir. Lebih lanjut, sistem *Smart Parking* diharapkan dapat meningkatkan pendapatan daerah melalui manajemen parkir yang lebih efisien.

## STATE OF THE ART

Penelitian yang diusulkan merujuk dari beberapa artikel, penelitian, maupun hasil pemikiran sebelumnya. Penelitian rujukan yang digunakan dalam penelitian ini ditunjukkan pada Tabel 1 di bawah ini.

**Tabel 1.** *State of the art*

| <b>Authors</b>                | <b>Developed technique</b> | <b>Result</b>                                                                                                                                                                                                           |
|-------------------------------|----------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| (Al-Barhamtoshy et al., 2023) | <i>Mask-RCNN</i>           | Model yang disempurnakan memiliki kinerja yang baik pada akurasi klasifikasi 85% dan F1-Skor 86%.                                                                                                                       |
| (Naufal et al., 2020)         | <i>Mask RCNN</i>           | Hasil penandaan posisi parkir dengan uji coba ketersediaan tempat parkir pada data video menggunakan mini AlexNet, dan mencapai akurasi sebesar 73,73%.dan akurasi <i>Intersection over Union</i> (IoU) mencapai 85,80% |

| <b>Authors</b>          | <b>Developed technique</b>                                                            | <b>Result</b>                                                                                                                                                                                                                     |
|-------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| (Elfaki et al., 2023)   | <i>Automatic Number Plate Recognition (ANPR), Optical Character Recognition (OCR)</i> | Model yang diusulkan dapat meningkatkan efisiensi, keamanan, dan pengelolaan fasilitas parkir secara keseluruhan, memberikan pengalaman parkir yang lancar bagi pengguna sekaligus memastikan pemanfaatan area parkir yang tepat. |
| (Rakshe & Dongre, 2024) | <i>Optical Character Recognition (OCR)</i>                                            | Uji coba menunjukkan bahwa desain sistem dapat mengenali plat nomor mobil dengan benar baik dalam gambar diam maupun bergerak.                                                                                                    |

Artikel yang tertera pada Tabel 1 merupakan artikel yang memiliki nilai akurasi yang baik dan kepercayaan terhadap hasil prediksi dari model yang meningkat, serta keberhasilan menerapkan sistem secara *real time* dengan baik. Hal ini penting terutama dalam konteks pengambilan keputusan yang berkaitan dengan faktor risiko.

## PEMBAHASAN

*Book chapter* ini menyajikan referensi tentang solusi *Smart Parking* dengan tujuan memfokuskan pengembangan dan evolusi sistem *Smart Parking* dalam lingkungan komputasi yang tersebar secara merata dan terintegrasi ke dalam berbagai aspek kehidupan sehari-hari, seperti rumah, kantor, transportasi, dan infrastruktur kota. Bagian ini berfokus pada proyek-proyek terkemuka berdasarkan sistem *Smart Parking* otomatis.

### Teknologi *Mask-RCNN* untuk mengidentifikasi tempat parkir yang kosong

Dalam penelitian ini diperkenalkan suatu model *Mask-RCNN* untuk menerapkan dan menguji konsep tempat parkir yang tersedia. Model yang ditingkatkan ini menunjukkan kinerja yang unggul dalam hal akurasi klasifikasi. Hal tersebut menunjukkan efektivitas dan kegunaan yang tinggi dalam konteks kota cerdas.

Kerangka kerja yang diusulkan ada lima langkah, di mana aliran video diperoleh melalui kamera web yang dipasang di luar jendela kendaraan (Al-Barhamtoshy et al., 2023). Kerangka kerja untuk mendeteksi tempat parkir yang tersedia dapat dilihat pada Gambar 1.



**Gambar 1.** Kerangka kerja untuk mendeteksi tempat parkir yang tersedia di *Smart City*

Berikut adalah penjelasan langkah-langkah dari Gambar 1 yang harus diikuti untuk mendeteksi tempat parkir yang tersedia

- Langkah 1 : Baca aliran video masukan.
- Langkah 2 : Analisis aliran video tersebut dengan mengekstraksi bingkai yang mencakup area parkir.
- Langkah 3 : Deteksi Parkir
  - A. Deteksi semua tempat parkir yang ada dalam bingkai video.
  - B. Tentukan tempat parkir mana yang kosong.
- Langkah 4 : Deteksi Mobil
  - A. Deteksi semua mobil di setiap bingkai video.
  - B. Lacak setiap mobil dari bingkai ke bingkai.
- Langkah 5 : Cocokkan antara tempat kosong dan mobil
  - A. Tentukan tempat parkir yang ditempati oleh mobil.
  - B. Tentukan tempat parkir yang kosong.
  - C. Cocokkan dan deteksi ruang yang cocok untuk mobil.

Langkah selanjutnya adalah mengatur model Mask RCNN dengan membuat kelas konfigurasi. Langkah tersebut bertujuan untuk meningkatkan kecepatan pemrosesan jika kita memiliki beberapa Graphics Processing Unit (GPU). Selain itu, konfigurasi ini memungkinkan penanganan jumlah objek yang akan diklasifikasikan dari solusi yang diusulkan. Penelitian ini juga digunakan model Common Objects in Context (COCO) yang telah dilatih sebelumnya.

Model Mask RCNN yang telah dilatih sebelumnya mampu mendeteksi mobil secara langsung. Oleh karena itu, keluaran model berisi semua objek yang terdeteksi sesuai dengan model COCO yang telah dilatih sebelumnya.

Menentukan tempat parkir kosong menggunakan pendekatan Interaction over Union (IoU), yang berfungsi untuk mengukur ruang parkir kosong. IoU dihitung dengan membagi jumlah piksel yang tumpang tindih antara dua objek dengan jumlah total piksel yang dicakup oleh kedua objek tersebut, sesuai dengan persamaan berikut.:

$$IoU = \frac{O1 \cap O2}{O1 \cup O2} \quad \dots (1)$$

Di mana;  $O1 \cap O2$  melambangkan perpotongan dua kotak  
 $O1 \cup O2$  mewakili penyatuan dua kotak

Berdasarkan hasil pengukuran jika nilai IoU kurang dari 0,15 menandakan bahwa mobil tidak dapat mengisi tempat parkir yang tersedia. Sebaliknya jika nilai IoU lebih dari 0,15 besar kemungkinan mobil akan mengisi sebagian besar ruang parkir yang kosong.

Area tumpang tindih yang dihitung diwakili dalam bentuk matriks di mana setiap baris menunjukkan ruang parkir beserta pembatasnya. Setiap kolom menggambarkan seberapa besar ruang parkir tersebut tumpang tindih dengan mobil yang terdeteksi. Skor 1,00 menunjukkan ruang parkir terisi penuh sedangkan skor 0,03 menunjukkan mobil hanya menempati sebagian kecil area. Oleh karena itu untuk mengidentifikasi ruang parkir yang kosong setiap baris dalam matriks harus diperiksa terlebih dahulu. Jika nilai-nilainya sangat kecil itu berarti ruang parkir tersebut kosong dan bisa digunakan.

Ada enam prosedur yang membedakan model Mask RCNN, yaitu:

1. Model yang dilatih dengan dataset COCO dapat mendeteksi hingga 80 jenis objek berbeda (seperti mobil, truk, dan lain-lain) sehingga hasil deteksi objek diberi label numerik.
2. Skor keyakinan yang lebih tinggi menunjukkan bahwa objek telah diidentifikasi dengan akurat sebagai jenis objek yang sesuai.
3. Wilayah Kepentingan (Region of Interest/RoI) dari objek yang terdeteksi dalam gambar diberikan kotak pembatas yang mengelilingi objek tersebut.
4. Data masker bitmap digunakan untuk menunjukkan piksel mana yang berada di dalam kotak pembatas RoI, memberikan informasi detail tentang objek dalam gambar.
5. Objek selain mobil dan truk diabaikan selama proses deteksi.
6. Kotak pembatas ditarik di sekitar objek yang terdeteksi dan diwarnai dengan warna hijau.

Algoritma yang diusulkan dijelaskan sebagai berikut:

#### **Langkah 1: Tahap Pra-Pemrosesan**

1. Menyiapkan solusi Mask-RCNN yang akan digunakan (model yang telah dilatih sebelumnya, disesuaikan untuk CPU atau GPU).
2. Menentukan direktori utama untuk menyimpan catatan dan model yang sudah dilatih.
3. Mengunduh bobot yang telah dilatih COCO jika diperlukan dan memuat file video yang akan dianalisis dan dideteksi (atau membaca dari kamera default).
4. Mengonfigurasi model Mask-RCNN dalam mode inferensi (model terlatih).

#### **Langkah 2: Analisis video dan deteksi mobil dan parkir**

1. Memuat dan menggunakan model yang telah dilatih.
2. Mendeteksi lokasi tempat parkir dengan menentukan hal berikut:
3. Berapa banyak frame video yang telah dianalisis, dan mendeteksi baris dengan tempat parkir terbuka.
4. Apakah sudah ada peringatan tentang ruang parkir yang kosong.
5. Mengulangi proses ini untuk setiap frame video.

#### **Langkah 3: Tampilan, hasil keluaran, dan keluar**

1. Menampilkan *frame* video di layar.
2. Menekan 'q' untuk keluar.

Model Mask-RCNN yang diajukan mampu mendeteksi kekosongan tempat parkir setelah menerapkan pengukuran kondisional. Sebelum mengkonfirmasi kekosongan harus ada kondisi di mana 5 atau 10 frame berturut-turut yang menunjukkan tempat kosong untuk sementara waktu. Dengan begitu satu tempat parkir kosong akan terdeteksi selama lebih dari 10 frame video. Setelah itu, sistem dapat menampilkan pesan SPACE AVAILABLE di bagian atas layar. Sistem ini juga dapat mengirimkan pesan teks melalui email atau telepon. Model yang telah ditingkatkan ini memperlihatkan kinerja yang sangat baik dalam mengklasifikasikan data dengan tingkat akurasi mencapai 85% dan F1-Skor sebesar 86%.

#### **Sistem pemantauan dan pengendalian parkir secara langsung dengan memanfaatkan teknologi pengenalan plat nomor secara otomatis.**

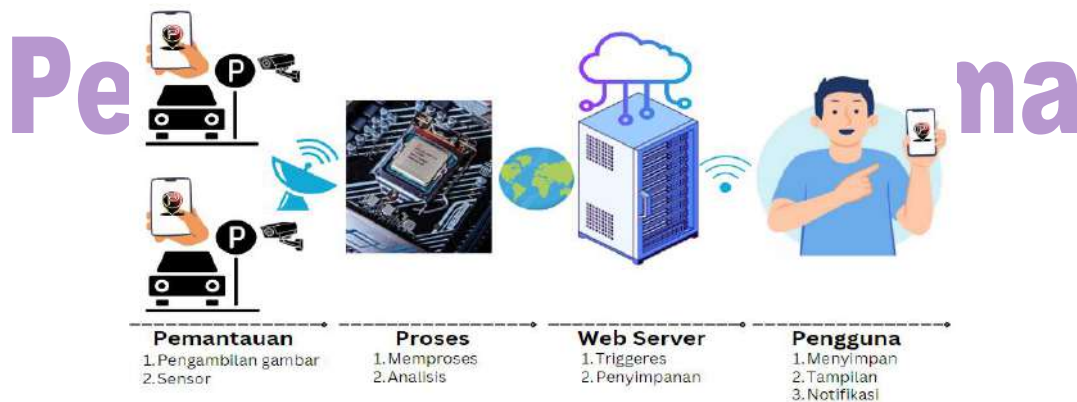
Sistem pemantauan dan pengendalian parkir secara langsung memperkenalkan sistem kontrol dan pemantauan parkir cerdas yang menggunakan tiga kecerdasan yang berbeda. Pertama sistem ini mendistribusikan slot parkir mobil berdasarkan permintaan secara *real-time*, dinamis

dan mempertimbangkan pola waktu parkir. Kedua sistem ini menyediakan *pre-order* untuk slot parkir. Ketiga sistem ini memiliki kemampuan untuk mendeteksi tempat parkir secara otomatis. Dengan menggabungkan distribusi dinamis slot parkir, *pre-order*, dan deteksi otomatis tempat parkir sistem ini dapat meningkatkan efisiensi, keamanan, dan pengelolaan fasilitas parkir secara keseluruhan. Hal ini memberikan pengalaman parkir yang lebih lancar bagi pengguna dan memastikan pemanfaatan ruang parkir yang optimal (Elfaki et al., 2023). Solusi optimal dari Sistem Kontrol dan Pemantauan Parkir *Real-Time* yang Cerdas meliputi :

1. Menyediakan distribusi slot parkir yang dinamis untuk mengatasi kekurangan slot parkir.
2. Menyediakan sistem pemesanan sebelumnya dengan menentukan slot parkir spesifik pada waktu yang ditentukan.
3. Menyediakan sistem yang memastikan mobil diparkir pada slot parkir yang sesuai.
4. Mencatat pola lalu lintas di area parkir untuk mengembangkan sistem parkir pintar.
5. Menggunakan aplikasi seluler untuk mengatur slot parkir bagi pengguna.
6. Menggunakan kamera dan perangkat lunak pembelajaran mesin untuk mendeteksi dan mengenali nomor plat kendaraan.
7. Menyediakan *database real-time* mengenai posisi slot parkir dan laporan analitis mengenai penggunaan.

### Desain Sistem

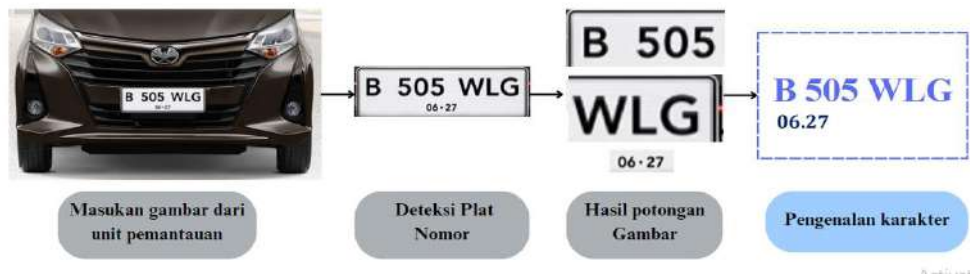
Sistem pengendalian dan pemantauan parkir *real-time* cerdas terdiri dari empat komponen utama yaitu unit pemantauan, unit pemrosesan, unit sisi *cloud*, dan aplikasi pengguna (Triputro et al., 2023).



Gambar 1. Arsitektur utama

Komponen pertama merupakan unit pemantauan yang terletak di setiap slot parkir dan menggunakan perangkat IoT pintar untuk mendeteksi kehadiran kendaraan dan mengambil gambar. Komponen kedua merupakan unit pemrosesan yang menggunakan komputer berbiaya rendah seperti Raspberry Pi 4 untuk memproses gambar dan mengambil informasi yang diperlukan menggunakan sistem *Automatic Number Plate Recognition* (ANPR). Komponen ketiga merupakan unit sisi *cloud* yang mengumpulkan informasi dari gambar yang diterima dan mencatat detail akhir dalam *database*. Terakhir komponen keempat merupakan aplikasi pengguna yang memungkinkan pengguna melakukan berbagai fungsi seperti registrasi, pemesanan dan modifikasi pemesanan. Sistem ini menggunakan kamera, sensor, dan perangkat lunak pembelajaran mesin untuk pemantauan dan pengendalian parkir. (Ahmad et al., 2023). Gambar 2 menunjukkan tahapan utama dari sistem ANPR.





Gambar 2. Tahapan Utama Sistem ANPR yang Dikembangkan

Untuk mengidentifikasi karakter pada plat nomor dapat digunakan mesin *Optical Character Recognition* (OCR) yang disebut *EasyOCR*. *EasyOCR* adalah perpustakaan Python yang dikembangkan khusus untuk tugas OCR dan dapat mengenali huruf Inggris dan angka Arab pada gambar plat nomor dengan cepat (Aqil Fahmirudin Kamalruddin et al., 2023).

Pada tahap awal plat nomor yang telah terdeteksi dari langkah sebelumnya dimasukkan ke mesin *EasyOCR*. Namun hasil pengenalan karakter tersebut belum sepenuhnya akurat sehingga diterapkan fungsi pemotongan untuk membagi plat nomor menjadi tiga bagian.

Model yang diusulkan memiliki potensi besar untuk mengubah paradigma parkir dengan meningkatkan efisiensi, memperbaiki tingkat keamanan, dan mengoptimalkan manajemen fasilitas parkir secara menyeluruh. Implementasi model ini diharapkan dapat menciptakan pengalaman parkir yang lebih lancar bagi pengguna serta memastikan pemanfaatan area parkir secara optimal.

## KESIMPULAN

*Smart Parking* yang bertumpu pada otomatisasi sistem dan teknologi canggih seperti model *Mask-RCNN* dan pengenalan plat nomor otomatis menjadi strategis dalam meningkatkan efisiensi pengelolaan parkir. Fokus *Smart Parking* pada konteks kota cerdas dan infrastruktur yang terintegrasi menjadi solusi yang menawarkan peningkatan urbanisasi dengan potensi mengurangi kemacetan lalu lintas dan meningkatkan pengalaman pengguna. Implementasi model *Mask-RCNN* memungkinkan deteksi tempat parkir dan kendaraan dengan tingkat akurasi tinggi. Sementara penggunaan pengenalan plat nomor otomatis dalam sistem kontrol parkir *real-time* meningkatkan pengalaman parkir secara keseluruhan. Hal tersebut menegaskan pentingnya langkah-langkah dalam menjawab tantangan pengelolaan parkir di kota cerdas dan infrastruktur teknologi. Sehingga dapat disimpulkan bahwa implementasi *Smart Parking* berbasis AI dapat menjadi solusi inovatif dan efektif dalam mengatasi permasalahan parkir di DKI Jakarta. Dengan memanfaatkan teknologi *Artificial Intelligence* (AI) dan bekerja sama dengan pihak swasta, Pemerintah Provinsi DKI Jakarta dapat menciptakan solusi yang lebih baik dalam mengelola parkir di wilayah tersebut.

Implementasi *Smart Parking* berbasis AI dalam penyelesaian masalah parkir di DKI Jakarta memunculkan wacana yang sangat penting dalam konteks perkembangan teknologi dan urbanisasi di DKI Jakarta. Dalam diskusi ini kita akan menggali beragam sudut pandang terkait dengan penggunaan teknologi *Artificial Intelligence* (AI) dalam mengatasi tantangan parkir yang kompleks di DKI Jakarta. Berikut beberapa pertanyaan diskusi pada pembahasan kali ini:

1. Bagaimana pendapat anda tentang penggunaan teknologi AI dalam mengatasi masalah parkir di DKI Jakarta?
2. Apa manfaat yang anda lihat dari pengembangan aplikasi *mobile* untuk memudahkan

- pengguna dalam menemukan lokasi parkir kendaraan mereka?
3. Bagaimana Anda melihat peran kolaborasi antara pemerintah dan pihak swasta dalam implementasi sistem *Smart Parking* berbasis AI?
  4. Apa tantangan yang mungkin dihadapi dalam menerapkan sistem pembayaran digital untuk biaya parkir?
  5. Bagaimana cara meningkatkan kesadaran masyarakat tentang manfaat dan penggunaan sistem *Smart Parking*?
  6. Bagaimana sistem *Smart Parking* dapat berkontribusi pada pengembangan kota cerdas secara keseluruhan?
  7. Apa saja tantangan utama dalam menerapkan solusi *Smart Parking* di lingkungan perkotaan yang padat?
  8. Bagaimana teknologi seperti *Mask-RCNN* dan pengenalan plat nomor otomatis dapat diterapkan dalam konteks yang lebih luas di luar manajemen parkir?

Melalui analisis pertanyaan-pertanyaan kita mendapatkan pemahaman yang lebih komprehensif tentang tantangan dan peluang dalam menerapkan teknologi AI untuk meningkatkan manajemen parkir di DKI Jakarta.

## **REKOMENDASI KEBIJAKAN (POLICY BRIEF)**

Pemerintah Provinsi Jakarta memiliki potensi untuk menerapkan sistem *Smart Parking* menggunakan AI sebagai solusi untuk mengatasi masalah parkir. Berikut adalah beberapa rekomendasi yang dapat disampaikan:

1. Pemerintah dapat memanfaatkan teknologi AI untuk mendeteksi plat nomor kendaraan yang masuk dan keluar dari area parkir. Dengan demikian keamanan parkir dapat ditingkatkan dengan memverifikasi setiap kendaraan yang memasuki dan meninggalkan area parkir.
2. Pemerintah dapat mengembangkan aplikasi *mobile* yang memungkinkan pengguna untuk mengetahui lokasi parkir kendaraan mereka. Fitur ini akan sangat berguna di kawasan parkir gedung bertingkat, di mana seringkali pengguna kesulitan mengingat posisi parkir kendaraan mereka.
3. Pemerintah dapat memasang sensor dan CCTV di area parkir untuk memantau ketersediaan tempat parkir dan memastikan keamanan. Data dari sensor dan CCTV dapat diintegrasikan dengan sistem AI guna mengoptimalkan pengelolaan parkir.
4. Pemerintah dapat mendorong penggunaan sistem pembayaran digital, seperti *e-wallet* atau kartu pintar untuk membayar biaya parkir. Ini dapat memudahkan pengguna dalam melakukan pembayaran dan mengurangi penggunaan uang tunai sehingga mengurangi risiko pencurian.
5. Pemerintah dapat bekerja sama dengan perusahaan teknologi atau penyedia layanan parkir swasta untuk mengimplementasikan sistem *Smart Parking*. Kolaborasi ini dapat mempercepat pengembangan dan implementasi teknologi AI dalam pengelolaan parkir.
6. Pemerintah dapat melakukan kampanye dan sosialisasi kepada masyarakat mengenai manfaat dan cara menggunakan sistem *Smart Parking*. Peningkatan kesadaran masyarakat akan membantu mengoptimalkan penggunaan sistem dan mengurangi masalah parkir.

Dengan mengimplementasikan *Smart Parking* berbasis AI di DKI Jakarta masalah parkir dapat teratasi, kemacetan dapat berkurang, dan pengelolaan parkir dapat lebih efisien. Provinsi Jakarta dapat menciptakan solusi yang inovatif dan efektif dengan memanfaatkan teknologi dan bekerja sama dengan pihak swasta dalam mengatasi masalah parkir di wilayah tersebut.

## DAFTAR PUSTAKA

- Ahmad, M. B., Ayagi, S. H., & Musa, U. F. (2023). A Review of Automatic Number Plate Recognition Review Article A Review of Automatic Number Plate Recognition. *Global Journal of Research in Engineering & Computer Sciences*, 3(05), 1–6. <https://doi.org/10.5281/zenodo.10028637>
- Al-Barhamtoshy, H. M., Abdullah, K. K., Dauda, M. K., & Himdi, T. F. (2023). Detecting Available Parking Spaces in Smart Cities. *1st International Conference in Advanced Innovation on Smart City, ICAISC 2023 - Proceedings*, 1–5. <https://doi.org/10.1109/ICAISC56366.2023.10085386>
- Alarbi, M., Jaradat, A., Lutfiyya, H., & Haque, A. (2023). SCOPE: Smart Cooperative Parking Environment. *IEEE Access*, 11(November), 120346–120361. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2023.3328233>
- Aqil Fahmirudin Kamalruddin, M., Mohamed, R., & Sains Komputer dan Teknologi Maklumat, F. (2023). Sistem Parkir Pintar UTHM. *Applied Information Technology And Computer Science*, 4(2), 1129–1142.
- Chen, W., Tian, Y., Wang, Y., Yan, H., & Wang, Y. (2024). Cause Identification and Coupling Relationship Analysis of Urban Problems: A Case Study of Poor Parking Convenience. *Buildings*, 14(2). <https://doi.org/10.3390/buildings14020516>
- Elfaki, A. O., Messoudi, W., Bushnag, A., Abuzneid, S., & Alhmiedat, T. (2023). A Smart Real-Time Parking Control and Monitoring System. *Sensors*, 23(24). <https://doi.org/10.3390/s23249741>
- Hou, Y., Zhang, Y., Collins, K., & Popescu, M. (2020). Demo abstract: Building a smart parking system on college campus. *Proceedings - 5th ACM/IEEE Conference on Internet of Things Design and Implementation, IoTDI 2020*, 266–267. <https://doi.org/10.1109/IoTDI49375.2020.00040>
- Macea, L. F., Serrano, I., & Carcache-Guas, C. (2023). A reservation-based parking behavioral model for parking demand management in urban areas. *Socio-Economic Planning Sciences*, 86(June 2022). <https://doi.org/10.1016/j.seps.2022.101477>
- Naufal, A. A., Fatichah, C., & Suciati, N. (2020). Preprocessed Mask RCNN for Parking Space Detection in Smart Parking Systems. *International Journal of Intelligent Engineering and Systems*, 13(6), 255–265. <https://doi.org/10.22266/ijies2020.1231.23>
- Nwachi, C., Mustapha, A. M., Nwachi, C. C., Onwuegbuchunam, D. E., Mustapha, A. M., & Odoemela, Q. C. (2024). Managing On-Street Parking in Central Business District in Owerri Municipality. *International Journal of Traffic and Transportation Engineering*, 2024(1), 13–22. <https://doi.org/10.5923/j.ijtte.20241301.03>
- Perković, T., Šolić, P., Zargariasl, H., Čoko, D., & Rodrigues, J. J. P. C. (2020). Smart Parking Sensors: State of the Art and Performance Evaluation. *Journal of Cleaner Production*, 262. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.121181>
- Rakshe, A., & Dongre, N. (2024). An Efficient Methodology of Automatic Vehicle Number Plate Detection Using Deep Learning. *International Journal of Intelligent Systems and Applications in Engineering*, 12(12s), 640–651.

- Road traffic injuries*. (2023). <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/road-traffic-injuries>
- Rocco, G., Pipino, C., & Pagano, C. (2023). An Overview of Urban Mobility: Revolutionizing with Innovative Smart Parking Systems. *Sustainability (Switzerland)*, 15(17). <https://doi.org/10.3390/su151713174>
- Statistik, B. P. (2022). *Jumlah Penduduk Menurut Kabupaten/Kota di Provinsi DKI Jakarta (Jawa)*, 2020-2022. <https://jakarta.bps.go.id/indicator/12/1270/1/jumlah-penduduk-menurut-kabupaten-kota-di-provinsi-dki-jakarta-.html>
- Thomas, D., & Koor, B. C. (2018). A Genetic Algorithm Approach to Autonomous Smart Vehicle Parking system. *Procedia Computer Science*, 125, 68–76. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2017.12.011>
- Tripuro, R. W., Giawa, A., Suharyanto, S., & Wijaya, J. H. (2023). Government Policy in Illegal Parking Charges at Public Spaces. *Journal of Governance and Public Policy*, 10(2), 191–202. <https://doi.org/10.18196/jgpp.v10i2.17880>
- Zulfiqar, H., Ul Haque, H. M., Tariq, F., & Khan, R. M. (2023). A survey on smart parking systems in urban cities. *Concurrency and Computation: Practice and Experience*, 35(15), 1–32. <https://doi.org/10.1002/cpe.6511>

# Penerbit Gunadarma





## AI SEBAGAI PENDETEKSI KAPASITAS PENUMPANG TRANSPORTASI UMUM YANG NYAMAN DAN AMAN DI JAKARTA

**Paulus Raga<sup>1\*</sup>, Muhammad Fahmi Arsyad<sup>2</sup>, Rudy Max Damara Gugat<sup>3</sup>**

<sup>1,3</sup> Transportasi, Fakultas Sistem Transportasi dan Logistik, Institut Transportasi dan Logistik Trisakti, Jakarta 13410, Indonesia

<sup>2</sup> Rekayasa Infrastruktur dan Lingkungan, Fakultas Teknik Transportasi dan Logistik, Institut Transportasi dan Logistik Trisakti, Jakarta 13410, Indonesia

\*Penulis Koresponden, e-mail: [paulus.raga@itltrisakti.ac.id](mailto:paulus.raga@itltrisakti.ac.id)

### ABSTRAK

Penduduk Jabodetabek diperkirakan sebanyak 33 Juta orang dengan pergerakan harian 88 Juta pergerakan orang atau rata rata 2,67 pergerakan orang perhari, yang menggunakan moda transportasi umum, yaitu Trans Jakarta, KRL, MRT dan LRT serta sepeda motor dan mobil pribadi. Kondisi ini membuat Kemacetan dan polusi udara meningkat di wilayah DKI Jakarta karena sebagian besar pergerakan orang masih didominasi oleh sepeda motor dan mobil pribadi atau diperkirakan sebesar 95,22% dibanding transportasi umum hanya 4,78%. Keadaan ini akan terus mendorong pemda DKI membangun fasilitas Transportasi umum seperti Trans Jakarta sudah melayani 15 koridor, selain itu juga membangun MRT. Sementara untuk pembangunan KRL dilakukan Kementerian teknis bersama PT.KAI, sedang LRT oleh beberapa konsorsium. Transportasi umum belum signifikan memberikan daya tarik bagi masyarakat karena faktor kenyamanan dan keamanan serta feeder transportasi ke dan dari stasiun, halte/selter belum tersedia secara optimal. Untuk menarik masyarakat menggunakan transportasi umum dibutuhkan tingkat pelayanan yang memberikan kenyamanan, keamanan dan kemudahan konektivitas sehingga perlu menjaga kapasitas penumpang maksimal pada setiap ruas pelayanan antara satu stasiun dengan stasiun lain dan halte satu dengan halte lainnya, agar tidak terjadi penumpukan penumpang di dalam kereta ataupun bus. Pendeteksian menggunakan AI akan menginformasikan jumlah penumpang di dalam kereta atau bus dan penumpang yang akan turun di stasiun/halte dapat diketahui berapa penumpang yang bisa masuk ke dalam kereta atau bus namun tetap menjaga Kapasitas yang akan memberikan kenyamanan dan keamanan bagi penumpang agar tidak berdesakan untuk berebut naik ke kereta atau bus yang dapat membuat ketidaknyamanan penumpang.

Kata Kunci: AI, Transportasi umum, Nyaman, Aman, Kapasitas

### PENDAHULUAN

Sistem transportasi umum memainkan peran penting dalam mobilitas perkotaan, dalam menyediakan sarana transportasi yang berkelanjutan dan efisien bagi jutaan orang di JABODETABEK. Namun, memastikan kenyamanan dan keselamatan penumpang tetap menjadi tantangan utama bagi otoritas atau pengguna transportasi. Dengan kemajuan teknologi kecerdasan buatan (AI), dimanfaatkan sebagai alat untuk mendeteksi dan meningkatkan kenyamanan serta keselamatan penumpang dalam sistem transportasi umum (Solihati, K.D., & Indriyani, D. 2021).

Transportasi umum yang nyaman dan aman memiliki peran penting dalam mendukung kehidupan perkotaan yang berkelanjutan dan efisien. Berikut beberapa alasan mengapa transportasi umum yang nyaman dan aman sangat penting karena: Transportasi umum yang nyaman dan aman memastikan aksesibilitas bagi semua lapisan masyarakat, termasuk mereka yang tidak memiliki kendaraan pribadi atau tidak mampu membeli kendaraan sendiri. Ini memungkinkan mobilitas yang lebih baik bagi penduduk perkotaan, termasuk pekerja, pelajar, dan warga lanjut usia. Dengan menyediakan alternatif transportasi umum yang efisien, dapat



membantu mengurangi kemacetan lalu lintas di perkotaan (Vuchic, V.R.). Hal ini mengurangi waktu perjalanan dan stres bagi pengguna jalan, serta membantu mengurangi emisi gas buang dari kendaraan pribadi, mendukung tujuan kota yang lebih berkelanjutan. Transportasi umum yang ramah lingkungan, seperti kereta api atau bus listrik, membantu mengurangi jejak karbon dan polusi udara dibandingkan dengan kendaraan pribadi yang berbahan bakar fosil (Saba, F., Seifollahi, S., & Behzadan, A.H.). Ini mendukung upaya mitigasi perubahan iklim dan menjaga kualitas udara perkotaan. Transportasi umum yang aman memprioritaskan keselamatan penumpang dan pengguna jalan. Sistem transportasi yang baik dilengkapi dengan fitur keamanan seperti kamera pengawas, penerangan yang baik di halte maupun di stasiun, serta pelatihan yang memadai bagi pengemudi dan petugas. Transportasi umum yang nyaman dan aman dapat meningkatkan kualitas hidup penduduk perkotaan dengan mengurangi stres dalam perjalanan, memperluas aksesibilitas ke layanan, serta menciptakan lingkungan yang lebih inklusif dan bersosial. Dengan mengangkut lebih banyak orang dalam satu perjalanan, transportasi umum membantu memaksimalkan efisiensi penggunaan ruang di perkotaan. Ini mengurangi kebutuhan akan lahan parkir yang luas dan mendorong pengembangan kota yang lebih padat dan berorientasi pada transportasi umum.

Dengan demikian, transportasi umum yang nyaman dan aman tidak hanya merupakan kebutuhan praktis bagi masyarakat perkotaan, tetapi juga merupakan bagian integral dari pembangunan kota yang berkelanjutan dan inklusif. Upaya untuk meningkatkan kualitas layanan transportasi umum harus terus didorong oleh otoritas transportasi dan pemangku kepentingan lainnya demi kesejahteraan dan mobilitas yang lebih baik bagi semua penduduk perkotaan.

## STATE OF THE ART

Penumpang transportasi umum sering kali menghadapi sejumlah tantangan yang dapat mempengaruhi pengalaman perjalanan mereka. Salah satu tantangan utama yang dihadapi oleh penumpang adalah kepadatan dalam kendaraan atau di stasiun dan halte bus terutama pada jam sibuk. Kepadatan ini dapat menyebabkan ketidaknyamanan, sulitnya mencari tempat duduk, dan bahkan risiko penularan penyakit. Penumpang mungkin merasa tertekan atau tidak nyaman karena ruang gerak yang terbatas.

Selain itu keterlambatan transportasi umum adalah masalah yang dapat mengganggu rencana perjalanan penumpang. Penumpang seringkali harus menunggu lebih lama dari jadwal yang telah dijadwalkan, yang dapat menyebabkan keterlambatan di tempat kerja, sekolah, atau dalam melakukan aktivitas lainnya. Keterlambatan juga dapat meningkatkan tingkat stres dan frustrasi penumpang. Keamanan adalah faktor penting yang diperhatikan oleh penumpang saat menggunakan transportasi umum. Mereka mungkin khawatir tentang kejahatan seperti pencurian, pelecehan, atau penyerangan yang dapat terjadi di stasiun atau di dalam kendaraan. Selain itu, penumpang juga mungkin merasa tidak aman ketika terjadi kecelakaan atau insiden di dalam kendaraan. Tantangan lain yang dihadapi oleh penumpang adalah varian kualitas layanan antara satu moda transportasi dengan yang lainnya. Penumpang mungkin mengalami perbedaan dalam kenyamanan, kebersihan, keamanan, dan ketepatan waktu antara berbagai operator transportasi. Hal ini dapat memengaruhi persepsi mereka terhadap transportasi umum dan mempengaruhi keputusan mereka untuk menggunakan layanan tersebut. Beberapa penumpang mungkin menghadapi tantangan dalam mengakses sarana transportasi umum, terutama mereka yang memiliki keterbatasan fisik atau mobilitas. Ketersediaan fasilitas aksesibilitas seperti tangga berjalan, lift, atau peron yang rendah dapat memengaruhi kemampuan mereka untuk menggunakan transportasi umum dengan nyaman dan mandiri. Kurangnya komunikasi yang efektif atau informasi yang akurat tentang jadwal, rute, atau perubahan layanan juga dapat menjadi tantangan bagi penumpang. Hal ini dapat menyebabkan kebingungan, ketidakpastian, dan kesulitan dalam merencanakan perjalanan mereka dengan baik.

Untuk mengatasi tantangan ini, diperlukan upaya kolaboratif antara otoritas transportasi, operator, dan pemerintah dalam meningkatkan kualitas layanan, keamanan, dan mengoptimalkan pengalaman penumpang secara keseluruhan. Hal ini dapat dilakukan melalui investasi dalam infrastruktur transportasi, penggunaan teknologi yang lebih canggih seperti kecerdasan buatan (AI), peningkatan pelatihan untuk petugas, dan peningkatan komunikasi dengan pengguna transportasi umum sebagai umpan balik dalam menerima kualitas layanan transportasi umum yang nyaman dan aman sebagai harapan tersedianya transportasi umum yang berkelanjutan dalam melayani kebutuhan mobilitas/pergerakan masyarakat perkotaan dalam beraktivitas setiap hari.

## PEMBAHASAN

### Pengenalan Kecerdasan Buatan dalam Bidang Transportasi

Pengenalan Kecerdasan Buatan (AI) dalam bidang transportasi merupakan langkah penting dalam memajukan efisiensi, keselamatan, dan kenyamanan dalam sistem transportasi. Berikut ini adalah beberapa konsep dasar yang perlu dipahami tentang penggunaan AI dalam bidang transportasi. Definisi AI: Kecerdasan Buatan adalah cabang ilmu komputer yang berfokus pada pengembangan sistem yang dapat melakukan tugas-tugas yang membutuhkan kecerdasan manusia. Ini termasuk pembelajaran mesin, pengenalan pola, dan pemrosesan bahasa alami. Pengenalan AI dalam bidang transportasi menjanjikan potensi besar untuk meningkatkan efisiensi, keselamatan, dan kenyamanan dalam sistem transportasi. Dengan menerapkan teknologi ini secara cerdas, kita dapat menghadapi tantangan yang ada dalam transportasi dan menciptakan lingkungan transportasi yang lebih pintar dan berkelanjutan.

### Contoh aplikasi AI dalam transportasi

Berikut adalah beberapa contoh aplikasi AI dalam transportasi yang mencakup manajemen lalu lintas, pemeliharaan prediktif, dan optimasi rute:

#### 1. Manajemen Lalu Lintas

- Penggunaan teknologi AI, seperti visi komputer dan sensor, memungkinkan sistem pengaturan lalu lintas adaptif untuk memantau dan menyesuaikan sinyal lalu lintas secara dinamis berdasarkan kondisi aktual lalu lintas. Ini membantu mengoptimalkan aliran lalu lintas, mengurangi kemacetan, dan memperbaiki waktu perjalanan.
- Teknologi AI dapat digunakan untuk mendeteksi anomali dalam aliran lalu lintas, seperti kecelakaan atau gangguan jalan. Dengan menggunakan kamera pengawas dan analisis gambar, sistem dapat secara otomatis mendeteksi kejadian tersebut dan memberikan peringatan kepada otoritas lalu lintas atau layanan darurat.

#### 2. Pemeliharaan Prediktif

- Sistem AI dapat menganalisis data sensor dari armada kendaraan untuk mendeteksi pola yang mengindikasikan potensi kerusakan atau kegagalan komponen. Ini memungkinkan operator transportasi untuk melakukan pemeliharaan prediktif dengan mengganti atau memperbaiki komponen sebelum terjadi kerusakan yang serius.
- Teknologi AI dapat digunakan untuk memantau kondisi infrastruktur transportasi, seperti jembatan, jalan raya, atau rel kereta api. Sistem AI dapat menganalisis data sensor atau gambar satelit untuk mendeteksi retakan, deformasi, atau kerusakan lainnya yang memerlukan perbaikan atau pemeliharaan.

### 3. Optimasi Route

- Aplikasi navigasi yang menggunakan teknologi AI dapat memberikan rekomendasi rute yang lebih cerdas berdasarkan kondisi lalu lintas aktual, cuaca, atau preferensi pengguna. Ini membantu mengoptimalkan waktu perjalanan dan menghindari kemacetan.
- Teknologi AI dapat digunakan untuk mengoptimalkan rute pengiriman dan penjadwalan armada. Sistem AI dapat mempertimbangkan berbagai faktor seperti jarak, beban, dan kendala jalan untuk mencari rute tercepat dan paling efisien.

Contoh di atas menunjukkan bagaimana aplikasi AI dalam transportasi dapat membantu meningkatkan efisiensi operasional, meningkatkan keselamatan, dan meningkatkan pengalaman pengguna. Dengan memanfaatkan teknologi AI secara cerdas, sistem transportasi dapat menjadi lebih adaptif, prediktif, dan efisien dalam menghadapi tantangan yang ada (Boley, H., Breslin, J.G., & Hogan, A).

### Pendeteksian Kenyamanan Penumpang Berbasis AI

Ada sejumlah faktor yang membuat masyarakat nyaman menggunakan transportasi umum. Hal ini terekam dalam laporan hasil survei Litbang Kompas yang bertajuk Peningkatan Layanan Transportasi Umum Atasi Kemacetan Ibu Kota. Dalam survei tersebut, biaya yang terjangkau jadi faktor utama yang menentukan kenyamanan masyarakat, dengan proporsi 27,4% responden. Kemudian 20,3% responden mengaku nyaman menggunakan transportasi umum karena faktor ketepatan waktu, dan 14,4% karena kelayakan sarana dan prasarana.

Faktor-faktor lainnya, seperti tidak berdesak-desakan, kemudahan mengakses layanan, hingga kelengkapan fasilitas dipilih oleh lebih sedikit responden, dengan persentase seperti terlihat pada grafik. Litbang Kompas juga melakukan survei terkait tingkat kenyamanan masyarakat dalam menggunakan transportasi umum. Hasilnya, 4% responden mengaku sangat nyaman dan 75,1% merasa nyaman. Di sisi lain, ada 18,2% responden yang menjawab tidak nyaman dan 2% sangat tidak nyaman. Survei Litbang Kompas ini melibatkan 510 responden dari 34 provinsi di Indonesia yang dipilih secara acak.

### AI untuk mendeteksi kenyamanan penumpang

AI dapat digunakan untuk mendeteksi kenyamanan penumpang dalam sistem transportasi umum melalui berbagai cara, termasuk pengumpulan dan analisis data tentang kondisi lingkungan di dalam kendaraan. Berikut adalah beberapa contoh cara AI dapat digunakan untuk mendeteksi kenyamanan penumpang:

- Instalasi sensor dan perangkat Internet of Things (IoT) di dalam kendaraan dapat membantu dalam pengumpulan data tentang kondisi lingkungan seperti suhu, kelembaban, kualitas udara, dan tingkat kebisingan. Data ini kemudian dapat dianalisis menggunakan teknik AI untuk menilai tingkat kenyamanan di dalam kendaraan.
- AI dapat digunakan untuk menganalisis sentimen penumpang melalui data yang diperoleh dari berbagai sumber, seperti media sosial, survei penumpang, atau evaluasi langsung di dalam kendaraan. Dengan menggunakan teknik pemrosesan bahasa alami dan pembelajaran mesin, sistem dapat mengekstrak informasi tentang tingkat kepuasan dan kenyamanan penumpang.
- Kamera dan sensor lainnya di dalam kendaraan dapat digunakan untuk memantau aktivitas dan ekspresi fisik penumpang. Teknologi pengenalan wajah atau emosi dapat membantu dalam menentukan tingkat kenyamanan penumpang berdasarkan ekspresi wajah, gerakan tubuh, atau tingkat keaktifan.

- Dengan menganalisis pola perjalanan penumpang, AI dapat memberikan wawasan tentang waktu perjalanan yang paling ramai, rute yang paling disukai, atau tempat duduk yang paling sering digunakan. Informasi ini dapat membantu dalam merancang layanan yang lebih sesuai dengan preferensi dan kebutuhan penumpang.
- AI dapat digunakan untuk mengumpulkan dan menganalisis umpan balik dari penumpang secara real-time melalui aplikasi seluler atau sistem layanan pelanggan otomatis. Informasi ini dapat digunakan untuk menanggapi masalah kenyamanan dengan cepat dan meningkatkan pengalaman penumpang secara keseluruhan.

#### **Studi Kasus:**

#### **Sistem AI untuk Pendeteksian Kenyamanan Penumpang dalam Kereta Api**

Sebuah perusahaan kereta api mengimplementasikan sistem AI untuk memantau dan memprediksi tingkat kenyamanan penumpang di dalam kereta api. Sistem ini menggunakan sensor suhu dan kelembaban yang dipasang di dalam kendaraan, serta algoritma pembelajaran mesin untuk menganalisis data dan menghasilkan prediksi tingkat kenyamanan. Langkah-langkah Implementasi:

- Sensor suhu dan kelembaban dipasang di berbagai titik di dalam kereta api untuk memantau kondisi lingkungan di dalam kendaraan. Data dari sensor ini dikirim secara real-time ke sistem AI untuk analisis.
- Data suhu dan kelembaban dikumpulkan secara terus menerus selama perjalanan kereta api. Data ini mencakup informasi tentang suhu udara di dalam kendaraan, tingkat kelembaban, serta fluktuasi yang terjadi selama waktu tertentu.
- Algoritma pembelajaran mesin, seperti regresi linier atau jaringan saraf tiruan, digunakan untuk membangun model prediktif yang dapat memprediksi tingkat kenyamanan penumpang berdasarkan data suhu dan kelembaban. Model ini dilatih menggunakan data historis yang telah dikumpulkan sebelumnya.
- Model prediktif dievaluasi menggunakan data yang tidak terlihat sebelumnya untuk menguji kinerjanya. Metrik evaluasi seperti akurasi prediksi atau root mean square error (RMSE) digunakan untuk menilai seberapa baik model dapat memprediksi tingkat kenyamanan penumpang.
- Setelah model dianggap memadai, sistem AI diimplementasikan dalam operasi kereta api. Data suhu dan kelembaban yang terus menerus dikumpulkan dan dianalisis secara real-time oleh sistem AI. Prediksi tingkat kenyamanan penumpang diberikan kepada operator transportasi, yang dapat mengambil tindakan yang sesuai untuk meningkatkan kenyamanan penumpang jika diperlukan, seperti mengatur suhu atau kelembaban di dalam kendaraan.

#### **Manfaat dan Hasil:**

- Sistem AI untuk Pendeteksian Kenyamanan Penumpang dalam Kereta Api, Sistem AI membantu operator transportasi dalam memantau dan meningkatkan kenyamanan penumpang secara proaktif.
- Prediksi tingkat kenyamanan yang akurat membantu dalam mengambil tindakan yang tepat waktu untuk menanggapi perubahan kondisi lingkungan di dalam kereta api.
- Penumpang merasakan peningkatan kenyamanan dalam perjalanan mereka, yang dapat meningkatkan kepuasan dan loyalitas mereka terhadap layanan kereta api.

## Pendeteksian Kapasitas Keselamatan Penumpang dalam Transportasi Darat

Sebuah perusahaan transportasi umum mengimplementasikan sistem AI untuk memantau dan mengidentifikasi faktor-faktor yang mempengaruhi keselamatan penumpang dalam bus kota. Sistem ini menggunakan kamera CCTV, sensor kecepatan, dan algoritma pembelajaran mesin untuk menganalisis data dan memberikan peringatan dini terkait risiko keselamatan.

Langkah-langkah Implementasi:

- Sensor kecepatan dipasang di bus untuk memantau kecepatan kendaraan, sementara kamera CCTV dipasang di berbagai sudut dalam bus untuk memantau aktivitas penumpang dan kondisi di sekitar kendaraan.
- Data dari sensor kecepatan dan kamera CCTV dikumpulkan secara real-time selama perjalanan bus. Data ini mencakup informasi tentang kecepatan kendaraan, jumlah penumpang, aktivitas penumpang, serta situasi lalu lintas di sekitar kendaraan.
- Algoritma pembelajaran mesin, seperti klasifikasi atau deteksi objek, digunakan untuk menganalisis data yang dikumpulkan dan mengidentifikasi situasi yang berpotensi membahayakan keselamatan penumpang, seperti kecepatan berlebihan, penumpukan penumpang, atau perilaku penumpang yang tidak aman.
- Model AI dievaluasi menggunakan data yang tidak terlihat sebelumnya untuk menguji kinerjanya. Metrik evaluasi seperti akurasi prediksi atau recall digunakan untuk menilai seberapa baik model dapat mengidentifikasi situasi berisiko dan memberikan peringatan dini.
- Setelah model dianggap memadai, sistem AI diimplementasikan dalam operasi bus kota. Data yang dikumpulkan dan dianalisis secara real-time oleh sistem AI, dan peringatan dini diberikan kepada pengemudi atau operator transportasi jika situasi berisiko terdeteksi.

Manfaat dan Hasil:

- Dapat membantu operator transportasi dalam memantau dan meningkatkan keselamatan penumpang secara proaktif.
- Peringatan dini tentang situasi berisiko membantu pengemudi atau operator transportasi untuk mengambil tindakan yang tepat waktu untuk mengurangi potensi kecelakaan atau cedera.
- Penumpang merasakan peningkatan keselamatan dalam perjalanan mereka, yang dapat meningkatkan kepercayaan dan kepuasan mereka terhadap layanan transportasi umum.

## Penggunaan algoritma AI untuk menganalisis aliran penumpang, mengidentifikasi area yang ramai, dan memprediksi potensi bahaya keselamatan.

Penggunaan algoritma AI untuk menganalisis aliran penumpang, mengidentifikasi area yang ramai, dan memprediksi potensi bahaya keselamatan adalah langkah penting dalam meningkatkan keselamatan di lingkungan transportasi umum. Berikut ini adalah cara algoritma AI dapat diterapkan dalam konteks ini:

- Algoritma AI, seperti teknik pemrosesan citra atau analisis video, dapat digunakan untuk mengidentifikasi dan melacak aliran penumpang di stasiun atau halte transportasi. Ini melibatkan penggunaan kamera CCTV atau sensor lainnya untuk mengumpulkan data visual tentang pergerakan penumpang. Dengan menganalisis data ini, sistem AI dapat menghasilkan informasi tentang pola pergerakan penumpang, waktu sibuk, dan distribusi spasial di sepanjang platform atau area tunggu.

- Berdasarkan data yang dikumpulkan, algoritma AI dapat mengidentifikasi area yang paling ramai di stasiun atau halte transportasi. Ini bisa mencakup area-area seperti pintu masuk atau keluar, eskalator, atau platform yang sering menjadi titik kepadatan penumpang. Dengan mengidentifikasi area yang ramai, operator transportasi dapat mengambil tindakan untuk mengatur aliran penumpang dan mencegah kemacetan atau kerumunan yang berpotensi membahayakan keselamatan.
- Algoritma pembelajaran mesin dapat digunakan untuk memprediksi potensi bahaya keselamatan berdasarkan data aliran penumpang dan faktor-faktor lainnya, seperti kondisi cuaca atau situasi lalu lintas di sekitar stasiun atau halte transportasi. Model AI dapat dipelajari untuk mengidentifikasi pola yang mengindikasikan situasi berisiko, seperti penumpukan penumpang di sekitar pintu masuk atau keluar, atau perilaku penumpang yang tidak aman. Dengan memprediksi potensi bahaya keselamatan, operator transportasi dapat mengambil tindakan preventif, seperti meningkatkan pengawasan di area yang berisiko atau memberikan peringatan kepada penumpang untuk berhati-hati.
- Berdasarkan hasil analisis AI, sistem peringatan dini dapat diimplementasikan untuk memberi tahu operator transportasi atau petugas keamanan tentang situasi berisiko yang terdeteksi. Peringatan ini dapat berupa notifikasi pada layar monitor atau pengiriman pesan langsung kepada petugas di lapangan. Dengan sistem peringatan dini ini, tindakan dapat diambil dengan cepat untuk mengatasi potensi bahaya keselamatan sebelum situasi menjadi lebih serius.

### **Integrasi AI dengan sistem pengawasan untuk memantau perilaku penumpang dan mendeteksi anomali yang dapat menunjukkan risiko keselamatan.**

Integrasi AI dengan sistem pengawasan untuk memantau perilaku penumpang dan mendeteksi anomali yang dapat menunjukkan risiko keselamatan adalah strategi yang sangat berguna dalam meningkatkan keselamatan di lingkungan transportasi umum. Berikut adalah langkah-langkah yang dapat diambil dalam implementasi ini:

- Pertama-tama, perlu dipasang kamera CCTV dan sensor lainnya di dalam kendaraan atau di sekitar stasiun/halte untuk memantau perilaku penumpang. Kamera dapat ditempatkan di berbagai sudut strategis untuk mencakup seluruh area dan memungkinkan pemantauan yang efektif.
- Data dari kamera dan sensor dikumpulkan secara real-time selama operasi. Ini mencakup rekaman video, gambar, atau data sensor yang menggambarkan aktivitas penumpang, seperti gerakan, interaksi, atau perilaku yang mencurigakan.
- Data yang dikumpulkan kemudian diproses menggunakan teknik AI, termasuk pemrosesan citra, analisis video, dan pemrosesan bahasa alami. Algoritma pembelajaran mesin diprogram untuk mengenali pola perilaku normal penumpang dan mendeteksi anomali yang mungkin menunjukkan potensi risiko keselamatan, seperti kekerasan, perkelahian, atau tindakan mencurigakan lainnya.
- Sistem AI kemudian mengamati perilaku penumpang dalam waktu nyata dan mencari tahu jika ada perilaku yang tidak biasa atau mencurigakan. Ini dapat mencakup situasi di mana penumpang berada di area terlarang, berdiri di atas kursi, atau melakukan tindakan agresif atau mengganggu yang dapat mengganggu keselamatan penumpang lainnya.
- Jika sistem mendeteksi anomali yang signifikan, seperti kekerasan atau ancaman fisik terhadap penumpang atau staf, sistem dapat memberikan peringatan kepada operator atau pihak berwenang yang bertanggung jawab untuk mengambil tindakan segera. Ini dapat melibatkan pemanggilan petugas keamanan, memicu alarm darurat, atau memberi tahu pengemudi atau staf tentang situasi yang memerlukan intervensi langsung.



- Setelah tindakan diambil, sistem terus memantau situasi dan mengevaluasi efektivitas tindakan yang diambil. Data dari insiden dan tanggapan dapat digunakan untuk meningkatkan sistem AI dan memperbaiki kemampuannya dalam mendeteksi dan menanggapi anomali yang berpotensi membahayakan keselamatan.

## KESIMPULAN

Implementasi kecerdasan buatan (AI) dalam berbagai aspek kehidupan, termasuk dalam transportasi umum, membawa sejumlah manfaat dan tantangan, sebagai berikut:

### Manfaat Implementasi AI:

- AI dapat digunakan untuk mendeteksi potensi bahaya dan keadaan darurat, memungkinkan respons cepat untuk mencegah kecelakaan atau insiden keselamatan lainnya di lingkungan transportasi umum.
- Dengan menganalisis data secara real-time, AI dapat membantu mengoptimalkan operasi transportasi umum, seperti mengatur jadwal, rute, dan pengelolaan armada, untuk meningkatkan efisiensi dan mengurangi waktu tunggu penumpang.
- AI dapat meningkatkan kenyamanan dan kepuasan penumpang dengan memantau dan menyesuaikan lingkungan di dalam kendaraan, mengidentifikasi area yang ramai, dan memberikan rekomendasi yang personalisasi.
- AI dapat membantu mengurangi biaya operasional, seperti penghematan bahan bakar, manajemen stok, atau pemeliharaan armada.
- AI memungkinkan pengembangan layanan baru dan inovasi dalam transportasi umum (Iliadis, L.S., & Maglogiannis, I, Volume 457), seperti layanan berbasis aplikasi, prediksi perjalanan, atau integrasi dengan transportasi swakemudi.

### Tantangan Implementasi AI:

- Tantangan dalam mengumpulkan data yang akurat, relevan, dan representatif dapat mempengaruhi kinerja sistem AI.
- Perlindungan data yang memadai harus diterapkan untuk menghindari penyalahgunaan atau pelanggaran privasi.
- Teknologi AI masih memiliki keterbatasan dalam mendeteksi situasi kompleks atau berinteraksi secara real-time dengan lingkungan yang berubah dengan cepat.
- AI memerlukan investasi yang signifikan dalam infrastruktur, perangkat keras, dan sumber daya manusia yang terlatih. Biaya implementasi dan pemeliharaan dapat menjadi tantangan bagi operator transportasi umum.
- Tantangan terkait dengan kesiapan organisasi dan kepatuhan terhadap regulasi dan kebijakan yang berkaitan dengan implementasi AI dalam transportasi umum juga perlu diatasi.

## REKOMENDASI KEBIJAKAN

Peran otoritas transportasi sangat penting dalam mengatasi tantangan yang dihadapi oleh penumpang dan meningkatkan pengalaman mereka secara keseluruhan. Berikut adalah beberapa langkah yang dapat dilakukan oleh otoritas transportasi:

- Otoritas transportasi harus berusaha untuk memastikan bahwa layanan transportasi umum dijalankan dengan tepat waktu dan dapat diandalkan. Ini melibatkan perencanaan rute yang efisien, pengelolaan lalu lintas yang baik, dan pemeliharaan rutin pada armada kendaraan.
- Otoritas transportasi harus bekerja sama dengan operator transportasi untuk meningkatkan kualitas layanan, termasuk kenyamanan, kebersihan, dan keamanan. Ini dapat dilakukan melalui investasi dalam perawatan kendaraan, fasilitas stasiun, dan pelatihan untuk petugas.
- Otoritas transportasi dapat memanfaatkan teknologi seperti aplikasi seluler, papan informasi digital, dan sistem manajemen transportasi terintegrasi untuk menyediakan informasi yang akurat dan real-time kepada penumpang. Ini membantu penumpang dalam merencanakan perjalanan mereka dengan lebih baik dan mengurangi ketidakpastian.
- Otoritas transportasi harus fokus pada meningkatkan keamanan penumpang dengan mengambil langkah-langkah seperti pemasangan kamera pengawas, peningkatan kehadiran petugas keamanan, dan penyediaan sistem pelaporan kejadian darurat. Ini memberikan rasa aman kepada penumpang dan mencegah terjadinya kejahatan atau insiden yang tidak diinginkan.
- Otoritas transportasi perlu memastikan bahwa fasilitas transportasi umum dapat diakses dengan mudah oleh semua orang, termasuk mereka yang memiliki keterbatasan fisik atau mobilitas. Ini mencakup pembangunan stasiun yang ramah disabilitas, peron yang rendah, dan fasilitas aksesibilitas lainnya.
- Otoritas transportasi harus berkolaborasi dengan operator transportasi, pemerintah lokal, dan organisasi masyarakat untuk mendengarkan masukan dari penumpang, mengidentifikasi masalah, dan mengimplementasikan solusi yang efektif. Ini menciptakan lingkungan kerja sama yang memungkinkan perbaikan berkelanjutan dalam pengalaman penumpang.

Dengan melakukan langkah-langkah ini, otoritas transportasi dapat membantu meningkatkan pengalaman penumpang secara keseluruhan, meningkatkan kepercayaan masyarakat terhadap transportasi umum, dan menciptakan lingkungan perkotaan yang lebih inklusif dan berkelanjutan.

## DAFTAR PUSTAKA

- Keisha Dinya Solihati, Dian Indriyani, "Managing Artificial Intelligence on Public Transportation (Case Study Jakarta City, Indonesia)", 2021.
- V.R. Vuchic "Urban Transit Systems and Technology"
- F Saba, S Seifollahi, A H. Behzadan "Artificial Intelligence Applications in Urban Planning and Public Health"
- H Boley, J.G. Breslin, A Hogan "AI and Machine Learning for Intelligent Transportation Systems"
- Lazaros S. Iliadis, I Maglogiannis "Artificial Intelligence Applications and Innovations" (Volume 457)

# Penerbit Gunadarma



## DELEVERY DRONE SEBAGAI SUBTITUSI OJOL DALAM MENGURANGI KEMACETAN KECELAKAAN DAN POLUSI UDARA DI JAKARTA

**Paulus Raga<sup>1\*</sup>, Eddy Miyanto<sup>2</sup>, Veronica<sup>3</sup>**

<sup>1</sup> Transportasi, Fakultas Sistem Transportasi dan Logistik, Institut Transportasi dan Logistik Trisakti, Jakarta 13410, Indonesia

<sup>2</sup> Teknik Elektro, Fakultas Teknik dan Ilmu Komputer, Universitas Krida Wacana, Jakarta 11470, Indonesia

<sup>3</sup> Transportasi, Fakultas Sistem Transportasi dan Logistik, Institut Transportasi dan Logistik Trisakti, Jakarta 13410, Indonesia,

\*Penulis Koresponden, e-mail: [paulus.raga@itltrisakti.ac.id](mailto:paulus.raga@itltrisakti.ac.id)

### ABSTRAK

Perkembangan teknologi akan mengubah perilaku masyarakat dalam memenuhi kebutuhan terhadap barang, makanan dan minuman yang selama ini di penuhi dengan cara mendatangi restoran dan mall. Paradigma ini berubah karena aplikasi belanja online dan delivery menggunakan ojek sehingga masyarakat tidak harus mendatangi restoran dan mall. Pergeseran ini membuat pekerja di mall dan restoran semakin berkurang karena pembeli menurun. Belanjaonline akan menciptakan lapangan kerja baru yang dapat di isi oleh pekerja yang di PHK dari sektor restoran dan mall ditambah PHK dari sektor yang lain pasca covid-19, sebagian besar akan beralih menjadi pengemudi/kurir ojek yang secara psikologis tertarik karena pengaturan jam kerja dilakukan sendiri. Selain itu sarana sepeda motor maupun mobil mudah diperoleh dengan cara angsuran dengan waktu yang fleksibel baik kendaraan baru maupun kendaraan bekas. Mencermati perubahan ini lalu lintas kendaraan di DKI Jakarta menunjukkan peningkatan yang akan menyebabkan kemacetan serta sering terjadi kecelakaan. Akibat lain adalah polusi udara meningkat, ketertiban lalu lintas menurun serta pelanggaran lalu lintas bertambah. Menghadapi kenyataan ini dibutuhkan solusi optimal dalam pengurangan kemacetan, kecelakaan serta polusi udara. Peran artificial intelligence dapat menggantikan fungsi delivery ojol dengan delivery drone akan menjawab masalah lalu lintas di DKI Jakarta. Namun disini lain peralihan ini menimbulkan masalah baru bagi pengemudi ojol perlu memperhatikan kendala teknis yang ada seperti bangunan/gedung yang tinggi hampir merata di wilayah DKI Jakarta. Selain itu dibutuhkan regulasi yang mengatur penggunaan dan pengoperasian drone oleh kementerian teknis dan pemda provinsi DKI Jakarta, serta pengalihan pengemudi ojol ke pengelola delivery drone sehingga menciptakan iklim yang kondusif dan berdampak kepada penurunan kemacetan, kecelakaan lalu lintas, polusi udara serta penghematan bahan bakar.

Kata kunci: Kemacetan, AI, Ojol, Drone, Substitusi

## PENDAHULUAN

Teknologi *drone* terus berkembang dengan pesat. Penggunaan sensor canggih, pengendalian jarak jauh yang presisi, dan kecerdasan buatan semakin dioptimalkan untuk memastikan pengantaran barang yang aman dan efisien. Selain itu, peraturan dan regulasi terkait penggunaan *drone* juga terus diperbarui untuk memastikan keselamatan penerbangan dan privasi. Pada tahun-tahun berikutnya, *drone* untuk pengantaran barang telah menjadi lebih umum dan terintegrasi dalam sistem logistik global. *Drone* digunakan untuk mengirimkan barang dari gudang ke pelanggan dengan cepat, bahkan di daerah yang sulit dijangkau oleh kendaraan darat. Penggunaannya juga meluas ke sektor-sektor lain, seperti pertanian, pengawasan infrastruktur, dan bantuan kedaruratan.

Di masa kini, *drone* untuk pengantaran barang telah menjadi bagian integral dari rantai pasok modern (Kannan, S. S., & Min, B.-C., 2022). *Drone* membantu meningkatkan efisiensi pengiriman, mengurangi biaya operasional, dan memberikan solusi yang cepat dan fleksibel untuk kebutuhan pengiriman barang. Dengan terus berlanjutnya inovasi dan pengembangan teknologi, masa depan *drone* untuk pengantaran barang diprediksi akan semakin potensial, dengan peluang untuk mengubah cara kita melihat dan mengelola logistik global (Attenni, G. et al, 2023). Meskipun teknologi *drone* untuk pengantaran barang telah mengalami perkembangan yang signifikan, namun masih terdapat beberapa kendala yang perlu diatasi untuk memastikan implementasi yang sukses dan luas, diantaranya:

- Salah satu kendala utama adalah peraturan dan hukum yang mengatur penggunaan *drone*. Setiap negara memiliki aturan yang berbeda terkait dengan operasi *drone*, termasuk batasan ketinggian terbang, wilayah terbang, dan persyaratan lisensi. Perubahan yang sering terjadi dalam regulasi ini dapat menghambat pertumbuhan dan adopsi *drone* untuk pengantaran barang.
- Keselamatan penerbangan merupakan prioritas utama dalam penggunaan *drone* untuk pengantaran barang. Risiko tabrakan dengan pesawat terbang lainnya, bangunan, atau orang bisa menjadi masalah serius. Kecerdasan buatan dan sistem penghindaran tabrakan yang canggih diperlukan untuk meminimalkan risiko ini.
- Kapasitas Baterai dan Jarak Terbang: Sebagian besar *drone* untuk pengantaran barang mengandalkan baterai sebagai sumber daya. Kendala utama adalah kapasitas baterai yang terbatas, yang membatasi jarak terbang dan kapasitas angkut. Meskipun teknologi baterai terus berkembang, masih ada tantangan dalam meningkatkan daya tahan dan efisiensi energi *drone*.
- Faktor lingkungan, seperti cuaca buruk, angin kencang, dan kondisi udara lainnya, dapat mempengaruhi kinerja dan keamanan *drone*. Pengiriman barang dengan *drone* dapat menjadi sulit atau bahkan tidak mungkin saat kondisi cuaca tidak mendukung.
- Penggunaan *drone* untuk pengantaran barang juga menimbulkan masalah privasi dan keamanan data. *Drone* dilengkapi dengan kamera dan sensor yang dapat merekam data tentang lingkungan dan kegiatan di bawahnya. Perlindungan data dan privasi pengguna harus dijamin dengan mematuhi regulasi yang ketat dan mengimplementasikan langkah-langkah keamanan yang kuat.

Dengan solusi yang tepat, *drone* untuk pengantaran barang memiliki potensi besar untuk mengubah cara kita melakukan pengiriman dan logistik dalam waktu yang akan datang. Masa

depan pemanfaatan *drone* untuk pengantaran barang menjanjikan perubahan yang revolusioner dalam industri logistik dan pengiriman. *Drone* akan menjadi bagian yang tidak terpisahkan dari infrastruktur pengiriman barang global. *Drone* akan menjadi solusi yang cepat, efisien, dan fleksibel untuk mengantarkan berbagai jenis barang, mulai dari paket kecil hingga barang berukuran besar, dengan kecepatan yang belum pernah terjadi sebelumnya.

Dengan teknologi baterai yang semakin canggih, *drone* akan memiliki jangkauan yang lebih luas dan daya tahan yang lebih baik, memungkinkan *drone* untuk melakukan pengiriman dalam jarak yang lebih jauh tanpa perlu sering mengisi ulang baterai. Hal ini akan membuka pintu bagi pengiriman ke daerah-daerah terpencil dan sulit dijangkau, serta untuk memenuhi kebutuhan pengiriman yang mendesak dalam situasi darurat. Selain itu, *drone* akan dilengkapi dengan kecerdasan buatan yang lebih canggih dan sistem penghindaran tabrakan yang lebih presisi. *Drone* akan mampu secara otomatis menghindari rintangan dan mengatasi perubahan dalam kondisi lingkungan, seperti cuaca buruk atau lalu lintas udara yang padat. Hal ini akan meningkatkan keamanan penerbangan *drone* dan mengurangi risiko tabrakan.

Penggunaan *drone* untuk pengantaran barang juga akan memberikan manfaat ekonomi yang signifikan. Dengan pengurangan biaya operasional dan waktu pengiriman yang lebih singkat, perusahaan akan dapat meningkatkan efisiensi operasional dan menawarkan layanan yang lebih cepat kepada pelanggan. Hal ini juga akan membuka peluang baru untuk bisnis kecil dan menengah untuk bersaing dalam pasar global. Namun, untuk mewujudkan potensi penuh pemanfaatan *drone* untuk pengantaran barang, perlu adanya kerjasama antara pemerintah, perusahaan, dan masyarakat. Regulasi yang sesuai dan infrastruktur yang mendukung perlu dikembangkan, termasuk aturan lalu lintas udara yang aman, wilayah penerbangan yang ditentukan, dan sistem manajemen pengiriman yang terintegrasi.

Dengan upaya bersama dan inovasi yang terus-menerus, masa depan pemanfaatan *drone* untuk pengantaran barang menjanjikan kemajuan yang signifikan dalam efisiensi, kecepatan, dan keandalan pengiriman. Hal ini akan membawa perubahan yang positif dalam cara kita melakukan bisnis dan berinteraksi dengan dunia sekitar.

## STATE OF THE ART

Dalam era modern yang dipenuhi dengan inovasi teknologi, *drone* telah menjadi salah satu alat yang paling menarik perhatian dan banyak dimanfaatkan, dimulai dari *drone* sebagai mainan hingga alat industri dan sebagai alat transportasi udara. *Drone* memiliki kemampuan untuk membawa beban tambahan selain dari beratnya sendiri. Kapasitas beban yang dapat ditanggung oleh *drone* tidak hanya menyangkut berat yang dapat diangkut, tetapi juga melibatkan beberapa faktor yang perlu dipertimbangkan.

Kapasitas angkutan merujuk pada berat maksimum yang dapat dibawa oleh sebuah *drone* secara keseluruhan, sedangkan kapasitas *payload* biasanya merujuk pada bobot tambahan yang dapat diangkut oleh *drone* selain dari beratnya sendiri. Bobot tambahan ini dapat berupa berbagai macam barang, mulai dari kamera untuk pengambilan gambar udara, paket untuk pengiriman, hingga persediaan medis yang dapat menyelamatkan nyawa, yang diangkut ke lokasi terpencil. *Overloading* atau membebani *drone* dengan berlebihan dapat menyebabkan performa yang buruk, hilangnya kendali, atau bahkan kegagalan di udara yang berpotensi fatal.



Terdapat beberapa faktor yang mempengaruhi kapasitas *payload drone*, diantaranya ukuran dan berat *drone*, serta tenaga motor dan daya baterai. Ukuran dan berat *drone* merupakan hal pertama yang mempengaruhi kapasitas beban. Umumnya, *drone* yang lebih besar memiliki kapasitas beban yang lebih besar dibandingkan dengan *drone* yang lebih kecil. Namun, tidak hanya ukuran yang penting, tetapi juga desain dan kualitas pembuatan *drone*. Sementara itu, tenaga motor dan kapasitas baterai *drone* juga merupakan faktor kunci. Motor yang lebih kuat mampu mengangkat beban yang lebih berat, tetapi juga akan menguras daya baterai dengan lebih cepat. Oleh karena itu, ada pertimbangan yang harus diperhatikan antara tenaga yang cukup untuk mengangkat beban dan daya baterai yang cukup untuk menyelesaikan misi.

Berat maksimum yang dapat dibawa oleh sebuah *drone* tergantung pada jenis *drone*, propeler, dan motor. Propeler yang lebih besar menghasilkan daya angkat yang lebih besar, sehingga memungkinkan *drone* untuk membawa beban yang lebih berat. Namun, propeler yang lebih besar juga membutuhkan motor yang lebih kuat dan mengonsumsi lebih banyak daya baterai, yang dapat mengurangi waktu terbang. *Drone* kecil biasanya dapat membawa sekitar 0,5-2 kilogram, sementara *drone* profesional dan komersial dapat membawa hingga 20 kilogram atau lebih. Beberapa contoh *drone* beserta kapasitasnya.

Membebani *drone* dengan beban yang melebihi kapasitasnya dapat menyebabkan berbagai masalah, mulai dari performa buruk hingga kegagalan yang berpotensi fatal. *Drone* akan kesulitan untuk lepas landas atau mempertahankan posisi terbang yang stabil. Semakin berat beban yang diangkut, semakin cepat baterai *drone* akan habis dan semakin pendek waktu terbangnya. Membebani *drone* dengan beban yang berlebihan dapat menyebabkan kerusakan fisik pada komponen, seperti motor dan propeler. Membebani *drone* dengan berat yang berlebihan dapat menyebabkan kegagalan di udara, yang dapat mengakibatkan kecelakaan yang merugikan. Untuk itu, perhatikan spesifikasi produsen *drone* untuk menemukan berat maksimum lepas landas agar tidak melebihi batas berat yang direkomendasikan. Selain itu, penambahan beban dapat memengaruhi pusat gravitasi *drone*, stabilitas, dan waktu terbang, jadi penting untuk menyeimbangkan berat tambahan dengan benar. Kotarski et al (2020) mengusulkan *drone* mult rotor untuk transportasi otonom yang diimplementasikan di pulau-pulau Adriatik tengah di Kroasia. Teknologi ini memungkinkan untuk mengembangkan *drone* mult rotor yang dapat membawa hingga 100 kg kargo.

## PEMBAHASAN

### Sistem Kontrol Operasi Drone

*Unmanned Aerial Vehicles* (UAV) atau yang lebih dikenal sebagai *drone*, telah menjadi perhatian utama di seluruh dunia. Para peneliti telah menciptakan berbagai algoritma kontrol baru, mulai dari pengontrol berbasis model hingga pengontrol bebas model, untuk mengendalikan sistem secara efektif dan efisien. Salah satu jenis algoritma kontrol yang berkembang adalah penggunaan arsitektur *deep learning*. *Deep learning* merupakan cabang dari *machine learning* yang menggunakan jaringan saraf tiruan (*neural networks*) dengan banyak lapisan (*layers*) untuk mempelajari representasi data yang semakin abstrak dan kompleks. Keunggulan utama dari *deep learning* adalah kemampuannya untuk mengatasi masalah pengenalan pola, klasifikasi, dan prediksi dengan tingkat akurasi yang tinggi, terutama dalam bidang pengolahan gambar dan pengenalan suara. Beberapa arsitektur *deep learning* digunakan untuk mengidentifikasi sistem UAV (Suyal, P. et al 2023). Secara khusus, model

*convolutional neural network-long short-term memory* (CNN-LSTM) telah terbukti lebih unggul daripada arsitektur lainnya, dengan nilai *mean squared error* (MSE) dan *mean absolute error* (MAE) yang diuji rata-rata sebesar 0,0002 dan 0,0030, secara berturut-turut.

Dengan mobilitas tinggi dan biaya yang terjangkau, drone telah membuka potensi besar dalam sistem pengiriman. Namun, untuk memastikan pengiriman paket yang efisien dan andal, terdapat beberapa pertimbangan desain yang krusial, diantaranya perencanaan rute yang cermat, bobot muatan, pengukuran jarak yang akurat, dan pemetaan lokasi pelanggan. Survei tentang algoritma perutean drone yang sedang berkembang, dengan fokus pada tiga aspek kunci: perencanaan lintasan, pengisian baterai, dan keamanan disajikan dalam (Raivi, A. et al 2023). Hasil survei menunjukkan bahwa sangat penting untuk merancang algoritma perutean drone yang efisien dan dapat diandalkan untuk sistem pengiriman berbasis drone dengan mempertimbangkan kondisi praktis dan ketidakpastian dalam lingkungan.

Rata-rata ketinggian gedung di Jakarta bervariasi tergantung pada lokasi dan kawasan tertentu di kota. Jakarta memiliki banyak distrik yang padat dengan gedung-gedung pencakar langit, seperti Sudirman, Thamrin, dan sekitarnya, yang memiliki gedung-gedung dengan ketinggian yang signifikan. Di daerah-daerah tersebut, rata-rata ketinggian gedung bisa mencapai lebih dari 100 meter. Namun demikian, jika mempertimbangkan seluruh kawasan di Jakarta, termasuk area perumahan dan perkantoran yang lebih rendah, rata-rata ketinggian gedung mungkin akan lebih rendah. Estimasi ketinggian rata-rata gedung di Jakarta secara keseluruhan bisa berkisar antara 30 hingga 50 meter, tergantung pada banyak faktor, seperti penggunaan lahan, zona pembangunan, dan regulasi pembangunan setempat. Regulasi yang ada di Indonesia mengizinkan *drone* beroperasi hingga 150 meter sehingga ketinggian operasional yang diijinkan ini masih melebihi ketinggian rata-rata gedung di Jakarta, terkecuali beberapa gedung tertinggi di Jakarta yang melebihi 200 meter (Direktorat Jenderal Perhubungan Udara, 2018).

Meskipun potensi penggunaan *deep learning* pada *drone* sangat besar, terdapat beberapa tantangan dan kendala yang perlu diatasi, meliputi:

- Daya dan Sumber Daya Terbatas: *Drone* memiliki batasan daya dan sumber daya komputasi yang terbatas, sehingga model *deep learning* harus dirancang untuk beroperasi dengan efisien dan hemat energi.
- Keterbatasan Data: Pengumpulan data yang berkualitas dan representatif seringkali menjadi tantangan dalam pengembangan model *deep learning* untuk *drone*, terutama dalam situasi yang jarang terjadi atau sulit diakses.
- Keterbatasan Ketersediaan Sumber Daya: Implementasi *deep learning* pada *drone* seringkali memerlukan penggunaan sumber daya komputasi tambahan, seperti *graphical processing unit* (GPU) atau *cloud computing*, yang mungkin tidak selalu tersedia di lapangan.

## Perkembangan Teknologi Drone

*Drone*, atau yang dikenal sebagai pesawat tanpa awak, merupakan salah satu teknologi yang semakin populer saat ini. Kata 'drone' diadopsi dari definisi lebah dalam referensi kepada pesawat terkendali dari jarak jauh yang pertama kali digunakan untuk latihan menembakkan target kapal perang di militer. Istilah 'drone' diambil untuk menghormati lebah induk atau 'ratu'. Istilah ini cocok karena *drone* hanya dapat terbang jika dikendalikan oleh operator di darat atau di pesawat 'induk'. Istilah ini pertama kali digunakan dengan pesawat Fairey Queen pada tahun

1920-an dan kemudian dengan pesawat target Havilland Queen Bee pada tahun 1930-an. Dengan teknologi yang terus berkembang, *drone* kini digunakan secara luas, baik untuk keperluan militer, komersial, rekreasional, maupun sipil. Teknologi *drone* telah menjelma menjadialah satu pencapaian terbesar dalam sejarah penerbangan manusia. Namun, tidak banyak yang menyadari bahwa sejarahnya dimulai jauh sebelum era modern (Kindervater, K, 2016). Pada tahun 1783 ketika Joseph-Michel dan Jacques-Étienne Montgolfier mempersembahkan demonstrasi publik pertama dari sebuah pesawat tanpa awak, sebuah balon udara panas di Annonay, Prancis. Balon udara panas ini, secara teknis, merupakan pesawat pertama yang tidak memerlukan pilot manusia.

### Proses Pengisian Daya Drone

Proses pengisian daya pada *drone* tidak terbatas hanya pada pengisian baterai, melainkan juga melibatkan pertimbangan teknis, keselamatan, dan efisiensi. Baterai merupakan salah satu komponen kunci dalam operasi *drone*. Terdapat beberapa jenis baterai yang digunakan, masing-masing memiliki karakteristik tersendiri. Beberapa jenis baterai yang umum digunakan pada *drone* meliputi:

- **Baterai Lithium-Polymer (LiPo):** Baterai LiPo telah menjadi pilihan umum dalam industri *drone* karena kepadatan energinya yang tinggi dan beratnya yang ringan. Baterai ini mampu menyimpan energi dalam jumlah besar dengan volume yang relatif kecil, membuatnya ideal untuk aplikasi *drone*. Namun, baterai LiPo juga rentan terhadap kerusakan jika tidak diisi atau disimpan dengan benar (Nurrohaman, M, F. et al, 2019).
- **Baterai Lithium-Ion (Li-Ion):** Sama seperti baterai LiPo, baterai Li-Ion juga menawarkan kepadatan energi yang tinggi dan merupakan pilihan yang baik untuk *drone* yang membutuhkan waktu terbang yang lebih lama. Baterai ini cenderung lebih stabil daripada LiPo namun dengan kepadatan energi yang sedikit lebih rendah (Qaisar, S. M., & AbdelGawad, A. E. E. 2021).
- **Baterai Nikel Metal Hydride (NiMH):** Meskipun jarang digunakan pada *drone* komersial atau profesional, baterai NiMH masih digunakan dalam *drone* yang digunakan sebagai hobi. Baterai ini cenderung lebih murah dan lebih aman daripada baterai LiPo atau Li-Ion, tetapi kepadatan energinya lebih rendah (Chittoor, P. K et al, 2021).
- **Baterai Fuel Cell:** Baterai ini adalah teknologi yang sedang berkembang dan menjanjikan untuk masa depan *drone*. Baterai ini menggunakan hidrogen atau metanol sebagai bahan bakar dan menghasilkan energi bersih tanpa emisi. Namun, keterbatasan infrastruktur pengisian bahan bakar dan biaya masih menjadi hambatan utama untuk adopsi massal (Mariscal G et al, 2024).

Setiap jenis baterai memiliki kelebihan dan kelemahan tersendiri, dan pemilihan yang tepat harus mempertimbangkan kebutuhan spesifik dari aplikasi *drone* tersebut. Beberapa strategi yang dapat diterapkan untuk mengoptimalkan kinerja baterai dan memperpanjang umur pakainya, meliputi:

- **Penggunaan *Charger* yang Sesuai:** Menggunakan *charger* yang dirancang khusus untuk jenis baterai *drone* yang digunakan sangat penting. *Charger* yang tidak cocok bisa merusak baterai atau bahkan menyebabkan kebakaran.
- **Pengisian dengan Arus yang Tepat:** Baterai memiliki tingkat arus pengisian yang direkomendasikan oleh produsen. Pengisian dengan arus yang terlalu tinggi dapat merusak baterai, sementara pengisian dengan arus yang terlalu rendah akan memperpanjang waktu pengisian.
- **Menghindari *Overcharging*:** *Overcharging* dapat merusak baterai dan bahkan

membahayakan keselamatan. Oleh karena itu, penting untuk menggunakan *charger* yang dilengkapi dengan fungsi otomatis untuk menghentikan pengisian saat baterai mencapai kapasitas penuh.

- Menjaga Suhu yang Optimal: Suhu lingkungan dapat mempengaruhi kinerja baterai. Pengisian baterai pada suhu yang terlalu rendah atau terlalu tinggi dapat merusak sel-sel baterai. Oleh karena itu, menjaga suhu lingkungan yang optimal selama proses pengisian sangat penting.
- Mengamati Siklus Pengisian: Memantau dan mencatat siklus pengisian baterai dapat membantu mengidentifikasi perubahan dalam kinerja baterai dan memperkirakan umur pakainya. Penggantian baterai secara teratur sesuai dengan rekomendasi produsen dapat membantu mencegah kegagalan baterai yang tidak terduga.

Pengisian baterai *drone* bisa memakan waktu yang cukup lama, terutama untuk baterai dengan kapasitas besar. Hal ini dapat menjadi hambatan dalam operasi di lapangan yang memerlukan *turnaround* cepat. Meskipun ada peningkatan dalam teknologi baterai, kapasitas energi masih menjadi kendala dalam waktu terbang *drone* yang membatasi jangkauan dan durasi penerbangan *drone*, sehingga pada gilirannya mempengaruhi efisiensi operasional. Pengisian baterai harus dilakukan dengan hati-hati untuk mencegah kebakaran atau ledakan yang disebabkan oleh *overcharging* atau kondisi yang tidak aman lainnya. Selain itu, ada regulasi yang harus dipatuhi terkait dengan transportasi dan penggunaan baterai *drone*, yang dapat memengaruhi proses pengisian dan penggunaannya. Baterai *drone* memerlukan perawatan yang teratur untuk memastikan kinerja dan keamanannya, termasuk pemeriksaan visual, pengujian kapasitas, dan penggantian baterai yang rusak atau usang.

Untuk mengatasi tantangan terkait dengan pengisian daya *drone*, industri terus berinovasi dalam pengembangan teknologi dan sistem pengisian daya yang lebih efisien, aman, dan dapat diandalkan. Beberapa inovasi terkini meliputi:

- Teknologi Pengisian Cepat: Pengembangan teknologi pengisian cepat memungkinkan baterai *drone* untuk diisi daya dengan lebih cepat tanpa mengorbankan keamanan atau kinerja. Hal ini dapat mempercepat waktu *turnaround* dan meningkatkan efisiensi operasional (Obayashi, S, et al 2020).
- Pengisian Nirkabel: Pengisian nirkabel atau induktif sedang dikembangkan untuk *drone*, memungkinkan pengisian baterai tanpa perlu menyentuh baterai ke *charger* secara fisik. Teknologi ini dapat meningkatkan kenyamanan dan fleksibilitas dalam pengisian *drone*, terutama dalam lingkungan yang sulit diakses (Chittoor, P, K, et al 2021).
- Sistem Manajemen Baterai/*Battery Management System* (BMS): BMS merupakan sistem yang dirancang khusus untuk memantau dan mengelola kinerja baterai. Sistem ini termasuk fungsi, seperti pengaturan suhu, pengisian otomatis, dan perlindungan terhadap *overcharging* atau kondisi yang tidak aman lainnya (Jadhav, V., & Bhosale, S, 2022).
- Penggunaan Energi Terbarukan: Penggunaan sumber energi terbarukan, seperti panel surya atau turbin angin, untuk mengisi daya baterai *drone* dapat meningkatkan keberlanjutan operasi *drone*.

## KESIMPULAN

1. Konsep penggunaan drone untuk pengantaran barang sebagai substitusi ojek online akan memberikan dampak yang positif bagi dinamika suatu kota, khususnya DKI Jakarta dalam mengurangi kemacetan lalu lintas, kecelakaan, penggunaan bahan bakar dan pencemaran udara.
2. Penataan tempat untuk landasan drone dengan alokasi lahan menurut wilayah pelayanannya, sehingga akan lebih memudahkan pengendalian drone baik secara vertikal dan horizontal sesuai dengan jarak jangkauan, lama operasi, dan daya angkat drone.
3. Strategi pengisian yang tepat dapat membantu memaksimalkan kinerja dan umur pakai baterai *drone*, yang pada gilirannya akan meningkatkan efisiensi operasional dan mengurangi biaya perawatan.
4. Untuk mendukung operasi yang aman dan efisien, stasiun pengisian daya otomatis dilengkapi dengan berbagai sensor dan sistem penginderaan, termasuk sensor penglihatan komputer (*computer vision*), sensor jarak, sensor suhu, dan sensor lainnya untuk mendeteksi *drone*, mengukur jarak, dan memantau kondisi lingkungan sekitarnya.
5. Stasiun pengisian daya otomatis diperintahkan oleh sistem kendali otomatis yang mengatur operasi pengisian daya dan manajemen stasiun. Sistem kendali ini dapat memantau status *drone*, mengelola proses pengisian daya, mengatur pembukaan dan penutupan pintu, serta menangani situasi darurat jika terjadi.
6. Sebagian besar stasiun pengisian daya otomatis terhubung ke jaringan komunikasi dan kontrol yang memungkinkan pengguna untuk mengontrol stasiun secara jarak jauh. Hal ini memungkinkan pengawasan dan manajemen stasiun dari jarak jauh, serta integrasi dengan sistem manajemen *drone* yang lebih luas.

## REKOMENDASI KEBIJAKAN

Meskipun stasiun pengisian daya otomatis menawarkan potensi besar dalam mendukung operasi *drone* yang efisien dan mandiri, penggunaannya seringkali dibatasi oleh berbagai kendala regulasi dan kebijakan. Beberapa kendala yang umumnya mempengaruhi penggunaan stasiun pengisian daya otomatis meliputi:

1. Penggunaan stasiun pengisian daya otomatis untuk operasi *drone* seringkali memerlukan perizinan dan izin operasional dari otoritas setempat. Prosedur perizinan ini dapat bervariasi di setiap negara atau wilayah, dan seringkali memerlukan penilaian risiko, persetujuan, dan pemenuhan persyaratan tertentu sebelum stasiun dapat dioperasikan secara legal.
2. Regulasi penerbangan seringkali menetapkan standar keamanan dan keselamatan yang ketat untuk penggunaan *drone*, termasuk penggunaan stasiun pengisian daya otomatis. Stasiun pengisian daya otomatis harus mematuhi standar tersebut untuk memastikan bahwa operasi pengisian daya tidak membahayakan pesawat udara, lingkungan sekitarnya, atau masyarakat umum.
3. Beberapa wilayah mungkin memiliki pembatasan khusus terkait lokasi dan lingkungan operasional dimana stasiun pengisian daya otomatis dapat diinstal dan dioperasikan. Hal ini bisa termasuk pembatasan terhadap penggunaan stasiun di area perkotaan padat atau di dekat fasilitas publik, serta persyaratan untuk mempertimbangkan dampak



- lingkungan, seperti polusi suara atau visual.
4. Penggunaan stasiun pengisian daya otomatis dapat melibatkan biaya operasional tambahan, seperti biaya lisensi, biaya perizinan, atau pajak khusus, yang dikenakan pada operasi *drone*. Faktor-faktor ini perlu dipertimbangkan oleh operator *drone* dalam perencanaan keuangan dan dapat mempengaruhi kelayakan ekonomi dari investasi dalam stasiun pengisian daya otomatis.
  5. Penggunaan stasiun pengisian daya otomatis dapat melibatkan transfer data sensitif, termasuk informasi tentang lokasi *drone*, data sensor, dan informasi pengguna. Kebijakan privasi dan keamanan data yang ketat diperlukan untuk melindungi keamanan informasi dan privasi pengguna, serta mencegah akses tidak sah atau penyalahgunaan data oleh pihak yang tidak berwenang.
  - 6.

## DAFTAR PUSTAKA

- Kannan, S. S., & Min, B.-C. (2022). *Autonomous Drone Delivery to Your Door and Yard*. In *2022 International Conference on Unmanned Aircraft Systems (ICUAS)* (pp. 452-461). Dubrovnik, Croatia. doi:10.1109/ICUAS54217.2022.9836219
- Attenni, G., Arrigoni, V., Bartolini, N., & Maselli, G. (2023). *Drone-Based Delivery Systems: A Survey on Route Planning*. *IEEE Access*, 11, 123476-123504. doi:10.1109/ACCESS.2023.3329195
- Kotarski, D., Piljek, P., & Kasac, J. (2020). *Design Considerations for Autonomous Cargo Transportation Multirotor UAVs*. <https://doi.org/10.5772/intechopen.95060>
- Suyal, P., Gola, K., Kanauzia, R., Dutt, S., Singh, M., & Mohan, L. (2023). *Deep Learning for Unmanned Aerial Vehicles: Advancements, Applications, Challenges, and Future Directions*. In *Proceedings of the 2023 IEEE Uttar Pradesh Section International Conference (UPCON)* (pp. 499-503). DOI: 10.1109/UPCON59197.2023.10434789.
- Raivi, A., Huda, S. M. A., Alam, M., & Moh, S. (2023). *Drone Routing for Drone-Based Delivery Systems: A Review of Trajectory Planning, Charging, and Security*. *Sensors*, 23. <https://doi.org/10.3390/s23031463>.
- Direktorat Jenderal Perhubungan Udara. (2018). *Peraturan Direktur Jenderal Perhubungan Udara No. KP 745 Tahun 2018 tentang Pengendalian Operasional Pesawat Udara Tanpa Awak (Drone)*. Kementerian Perhubungan Republik Indonesia.
- Kindervater, K. (2016). *The emergence of lethal surveillance: Watching and killing in the history of drone technology*. *Security Dialogue*, 47. doi:10.1177/0967010615616011.
- Nurrohaman, M. F., Titalim, B. A., Utama, T. H., & Adiprawita, W. (2019). *Design and Implementation of On-board Hybrid Generator for Rotary Wing Drone*. In *2019 International Conference on Electrical Engineering and Informatics (ICEEI)* (pp. 310-314). Bandung, Indonesia. doi: 10.1109/ICEEI47359.2019.8988811.
- Qaisar, S. M., & AbdelGawad, A. E. E. (2021). *Prediction of the Li-Ion Battery Capacity by Using Event-Driven Acquisition and Machine Learning*. In *2021 7th International Conference on Event-Based Control, Communication, and Signal Processing (EBCCSP)* (pp. 1-6). Krakow, Poland. doi: 10.1109/EBCCSP53293.2021.9502399.
- Chittoor, P. K., Chokkalingam, B., & Mihet-Popa, L. (2021). *A Review on UAV Wireless Charging: Fundamentals, Applications, Charging Techniques and Standards*. *IEEE Access*, 9, 69235-69266. doi: 10.1109/ACCESS.2021.3077041.
- Mariscal, G., Depcik, C., Chao, H., Wu, G., & Li, X. (2024). *Technical and economic feasibility of applying fuel cells as the power source of unmanned aerial vehicles*. *Energy Conversion and Management*, 301, 118005.



<https://doi.org/10.1016/j.enconman.2023.118005>.

Obayashi, S., Kanekiyo, Y., & Shijo, T. (2020). UAV/Drone Fast Wireless Charging FRP Frustum Port for 85-kHz 50-V 10-A Inductive Power Transfer. 219-222.

<https://doi.org/10.1109/WPTC48563.2020.9295562>

Jadhav, V., & Bhosale, S. (2022). Battery Management System for Drones. *International Journal of Electrical Electronics and Data Communication*.

# Penerbit Gunadarma



## TRANSFORMASI SMART TRANSPORTATION DI JAKARTA: PRAKTIK, TANTANGAN, DAN PELUANG

Rosa Eliviani<sup>1\*</sup>, Dwi Diana Wazaumi<sup>2</sup>, Luthfi Atikah<sup>3</sup>, Fahriel Dwifaldi<sup>4</sup>

<sup>1,2,3,4</sup> Program Studi Manajemen Informatika, Jurusan Informatika, Politeknik Astra,  
Kabupaten Bekasi 17530, Indonesia

\*Penulis Koresponden, e-mail: [rosa.eliviani@polytechnic.astra.ac.id](mailto:rosa.eliviani@polytechnic.astra.ac.id)

### ABSTRAK

Kemajuan dunia *Smart city* sudah semakin maju dan berkembang. *Smart city* ini memiliki konsep untuk memanfaatkan teknologi untuk menyediakan infrastruktur yang mudah diakses dan serbaguna. Teknik-teknik yang ikut berkembang sebagai penunjang untuk *Smart city* tersebut adalah *Internet of Things* (IoT), *big data*, serta *Artificial Intelligence* (AI). Hal ini tidak menutup kemungkinan, masih banyak teknik dan teknologi yang digunakan demi memajukan *smart city*. *Smart city* ini memiliki banyak aspek, salah satu perkembangan aspek tersebut adalah pada bidang *transportation*, yang dapat disebut dengan *smart transportation*. *Smart transportation* menawarkan banyak kemudahan dalam mobilitas sehari-hari dengan tujuan memudahkan masyarakat, mengurangi tingkat stres di perjalanan, dan memiliki keselarasan untuk seluruh jenis kendaraan dan destinasi yang ada. Di Indonesia, konsep *smart transportation* ini telah diimplementasikan bersama dengan konsep Jakarta *Smart City*. Ada beberapa praktik yang telah dilakukan Jakarta *Smart City* di bidang transportasi, seperti pada aplikasi Jakarta Kini (JAKI) dan JakLingko. Namun, di balik praktik yang telah dilakukan, adapun beberapa tantangan serta peluang yang masih dihadapi sehingga perlu untuk dikaji lebih dalam. Oleh karena itu, chapter ini akan memuat informasi terkait konsep Jakarta *Smart city*, implementasi untuk *smart transportation* di Jakarta serta menelaah terkait praktik, tantangan dan peluang yang ada saat ini dan yang bisa menjadi keberlanjutan dan perkembangan Jakarta di masa depan.

Kata Kunci: Jakarta, *smart*, *transportation*

### PENDAHULUAN

*Smart city* dapat didefinisikan sebagai konvergensi teknik-teknik yang sedang berkembang seperti IoT (*Internet of Things*), BD (*Big Data*), dan AI (*Artificial Intelligence*). Hal ini menawarkan paradigma baru dalam Teknologi Informasi dan Komunikasi (TIK) untuk menyediakan infrastruktur yang serbaguna bagi masyarakat agar dengan mudah mengakses layanan. *Smart city* menggunakan TIK untuk mendeteksi, menganalisis, dan mengintegrasikan informasi dari kota-kota. Konsep ini juga memungkinkan badan pemerintahan untuk mengelola dan mengendalikan sumber daya perkotaan dengan lebih baik (Talebkhah, Sali, Gordan, Hashim, & Rokhani, 2023). Konsep *smart city* telah menarik perhatian pemerintah lokal karena pertumbuhan populasi dan ekspansi batas-batas kota. Konsep ini dapat dianggap sebagai pendekatan serbaguna dalam transformasi kota-kota tradisional untuk meningkatkan ekonomi, teknologi, dan keberlanjutan. Pertumbuhan IoT dan *big data* adalah faktor kunci dalam penciptaan *smart city*. *Big data* tidak dapat diproses atau dikelola menggunakan teknologi manajemen data konvensional (Talebkhah, Sali, Gordan, Hashim, & Rokhani, 2023).

Salah satu penerapan *smart city* adalah sistem *smart transportation* yang mampu memenuhi kebutuhan transportasinya. Transportasi di dalam *smart city* haruslah mudah, ramah lingkungan, menerapkan kendaraan yang saling terintegrasi dan dapat digunakan bersama untuk meningkatkan layanan transportasi publik. Sebuah *smart transportation* menawarkan semua itu melalui pengendalian lalu lintas yang lebih baik, manajemen energi yang efisien, dan pengelolaan armada yang optimal (Al-Shariff, Alam, Ahmad, & Ahmad, 2019). Salah satu kota yang memanfaatkan *smart city* ini di Indonesia adalah Kota Jakarta. Namun, melihat beberapa praktik yang diimplementasikan di Jakarta, masih terdapat beberapa tantangan serta peluang yang dapat ditelaah dan dikembangkan untuk masa depan yang berkelanjutan bagi Kota Jakarta.

Oleh karena beberapa pembahasan di paragraf sebelumnya, *chapter* ini akan membahas implementasi konsep *smart city* di Jakarta, dengan fokus khusus pada sistem transportasi pintar. Pembahasan akan mencakup berbagai aspek, termasuk manajemen lalu lintas, transportasi umum, dan sistem parkir pintar. *Chapter* ini melihat bagaimana konsep *smart city* diterapkan dalam praktik di Jakarta, dengan membahas transformasi sistem transportasi, kondisi lalu lintas serta analisis aksesibilitasnya, keamanan lalu lintas, serta aspek lainnya yang relevan. Tujuan dari pembahasan ini adalah untuk memberikan pemahaman yang komprehensif tentang bagaimana Jakarta mengadopsi teknologi dan inovasi dalam upaya meningkatkan kualitas transportasi kota dan menciptakan lingkungan perkotaan yang lebih cerdas dan berkelanjutan.

## STATE OF THE ART

Kota Jakarta memiliki fitur transportasi dengan hasil produk kerjasama antara Jakarta Kini (JAKI) dan PT JakLingko, yang merupakan implementasi dari konsep Jakarta *Smart City*. Pengguna transportasi umum, baik warga Jakarta maupun turis, dapat memanfaatkan fitur ini untuk memeriksa jadwal, rute, serta tarif *Mass Rapid Transit* (MRT) Jakarta, *Light Rail Transit* (LRT) Jakarta, Transjakarta, dan Mikrotrans. Terdapat banyak kolaborasi dan inovasi bersama yang dapat dilakukan demi mewujudkan *smart transportation* Jakarta yang lebih baik. Dengan memanfaatkan teknologi baru dan mengintegrasikannya ke dalam perencanaan transportasi perkotaan, Kota Jakarta dapat mengatasi tantangan yang ada dan menerapkan sistem transportasi yang lebih efisien, inklusif, dan untuk masa depan (Sofa, Simorangkir, & Kahfi, 2023).

Selain implementasi yang dilakukan oleh Jakarta *Smart City*, adapun beberapa penelitian yang ikut menunjang berkembangnya *smart transportation*. Contohnya adalah penelitian *smart city* Kota Jakarta yang erat kaitannya dengan mengintegrasikan *smart transportation* menggunakan *Internet of Things* (IoT) di Kota Jakarta. IoT ini sudah banyak penerapannya di berbagai aspek kehidupan. Salah satu contohnya adalah dengan berbagai perangkat yang saling memiliki hubungan sehingga dapat dimanfaatkan oleh seluruh orang di dunia, termasuk Negara Indonesia. Hal ini juga memiliki hubungan yang erat dengan peningkatan konektivitas penggunaan jaringan internet. Bahkan perangkat IoT di Asia ini terus diprediksi akan mengalami peningkatan yang melonjak (Sriratnasari, Wang, Kaburuan, & Jayadi, 2019).

Pemanfaatan kemajuan IoT lainnya juga telah dilakukan oleh berbagai peneliti, salah satunya hasil karya cipta dari Politeknik Astra. Karya cipta tersebut adalah Ottoped Tracker Astratech, dimana suatu skuter yang dapat digunakan dan dipantau penggunaannya. Skuter ini memanfaatkan teknologi sensor *Global Positioning System* (GPS) pada setiap kendaraan tersebut untuk mengetahui lokasinya, sehingga lokasi tersebut dapat dikirim ke *database server* dengan melewati *microcontroller*. Salah satu penelitian ini dapat membantu majunya kemajuan IoT khususnya untuk implementasi *smart transportation* di Indonesia.

Beberapa negara, kota dan peneliti telah melakukan implementasi atau penelitian *smart*

*transportation* yang memanfaatkan IoT, *Big data*, dan AI. Namun, kemajuan tren teknologi IoT, *Big data* dan AI tidak datang tanpa risiko, salah satunya adalah kendala dan tantangan pada *big data*, seperti kelengkapan pengumpulan data, privasi data, penyimpanan data yang berkualitas, pemrosesan data dalam volume yang besar, publikasi data dan kebijakan terkait data (Iskandar, et al., 2024). Hal ini disebabkan karena setiap perangkat terhubung dihubungkan menggunakan berbagai cara, mulai dari WiFi atau Ethernet yang digunakan secara remote menggunakan protokol IP, Bluetooth, *Near Field Communication* (NFC), dan sebagainya. Melihat hal tersebut, tidak hanya dampak positif yang timbul, namun juga ada kemungkinan tantangan yang harus dihadapi. Tantangan ini salah satunya adalah dari segi keamanan, misalnya penyerangan keamanan data, fisik, enkripsi, privasi, dan masih banyak lagi tantangan yang lainnya yang perlu dipikirkan kembali solusinya dengan melihat peluang agar meningkatkan kualitas implementasi dari *smart transportation* di Jakarta.

## PEMBAHASAN

### Implementasi Konsep *Smart city*

Konsep *Smart city* memiliki beragam definisi yang bisa diartikan dengan luas, sehingga definisinya tidak ada yang mutlak. Dalam praktiknya, *smart city* didefinisikan sebagai tempat media digital secara strategis diintegrasikan sebagai infrastruktur dan perangkat lunak untuk mengumpulkan, menganalisis, dan berbagi data untuk mengelola dan memberi informasi tentang keputusan terkait lingkungan perkotaan dan aktivitasnya (Halegoua, 2020). Berikut adapun subab untuk beberapa pembahasan untuk konsep *smart city* serta penerapannya di Kota Jakarta.

#### a. Konsep *Smart city*

*Smart city* sangat diperlukan di kota-kota saat ini untuk mengatasi keterbatasan ruang dan sumber daya yang ada di seluruh dunia. Sebagai akibatnya, konsep kota cerdas mulai muncul karena adanya industri dan pasar teknologi informasi dan komunikasi yang sangat inovatif. Selain itu, *smart city* juga telah mulai menggunakan solusi-solusi baru yang memanfaatkan Teknologi *Internet of Things* (IoT), *big data*, AI, dan teknologi komputasi awan untuk membentuk hubungan yang kuat antara setiap bagian dan lapisan kota. Ada beberapa teknologi penting yang digunakan untuk membangun kota cerdas yang berfungsi dan mempertimbangkan kebutuhan manusia. Meskipun konsep kota cerdas merupakan solusi canggih untuk kota-kota masa kini, saat ini terdapat kebutuhan untuk menemukan lebih banyak ruang hidup, sehingga konsep *smart city* bisa diaplikasikan ke dalam ruang hidup alternatif (Kirimat, Krejcar, Kertesz, & Tasgetiren, 2020). Pembangunan *smart city* adalah investasi besar yang terus dilakukan di berbagai kota di seluruh dunia. Konsep dan model yang digunakan bervariasi secara signifikan (PUPR, 2015).

#### b. *Smart city* di Jakarta

Pembangunan *smart city* bergantung pada beberapa prinsip dasar yang menjadi landasan. Biasanya, prinsip-prinsip ini bervariasi tergantung pada kota yang bersangkutan. Di Jakarta, pengembangan *smart city* mengacu pada enam indikator atau prinsip, yaitu *smart governance*, *smart environment*, *smart economy*, *smart mobility*, *smart living*, dan *smart people* (Sofa, Simorangkir, & Kahfi, 2023).

Di Jakarta, langkah awal pengenalan konsep *smart city* dimulai pada tahun 2015, yang ditandai dengan kehadiran Jakarta Fair 2015 di JIExpo Kemayoran. Setelah itu, perkembangan konsep *smart city* di Jakarta terus berlanjut dengan terkaitnya kota ini dengan Gerakan Menuju 100 *smart city* sejak tahun 2017. Gerakan ini merupakan inisiatif untuk mendampingi 100 kota atau kabupaten sebagai contoh dalam menyusun rencana induk *smart city* dan mengimplementasikannya di wilayah mereka masing-masing, termasuk Jakarta (Sofa, Simorangkir, & Kahfi, 2023).

Jakarta *Smart City* mempersembahkan sebuah aplikasi serba guna yang dikenal sebagai JAKI (Jakarta Kini). JAKI dirancang untuk memberikan akses kepada warga Jakarta terhadap berbagai informasi, seperti transportasi publik, kondisi cuaca, layanan kesehatan, agenda acara publik, dan berbagai kebutuhan lainnya. Selain itu, warga Jakarta dapat menggunakan fitur Laporan Warga di dalam aplikasi JAKI untuk melaporkan masalah yang mereka hadapi. Berbagai layanan pemerintah juga terintegrasi dalam satu aplikasi ini dan dapat diakses dengan mudah melalui perangkat masing-masing. JAKI tersedia dalam versi bahasa Indonesia dan bahasa Inggris, sehingga warga negara asing yang berada di Jakarta juga dapat mengaksesnya (Sofa, Simorangkir, & Kahfi, 2023).

Berdasarkan Karakteristik Kota Global - Badan Perencanaan Pembangunan Daerah (Bappeda) Provinsi DKI Jakarta 2023, adapun beberapa peran Jakarta *Smart City* menuju Jakarta kota global yaitu sektor ekonomi yang mapan dan terkoneksi secara global, sektor ekonomi yang mapan dan terkoneksi secara global, nyaman untuk dihuni, cultural value yang menarik untuk pengunjung, lingkungan yang bersih, nyaman, dan berkelanjutan, serta terkoneksi secara intra dan inter-kota (Nugraha, 2023).

## **Implementasi Sistem *Smart transportation***

### **a. Manajemen Lalu Lintas**

Kemacetan lalu lintas di Jakarta adalah masalah yang rumit dan melibatkan banyak komponen. Salah satu penyebab masalah ini adalah sistem parkir yang tidak efisien. Parkir di badan jalan seringkali mengganggu lalu lintas, memperlambat pergerakan, dan menyebabkan kemacetan (Liputan6, 2022). Tempat parkir yang berlebihan juga dapat meningkatkan penggunaan mobil pribadi, menambah beban pada infrastruktur jalan.

Tingkat kemacetan di Jakarta mencapai sekitar 48 persen, menurut data dari penelitian yang dilakukan oleh (Tamin, 2007). Kerugian yang disebabkan oleh kemacetan ini sangat besar secara ekonomi. Sebuah kajian yang dilakukan oleh Bank Dunia pada tahun 2019 (Bank Dunia, 2019) menunjukkan bahwa kemacetan di Jakarta mengakibatkan kerugian sebesar Rp 65 triliun per tahun. Pemerintah Provinsi DKI Jakarta telah menggunakan berbagai pendekatan untuk menangani masalah ini. Salah satunya adalah dengan menerapkan tarif disinsentif untuk kendaraan yang belum menjalani uji emisi dan tidak memenuhi syarat. Tujuan kebijakan ini adalah untuk mendorong orang untuk beralih dari kendaraan pribadi ke transportasi umum dan memperbaiki kendaraan pribadi mereka.

### **b. Manajemen Transportasi Umum**

Dalam beberapa tahun terakhir, transportasi umum di Jakarta telah berkembang pesat. Peningkatan ini sangat dipengaruhi oleh integrasi berbagai moda transportasi publik. Integrasi ini mencakup banyak hal, seperti manajemen, sistem tiket, dan rute. Dengan

integrasi ini, masyarakat dapat memperoleh sarana transportasi umum yang nyaman dan efektif. Misalnya, mikro bis, bis menengah, bis besar, *Bus Rapid Transit* (BRT), kereta api, dan MRT telah lama menjadi metode transportasi massal yang populer di Jakarta. Pengguna sekarang dapat dengan mudah berpindah dari satu moda transportasi ke moda lainnya berkat pengintegrasian (tempo.co, 2022).

Selain itu, sistem terpadu yang disebut JakLingko oleh pemerintah Provinsi DKI Jakarta (Dishub DKI Jakarta, 2023) bertujuan untuk mendorong orang untuk menggunakan angkutan umum dan membatasi kendaraan perseorangan. Pada akhirnya, sistem ini akan membantu mengurangi kemacetan lalu lintas di ibu kota. Meskipun ada kemajuan dalam manajemen transportasi umum, masih ada beberapa masalah yang perlu diselesaikan. Misalnya, koordinasi antara berbagai moda transportasi masih menjadi masalah dan layanan harus terus ditingkatkan agar orang semakin yakin untuk beralih dari kendaraan pribadi (Hikmah & Cahyoko, 2012).

Ide *Park & Ride* adalah salah satu strategi yang menarik (Lingkungan Hidup, 2019). Konsep ini menawarkan solusi praktis untuk mengurangi jumlah kendaraan pribadi di jalan raya sekaligus mendorong penggunaan angkutan umum yang lebih ramah lingkungan. Pengendara dapat memarkir mobil mereka di lokasi yang strategis, dekat dengan stasiun transportasi umum, dan kemudian dengan mudah melanjutkan perjalanan menggunakan moda transportasi massal. Konsep *Park & Ride* memiliki potensi besar untuk mengatasi masalah kemacetan dan polusi udara di perkotaan. Selain itu, sebagai hasil dari peningkatan penggunaan angkutan umum, *Park & Ride* juga membantu mengurangi emisi gas rumah kaca dan polusi udara.

### c. Sistem Smart Parking

Sistem *smart parking* adalah sebuah solusi berbasis teknologi yang dirancang untuk memudahkan proses pencarian tempat parkir. Sistem ini memanfaatkan teknologi seperti sensor, *Internet of Things* (IoT), dan perangkat lunak untuk memberikan informasi *real-time* tentang ketersediaan tempat parkir. Berikut adalah beberapa komponen utama dalam sistem *smart parking*:

1. **Sensor:** Sensor digunakan untuk memantau ketersediaan tempat parkir. Setiap slot parkir dilengkapi dengan sensor yang dapat mendeteksi apakah slot tersebut kosong atau tidak (Kangoa, Ihsan, & Amsal, 2023).
2. **Perangkat Lunak:** Perangkat lunak berfungsi untuk mengolah data dari sensor dan menyajikan informasi tersebut kepada pengguna melalui aplikasi atau panel informasi.
3. **Aplikasi Seluler:** Aplikasi seluler memungkinkan pengguna untuk melihat informasi tentang ketersediaan tempat parkir secara *real-time*. Pengguna dapat melihat lokasi tempat parkir yang tersedia dan mendapatkan petunjuk arah menuju ke sana.

Dengan kemajuan teknologi, khususnya di bidang sensor, kamera, dan aplikasi seluler, sistem *smart parking* sekarang bekerja dengan lebih baik (Synapsis.id, 2022). Ini juga membuka peluang baru untuk membangun sistem manajemen lalu lintas yang lebih cerdas dan efisien. Pada dasarnya, sistem *smart parking* menggunakan sensor untuk mengidentifikasi ruang parkir kosong. Selanjutnya, data dikirim ke pusat data, dan



pengendara dapat mengaksesnya melalui aplikasi seluler. Akibatnya, pengendara dapat mengetahui tempat parkir yang tersedia tanpa mencari-cari, yang dapat mengurangi waktu yang dihabiskan untuk mencari tempat parkir dan secara tidak langsung mengurangi kemacetan di jalan raya. Selain itu, sistem *smart parking* dapat diintegrasikan dengan sistem manajemen lalu lintas untuk mengoptimalkan arus lalu lintas (Susilo & Imanuel, 2018).

Lebih dari sekadar solusi parkir, sistem *smart parking* memiliki potensi untuk mendukung Konsep *Park & Ride* (Nocola IOT Solution, 2024). Pengendara dapat memperoleh informasi tentang ketersediaan tempat parkir secara *real-time* melalui teknologi sensor dan aplikasi yang terhubung ke ponsel mereka. Kemudahan ini meningkatkan penggunaan transportasi umum karena mengurangi waktu yang dihabiskan untuk mencari tempat parkir dan mengurangi kemacetan. Banyak tempat di Jakarta telah menerapkan konsep *Park & Ride* yang memanfaatkan *smart parking*. Contohnya, pengendara dapat menggunakan MRT di Lebak Bulus setelah memarkir mobil mereka (Tribun Jakarta, 2023). Implementasi sistem ini diharapkan akan mendorong lebih banyak orang untuk menggunakan transportasi umum, yang pada akhirnya akan membantu mengurangi kemacetan lalu lintas di Jakarta.

Meski sistem *smart parking* menawarkan berbagai manfaat, implementasinya juga menghadapi beberapa tantangan:

1. **Biaya Implementasi:** Biaya untuk memasang sensor di setiap slot parkir dan pengembangan perangkat lunak dan aplikasi seluler bisa menjadi beban bagi operator parkir atau pemerintah kota.
2. **Integrasi dengan Infrastruktur yang Sudah Ada:** Mengintegrasikan sistem Smart Parking dengan infrastruktur parkir yang sudah ada bisa menjadi tantangan, terutama di kota-kota tua dengan infrastruktur yang sudah mapan.

Namun, masalah dapat diselesaikan dengan solusi yang tepat. Mengatasi masalah biaya memerlukan pengembangan model bisnis yang berkelanjutan. Operator parkir dapat menerapkan tarif parkir berdasarkan durasi (Suthanaya, 2010), atau pemerintah kota dapat memberikan insentif bagi operator yang menerapkan sistem *smart parking*. Selain itu, kerja sama erat dengan pihak berkepentingan, seperti pemerintah kota, operator parkir, dan pengguna, sangat penting untuk mengatasi tantangan integrasi. Melalui kerja sama ini, solusi yang paling efektif dan efisien dapat ditemukan, sehingga implementasi sistem *smart parking* dapat berjalan lancar dan memberikan manfaat maksimal bagi masyarakat.

### **Sistem Smart Transportation di Jakarta**

Jakarta merupakan kota dengan urbanisasi tertinggi di Indonesia. Menurut Badan Pusat Statistika Provinsi DKI pada tahun 2020 diperkirakan jumlah masyarakat mencapai 10,64 juta jiwa (Goldblum & Wong, 2000). Urbanisasi memberikan berbagai dampak positif dan negatif pada daerah itu sendiri. Dampak positif yaitu semakin meningkatnya perekonomian di ibukota, namun dampak negatif juga dihadapi oleh masyarakat yaitu tantangan seperti kemacetan, ketidakseimbangan ekonomi, pelayanan masyarakat yang kurang optimal dikarenakan jumlah penduduk. Hal tersebut mendorong masyarakat dan pemerintah untuk berinovasi mengatur dan mendapatkan layanan publik yang efektif, efisien, dan transparan (Hartawan et al.,

Dampak urbanisasi mendorong masyarakat dan pemerintah untuk berinovasi mengatur dan mendapatkan layanan publik yang efektif, efisien, dan transparan (Hartawan et al., n.d.). Kemacetan menjadi salah satu dampak dari urbanisasi, bertambahnya penduduk setiap tahun serta fasilitas transportasi yang tidak memadai menjadi timbulnya kemacetan di ibukota. Dampak dari kemacetan salah satunya yaitu polusi udara yang terjadi di ibukota Jakarta yang berpengaruh terhadap kesehatan masyarakat sendiri (Syuhada et al., 2023).

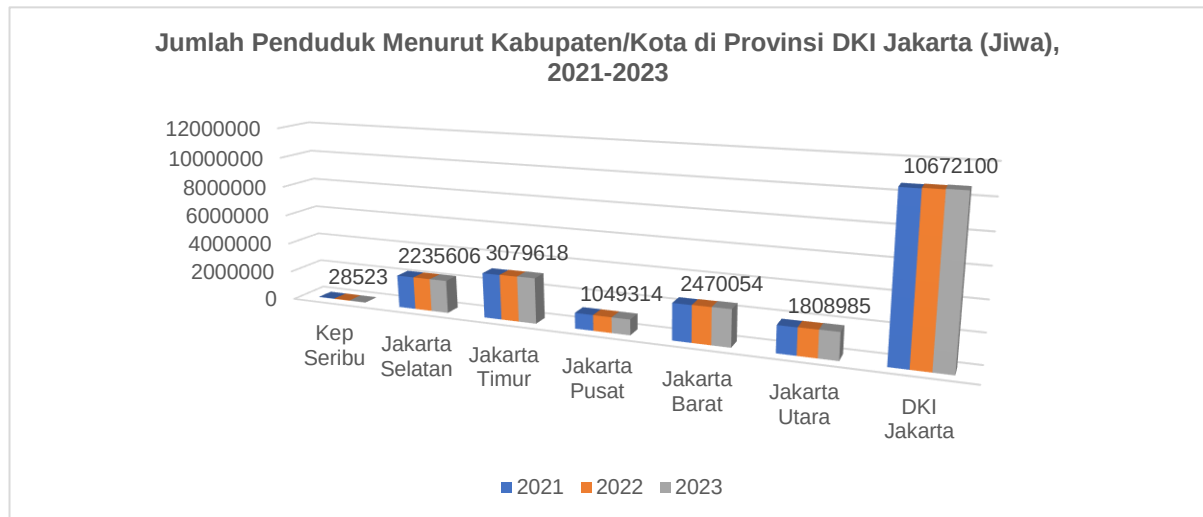
Berbagai dampak yang telah dihadapi ibukota Jakarta dari faktor urbanisasi, maka pemerintah melakukan inovasi dengan membangun terobosan ibu kota dengan *Smart city*. *Smart city* sendiri merupakan istilah dimana kota-kota yang telah mengintegrasikan teknologi informasi dan komunikasi untuk meningkatkan kesejahteraan masyarakat. Pembangunan *Smart city* sendiri melibatkan dua aspek yang berjalan secara paralel yaitu proses sosial dan juga teknis (Hartawan et al., n.d.). Kemudian ada tiga unsur yang harus berjalan yaitu kebutuhan sosial yaitu kemajuan ilmiah dan teknologi, peningkatan kualitas hidup, dan sumber daya inovatif. Ketiga unsur tersebut harus berjalan bersama dan menciptakan nilai-nilai sosial baru dan pembangunan perkotaan yang lebih baik. Konsep *smart city* sendiri yaitu meningkatkan kualitas hidup dengan menyelesaikan masalah urbanisasi dengan menggunakan metode inovatif, terintegrasi, dan berkelanjutan. Tolak ukur untuk keberhasilan *smart city* tidak hanya membutuhkan teknologi yang unik namun berbagai aspek harus dipertimbangkan. Menurut (Standardization, 2019) keberhasilan penerapan *smart city* terdiri dari 6 indikator, yaitu: *Smart Economy*, *Smart People*, *Smart Governance*, *Smart Mobility*, *Smart Environment*, and *Smart Living*.

Inovasi yang telah didirikan oleh pemerintah Jakarta salah satunya yaitu Jakarta *Smart City* (JSC). JSC sendiri merupakan sebuah unit dibawah Kantor Komunikasi, Informasi, dan Statistik Pemerintah Provinsi DKI Jakarta. Pembangunan *smart city* telah dikembangkan dan dibangun dengan berbagai inovasi pada seluruh penjuru dunia, salah satunya di ibukota Indonesia yaitu Jakarta. Seperti contoh kartu pintar yang dapat digunakan untuk berbagai pembayaran transportasi umum (Syalianda & Kusumastuti, 2021). Selain Pembangunan manajemen transportasi, pembangunan fasilitas transportasi masalpun juga dilakukan (Febriani et al., 2020). Beberapa diskusi dilakukan terkait minat masyarakat beralih dari transportasi pribadi ke transportasi masal (Syarif Muhammad, n.d.). Berdasarkan hasil diskusi didapati bahwa masyarakat cenderung berpindah dari transportasi pribadi ke transportasi masal dengan tolak ukur salah satunya kemudahan dalam akses dan fasilitas yang memadai.

#### a. Transformasi Sistem Transportasi

Jakarta memiliki tingkat pertumbuhan penduduk bervariasi setiap tahunnya: Kep. Seribu 2,24%, Jakarta Selatan 0,40%, Jakarta Timur 0,80%, Jakarta Pusat 1,14%, Jakarta Barat 0,29%, Jakarta Utara 0,41%, DKI Jakarta 0,57% (Badan Pusat Statistik Provinsi DKI Jakarta, 2024). Pada tahun 2023, populasi Jakarta mencapai 21.344.200 jiwa, Gambar 1. Menunjukkan DKI Jakarta sebagai Ibu Kota, memiliki total penduduk terbesar sebanyak 10.672.100 jiwa, yang mengalami peningkatan sebanyak 32.093 jiwa dari tahun sebelumnya. Hal ini mencerminkan tren pertumbuhan yang signifikan di wilayah tersebut (BPS Provinsi DKI Jakarta, 2023). Dengan pertumbuhan jumlah penduduk yang signifikan tersebut, keberlanjutan pengembangan infrastruktur transportasi di Jakarta menjadi sangat penting. Ini sesuai dengan penelitian yang menunjukkan bahwa sistem transportasi

perkotaan terus berkembang seiring dengan pertumbuhan populasi dan variasi model bisnis yang mengakomodasi berbagai segmen (Mavlutova et al., 2023). Oleh karena itu, pihak terkait perlu memahami pentingnya transformasi dalam sistem transportasi untuk memenuhi kebutuhan masyarakat secara luas dan efektif.



**Gambar 1.** Jumlah Penduduk Jakarta Tahun 2021 – 2023 (BPS Provinsi DKI Jakarta, 2023)

Dalam beberapa tahun terakhir, Jakarta telah menyaksikan pertumbuhan pesat dalam infrastruktur transportasi, yang tidak hanya mencakup pengembangan sistem *Mass Rapid Transit* (MRT), *Light Rail Transit* (LRT), Kereta Api Indonesia (KAI) Commuter. Aspek yang akan dibahas diantaranya pembayaran terintegrasi, peta transportasi terintegrasi, dan aplikasi pelanggan. Hal ini merupakan contoh aspek upaya pemerintah dalam menyongsong Jakarta *Smart City*.

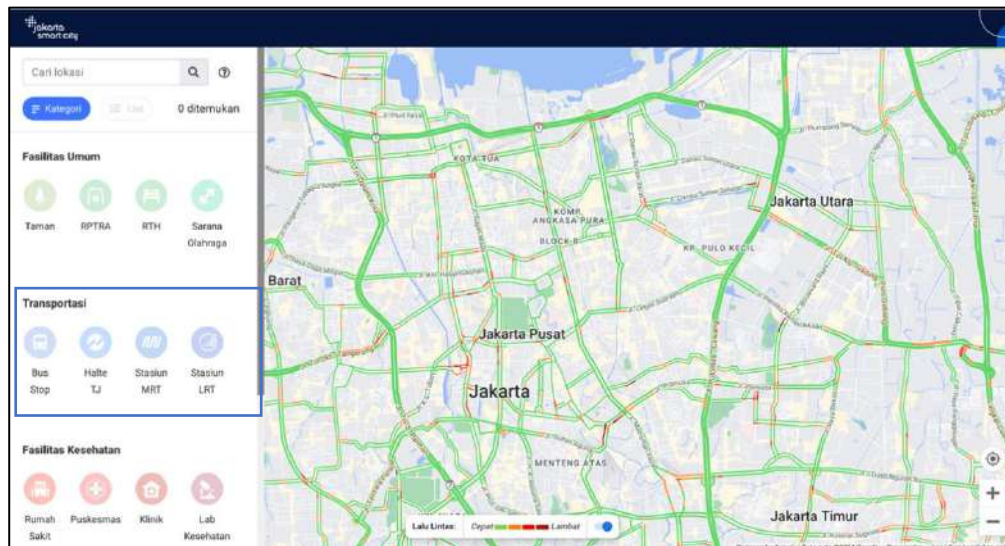
## 1. Pembayaran Terintegrasi

Pembayaran terintegrasi penting dalam sistem transportasi, karena dapat mengurangi waktu yang dibutuhkan untuk naik ke kendaraan, mengumpulkan data valid mengenai kebiasaan dan perilaku perjalanan di Jakarta, mengatur permintaan dan meningkatkan jumlah penumpang di luar jam sibuk, serta mendorong pertumbuhan ekonomi non-tunai melalui integrasi dengan berbagai layanan perdagangan (Abdinagoro & Hamsal, 2016). Saat ini, Jakarta telah mengadopsi sistem pembayaran terintegrasi melalui Aplikasi Jaklingo. Dengan sistem ini, pelanggan dapat membeli tiket secara daring menggunakan satu aplikasi untuk semua moda transportasi, termasuk TransJakarta, MRT, LRT, Grab, dan KAI Commuter. Sistem ini tidak hanya menyederhanakan proses pembelian tiket, tetapi juga meningkatkan kenyamanan dan efisiensi bagi pengguna transportasi umum di Jakarta. Dengan adanya integrasi ini, pelanggan dapat dengan mudah merencanakan perjalanan lintas moda, mengurangi waktu tunggu, dan meningkatkan pengalaman perjalanan secara keseluruhan.

## 2. Peta Transportasi Terintegrasi

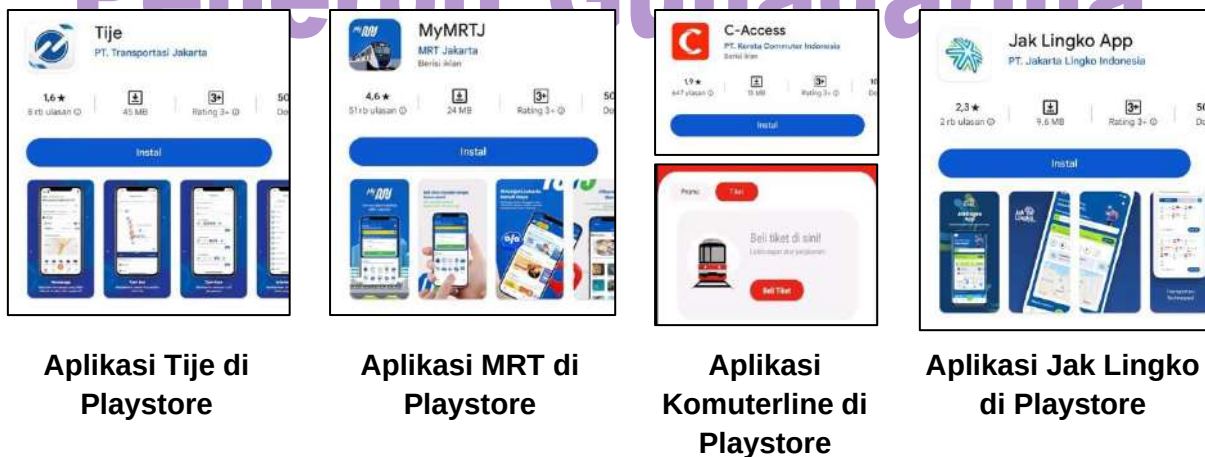
Peta sebagai petunjuk pengguna bertujuan untuk mempermudah akses dan informasi

bagi pengguna transportasi, Jakarta juga menyediakan Peta Transportasi Terintegrasi melalui tautan berikut: [smartcity.jakarta.go.id/id/peta/](https://smartcity.jakarta.go.id/id/peta/). Melalui peta ini, pengguna dapat dengan mudah menemukan lokasi Bus Stop, Halte TransJakarta, Stasiun LRT, serta mendapatkan informasi terkini mengenai status layanan MRT. Ini adalah langkah penting dalam mendukung mobilitas yang lebih efisien dan terkoordinasi di seluruh wilayah Jakarta.



**Gambar 2.** Peta *Smart city* (<https://smartcity.jakarta.go.id/id/peta/>)

### 3. Aplikasi Pelanggan



**Aplikasi Tije di Playstore**

**Aplikasi MRT di Playstore**

**Aplikasi Komuterline di Playstore**

**Aplikasi Jak Lingko di Playstore**

**Gambar 3.** Tangkapan layar aplikasi pelanggan

Dalam konteks MRT dan LRT, teknologi telah digunakan untuk meningkatkan efisiensi dan kenyamanan pengguna. Misalnya, sistem pemantauan pintar digunakan untuk mengawasi keamanan dan kinerja jaringan MRT dan LRT secara real-time. Aplikasi seluler juga telah diperkenalkan untuk memberikan informasi langsung kepada pengguna mengenai jadwal, rute, dan kondisi lalu lintas, serta untuk pembayaran tiket secara elektronik, yang mengurangi antrian di stasiun. Dari sisi Busway, Jakarta memiliki moda transportasi bernama TransJakarta yang penumpangnya mencapai 280 juta jiwa pada tahun 2023 (Nurhaliza, 2024). TransJakarta memiliki inovasi yang menggunakan teknologi sebagai upaya ketercapaian *Smart transportation* dari armada, penjadwalan, pembelian tiket, dan pembayaran. Salah satu inisiatif terpenting adalah penggunaan sistem manajemen armada

yang cerdas. Melalui sistem ini, armada bus TransJakarta dipantau secara real-time menggunakan teknologi GPS. Hal ini memungkinkan pengelola transportasi untuk melacak lokasi bus secara akurat, mengoptimalkan jadwal perjalanan, dan memberikan informasi yang tepat waktu kepada penumpang melalui aplikasi seluler dan papan informasi di halte. Selain itu, aplikasi seluler resmi TransJakarta telah menjadi alat penting bagi pengguna dalam merencanakan perjalanan mereka. Aplikasi ini memberikan informasi tentang jadwal, rute, dan lokasi halte, serta memungkinkan pembayaran tiket secara elektronik. Dengan demikian, pengguna dapat mengakses informasi terbaru tentang layanan Busway dan menghindari kerumunan di halte dengan memantau jadwal dan tingkat ketersediaan bus secara langsung. Di samping itu, Jakarta juga telah mengimplementasikan sistem pembayaran elektronik yang terintegrasi untuk memfasilitasi transaksi di bus TransJakarta. Pengguna dapat menggunakan kartu prabayar atau pembayaran nontunai melalui aplikasi seluler untuk membayar tiket, mengurangi waktu yang dibutuhkan untuk transaksi dan mempercepat proses naik turun penumpang di halte. Sedangkan dalam pengembangan kereta api komuter, aplikasi seluler dan situs web telah diperkenalkan untuk memberikan informasi terbaru tentang jadwal, perubahan, dan keterlambatan, sehingga pengguna dapat merencanakan perjalanan mereka dengan lebih baik. Tidak hanya itu, Jakarta juga telah memperkenalkan program pengembangan infrastruktur *smart city*, di mana sensor dan teknologi pintar digunakan untuk memantau lalu lintas, menyesuaikan sinyal lalu lintas, dan mengoptimalkan penggunaan jalur khusus Busway. Hal ini bertujuan untuk meningkatkan efisiensi dan kelancaran perjalanan bus, serta mengurangi waktu tempuh dan kemacetan di koridor Busway. Secara keseluruhan, melalui penerapan sistem manajemen armada yang cerdas, aplikasi seluler, pembayaran elektronik, dan integrasi teknologi *smart city*, Jakarta telah berhasil meningkatkan pengalaman pengguna dan efisiensi operasional dalam sistem transportasi Busway, menuju visi kota yang lebih pintar dan berkelanjutan. Secara keseluruhan, integrasi teknologi canggih ke dalam infrastruktur transportasi Jakarta telah membantu menciptakan lingkungan yang lebih efisien, aman, dan nyaman bagi pengguna, sambil berkontribusi pada visi kota yang lebih pintar dan berkelanjutan.

## **b. Kondisi Lalu Lintas dan Analisis Aksesibilitas**

Diskusikan tantangan dan potensi hambatan yang terkait dengan topik bab ini. Mengidentifikasi hambatan yang umum terjadi dan menawarkan wawasan tentang cara mengatasinya. Dalam subbab ini, kita akan menganalisis data tentang lalu lintas dan aksesibilitas di Jakarta, dengan fokus pada wilayah-wilayah tertentu dan jenis moda transportasi yang dominan.

Tabel 1 menunjukkan jumlah kendaraan bermotor di Provinsi DKI Jakarta mengalami peningkatan dari tahun 2016 sampai dengan 2022. Jenis kendaraan bermotor berupa mobil penumpang, bus, truk dan sepeda motor seluruhnya mengalami peningkatan. Hal ini menunjukkan adanya potensi kepadatan lalu lintas yang tentunya dapat menimbulkan dampak kemacetan maupun peningkatan potensi kecelakaan. Selain itu, hasil pemantauan di empat lokasi jalan tol utama di Provinsi DKI Jakarta, termasuk Ruas Jalan Tol Jagorawi, Jalan Tol Jakarta-Tangerang, Jalan Tol Jakarta-Cikampek, dan Jalan Tol Cawang-Tomang-Cengkareng, menunjukkan bahwa ancaman kecelakaan dari lingkungan atau fasilitas sarana dan prasarana jalan tol memiliki persentase yang relatif rendah (BPS DKI Jakarta, 2022).



**Tabel 2.** Jumlah Kendaraan Bermotor di Provinsi DKI Jakarta (BPS DKI Jakarta, 2022)

Selama periode empat tahun antara 2018 hingga 2021, jumlah kecelakaan yang terjadi di keempat lokasi tersebut menunjukkan fluktuasi (Badan Pusat Statistik, 2019). Faktor manusia meliputi tindakan pengemudi seperti kurang memperhatikan keselamatan, melanggar peraturan lalu lintas, melakukan manuver berbahaya seperti mendahului tanpa memperhitungkan keamanan, serta kondisi pengemudi yang mungkin lelah, mengantuk, atau

| Jenis Kendaraan | Jumlah Kendaraan Bermotor Menurut Jenis Kendaraan (unit) di Provinsi DKI Jakarta |          |          |          |          |          |          |
|-----------------|----------------------------------------------------------------------------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
|                 | 2016                                                                             | 2017     | 2018     | 2019     | 2020     | 2021     | 2022     |
| Mobil Penumpang | 2570433                                                                          | 2827399  | 3082616  | 3310426  | 3365467  | 3544491  | 3766059  |
| Bus             | 29336                                                                            | 31593    | 33419    | 34905    | 35266    | 36339    | 37180    |
| Truk            | 553320                                                                           | 587860   | 631156   | 669724   | 679708   | 713059   | 748395   |
| Sepeda Motor    | 13338593                                                                         | 14137126 | 15037359 | 15868191 | 16141380 | 16711638 | 17304447 |
| Jumlah          | 16491682                                                                         | 17583978 | 18784550 | 19883246 | 20221821 | 21005527 | 21856081 |

terpengaruh oleh alkohol, yang semuanya dapat mempengaruhi kemampuan mereka dalam mengendalikan kendaraan dengan baik (Steni Feni Ema Mubalus, 2023). Tabel 2 menunjukkan indikator serta jumlah kecelakaan pertahun di Jakarta selama periode 2018 – 2021.

**Tabel 3.** Indikator Kecelakaan Lalu Lintas di Jalan Tol Menurut Ruas Jalan  
(Badan Pusat Statistik, 2019)

| Indikator Kecelakaan       | Jumlah Kecelakaan Per-Tahun |      |      |      |
|----------------------------|-----------------------------|------|------|------|
|                            | 2018                        | 2019 | 2020 | 2021 |
| 1. Jumlah Kecelakaan       | 862                         | 708  | 534  | 680  |
| 2. Jumlah Korban meninggal | 65                          | 53   | 38   | 48   |
| 3. Faktor Penyebab:        | -                           | -    | -    | -    |
| a. Pengemudi               | 755                         | 632  | 439  | 584  |
| b. Kendaraan               | 96                          | 73   | 89   | 88   |
| c. Lingkungan              | 11                          | 3    | 6    | 8    |
| d. Tidak diketahui         | -                           | -    | -    | -    |

Dalam upaya mengatasi masalah ini, integrasi moda transportasi telah menjadi fokus utama. Dengan menyelaraskan berbagai opsi transportasi seperti bus, kereta, dan layanan berbasis aplikasi, pemerintah berharap dapat menciptakan jaringan transportasi yang lebih efisien dan terintegrasi. Dari data pada Tabel 3, terlihat bahwa wilayah Jakarta Selatan memiliki jumlah moda terintegrasi yang cukup tinggi, terutama di sekitar stasiun-stasiun besar seperti Tebet dan Manggarai (Satu Data Jakarta, 2024a). Sementara itu, wilayah Jakarta Pusat juga memiliki beberapa stasiun penting seperti Palmerah dan Gondangdia. Ini menunjukkan bahwa wilayah-wilayah ini mungkin menjadi pusat mobilitas dan aksesibilitas yang penting bagi penduduk Jakarta.

**Tabel 4** Jumlah Moda Terintegrasi (Satu Data Jakarta, 2024a)



| Wilayah                   | Lokasi                                               | Jumlah Moda Terintegrasi |
|---------------------------|------------------------------------------------------|--------------------------|
| Kota Adm. Jakarta Selatan | Stasiun Tebet                                        | 4000                     |
| Kota Adm. Jakarta Pusat   | Stasiun Palmerah                                     | 2000                     |
| Kota Adm. Jakarta Selatan | Stasiun Manggarai                                    | 2000                     |
| Kota Adm. Jakarta Pusat   | Stasiun Gondangdia                                   | 3000                     |
| Kota Adm. Jakarta Barat   | Stasiun Jakarta Kota                                 | 3000                     |
| Kota Adm. Jakarta Timur   | Stasiun Matraman                                     | 2000                     |
| Kota Adm. Jakarta Timur   | Stasiun Jatinegara                                   | 3000                     |
| Kota Adm. Jakarta Pusat   | Stasiun Juanda                                       | 2000                     |
| Kota Adm. Jakarta Selatan | Stasiun Cawang Cikoko                                | 3000                     |
| Kota Adm. Jakarta Selatan | Kawasan Berorientasi Transit Lebak Bulus             | 2000                     |
| Kota Adm. Jakarta Selatan | Kawasan Berorientasi Transit Blok M Sisingamangaraja | 3000                     |
| Kota Adm. Jakarta Selatan | Kawasan Berorientasi Transit Fatmawati               | 2000                     |
| Kota Adm. Jakarta Selatan | Kawasan Berorientasi Transit Istora Senayan          | 2000                     |
| Kota Adm. Jakarta Pusat   | Kawasan Berorientasi Transit Dukuh Atas              | 4000                     |
| Kota Adm. Jakarta Selatan | Skywalk Kebayoran                                    | 2000                     |

Dari data persentase pada Tabel 4 menggunakan transportasi publik, terlihat bahwa moda transportasi yang paling dominan adalah ojek online, diikuti oleh Transjakarta dan KRL. Hal ini menunjukkan bahwa meskipun ada berbagai moda transportasi yang tersedia, banyak penduduk Jakarta lebih memilih menggunakan layanan ojek online untuk mobilitas sehari-hari mereka. Dari analisis ini, tampaknya ada korelasi antara keberadaan stasiun-stasiun besar seperti Palmerah dan Gondangdia dengan penggunaan KRL dan Transjakarta. Wilayah-wilayah di sekitar stasiun-stasiun ini mungkin menjadi pusat transportasi yang penting bagi penduduk Jakarta.

**Tabel 5.** Data Persentase Perjalanan Penduduk Menggunakan Transportasi Publik (Satu

Data Jakarta, 2024)

| Jenis Moda                 | Jumlah Perjalanan | Persentase |
|----------------------------|-------------------|------------|
| Transjakarta               | 962471            | 23,46      |
| Krl                        | 863513            | 21,05      |
| Mrt                        | 123293            | 3,01       |
| Lrt Jakarta                | 4363              | 0,11       |
| Lrt Jabodetabek            | 17515             | 0,43       |
| Railink                    | 5377              | 0,13       |
| Bus/Angkot Reguler         | 213849            | 5,21       |
| Ojek (Online)              | 1131227           | 27,58      |
| Taksi Bajaj                | 152176            | 3,71       |
| ASK (Angkutan Sewa Khusus) | 584640            | 14,25      |
| Kapal                      | 3701              | 0,09       |
| Bus Sekolah                | 40152             | 0,98       |

Berdasarkan data jumlah moda terintegrasi dan persentase penggunaan moda transportasi publik, wilayah-wilayah dengan lebih banyak stasiun besar dan moda transportasi publik yang dominan mungkin memiliki tingkat aksesibilitas yang lebih baik. Namun, perlu diperhatikan bahwa faktor-faktor seperti kemacetan lalu lintas dan ketersediaan infrastruktur juga dapat memengaruhi aksesibilitas di wilayah-wilayah tersebut. Meskipun analisis ini memberikan wawasan yang berguna tentang lalu lintas dan aksesibilitas di Jakarta, perlu diingat bahwa masih ada banyak faktor lain yang dapat memengaruhi mobilitas penduduk, seperti kondisi jalan, kepadatan penduduk, dan perubahan dalam kebijakan transportasi. Untuk pemahaman yang lebih mendalam, penelitian lanjutan dan analisis lebih lanjut mungkin diperlukan.

### c. Analisis Pejalan Kaki

Tujuan dibukannya transportasi sendiri yaitu memberikan akses untuk semua tanpa memandang sosial ekonomi maupun usia. Kemudahan aksesibilitas transportasi diukur berdasarkan waktu yang diperlukan untuk mencapai lokasi tujuan (Weiss et al., 2018). Setiap tahunnya perluasan perluasan lahan transportasi dilakukan, hal tersebut berdampak pada sosial dan spasial bagi predestarian, sehingga para pejalan cenderung untuk memilih kendaraan umum maupun pribadi (Yagi et al., 2012). Selain itu cuaca dan polusi di Jakarta juga menjadi salah satu faktor yang berdampak pada minat masyarakat terhadap jalan kaki ke tujuan lokasi. Faktor lain menurut (Ricardianto et al., n.d.-a) pejalan kaki berusia rentan sangat rawan akan kecelakaan dikarenakan struktur jalan yang kurang memadai. Pejalan kaki sendiri cenderung menunjukkan untuk memilih tata kelola jalan seperti jalur lurus,

pemilihan rute pendek, dan jalan yang tidak menanjak. Berbagai faktor yang telah disebutkan menjadikan warga ibukota menjadi salah satu masyarakat yang sedikit memiliki minat untuk berjalan kaki dibandingkan dengan ibu kota negara lain. Pada kenyataannya perjalanan kaki menjadi salah satu faktor berkurangnya polusi udara di ibukota. Indonesia sendiri menduduki peringkat terendah pada aktivitas berjalan kaki dengan rata-rata 3. 513 per hari. Berdasarkan fakta-fakta yang telah dirangkum menjadikan pemerintah untuk membangun kawasan perkotaan menjadi ramah pejalan kaki. Pembangunan perkotaan agar ramah pejalan kaki harus diatur oleh berbagai pihak yang berkepentingan, baik infrastruktur, tanaman perkotaan, dan standart perjalanan kaki baik bagi disabilitas maupun lanjut usia. Menurut (Pandapotan & Sumabrata, 2020) terdapat empat komponen dalam pembuatan pendestrian yaitu lebar trotoar, penghalang, konsistensi jalur pejalan kaki, dan keberlanjutan.

Pembangunan pendestrian secara masif telah dilakukan, salah satunya yaitu Transit Oriented Development (TOD). Pembangunan TOD sendiri bertujuan untuk mengatasi masalah transportasi perkotaan salah satunya yaitu kemacetan dengan mengabungkan lahan perkotaan dengan transportasi umum (Abdi & Lamíquiz-Daudén, 2022). Selain itu, Pembangunan TOD menarik minat masyarakat untuk menggunakan transportasi umum (Papa & Bertolini, 2015). Pemerintah juga melakukan pengembangan berkelanjutan dengan membangun konsep kota hijau yang melibatkan kolaborasi lintas antar sektor yang bertujuan untuk memberikan akses pejalan kaki aman dan merasa nyaman.

#### d. Analisis Keamanan Lalu Lintas

Kecelakaan lalu lintas di Jakarta meningkat rata-rata sebanyak tiga persen setiap tahunnya (Ricardianto et al., n.d.-b). Penyebab peningkatan kecelakaan lalu lintas diakibatkan manajemen lalu lintas yang tidak memenuhi standart. Tiga faktor penyebab kecelakaan lalu lintas yaitu kendaraan, manusia, dan lingkungan. Kecepatan pengemudi pada saat mengendarai kendaraan merupakan salah satu faktor terjadinya kecelakaan lalu lintas. Rekayasa lalu lintas telah dilakukan oleh pihak-pihak terkait termasuk pematasan pengurangan kecepatan lalu lintas. Berdasarkan Perundang-undangan Manajemen dan Rekayasa Lalu Lintas adalah proses perencanaan, pengadaan, pemasangan, pengaturan, dan pemeliharaan fasilitas perlengkapan jalan untuk mendukung kelancaran lalu lintas. Dasar hukum untuk Lalu Lintas dan Angkutan Jalan adalah Peraturan Pemerintah Nomor 37 Tahun 2017 yang merupakan satu sistem terpadu yang terdiri dari Lalu Lintas, Angkutan Jalan, Jaringan Lalu Lintas dan Angkutan Jalan, Prasarana Lalu Lintas dan Angkutan Jalan, Kendaraan, Pengemudi, Pengguna Jalan, dan manajemennya (Kecepatan et al., 2019). Secara aktual peningkatan keselamatan lalu lintas memerlukan data dan informasi yang akurat untuk analisisnya. Beberapa tahun ini berbagai pendekatan dilakukan untuk mendeteksi kejadian lalu lintas. Pendekatan secara real-time untuk mendeteksi kejadian lalu lintas pada data twitter dengan berbagai metode deep learning (Atikah Luthfi 1, n.d.). Pendekatan lain dilakukan dengan menggunakan metode Sistem Informasi Geografis (GIS) untuk memodelkan Sustainable Urban Transport (SUT) di wilayah Jakarta.

Kecelakaan lalu lintas mengakibatkan beberapa kebijakan dan rekayasa lalu lintas dilakukan. Selain itu, peningkatan urbanisasi dan mobilitas secara global menuntut untuk meningkatkan kebutuhan transportasi yang aman, efisien, dan bersih. Transportasi umum

menjadi salah satu trobosan untuk meminimalisir kecelakaan lalu lintas yang terjadi, namun kekhawatiran masyarakat dalam menggunakan transportasi umum masih terjadi. Kekhawatiran yang terjadi diantaranya adalah cedera infrastruktur yang diakibatkan tangga, eskalator, maupun lift yang tidak berfungsi bagi penumpang prioritas khususnya yaitu lansia maupun disabilitas. Kejahatan dan kekerasan seksual, mengkonsumsi alkohol dan penggunaan obat-obatan terlarang, pencurian, maupun anti perilaku sosial lain yang dapat mengganggu dan mengancam masyarakat dalam menggunakan transportasi umum. Keadaan tersebut yang mengurangi minat masyarakat dalam penggunaan transportasi umum. Bersama dengan peningkatan kualitas pada transportasi umum di ibu kota, keselamatan telah menjadi prioritas utama dalam perencanaan transportasi umum di ibukota.

Peningkatan kualitas transportasi umum di ibukota salah satunya yaitu dibuatnya jalur busway yang hanya dapat dilalui oleh pengguna transportasi busway. Pembuatan jalur busway ini memudahkan pengguna untuk lebih cepat mencapai tujuan. Pencegahan kekerasan dan kejahatan juga digalangkan pada transportasi umum seperti adanya security di setiap pemberhentian maupun didalam transportasi tersebut. Pemasangan poster kekerasan dan kejahatan juga dipasang di setiap sudut transportasi, serta dipasangnya kamera pengawasan berupa CCTV. Pemasangan metal detectors and X-ray equipment juga digunakan pada transportasi umum khusus MRT.

## KESIMPULAN

Berdasarkan beberapa topik yang telah dibahas pada book chapter ini maka berikut adalah tantangan dan potensi hambatan yang harus dihadapi.

1. **Kepadatan Lalu Lintas:** Peningkatan jumlah kendaraan bermotor di Jakarta dari tahun ke tahun telah menyebabkan kepadatan lalu lintas yang meningkat. Hal ini dapat menyebabkan kemacetan yang mengganggu mobilitas penduduk dan meningkatkan risiko kecelakaan. **Potensi Solusi:** Pemerintah perlu mempertimbangkan solusi seperti pengaturan lalu lintas yang lebih baik, investasi dalam transportasi publik yang lebih efisien, serta insentif untuk menggunakan transportasi berbasis non-mobil, seperti sepeda dan berjalan kaki.
2. **Faktor Manusia dalam Kecelakaan:** Fluktuasi jumlah kecelakaan di Jakarta selama beberapa tahun terakhir menunjukkan bahwa faktor manusia, seperti perilaku pengemudi yang kurang aman, dapat menjadi penyebab utama kecelakaan. **Potensi Solusi:** Pendidikan dan kesadaran publik tentang pentingnya keselamatan dalam berkendara dapat membantu mengurangi tingkat kecelakaan. Penegakan hukum yang ketat terhadap pelanggaran lalu lintas juga penting.
3. **Dominasi Moda Transportasi:** Meskipun ada berbagai opsi transportasi yang tersedia, banyak penduduk Jakarta lebih memilih menggunakan layanan ojek online daripada transportasi publik lainnya. Ini bisa menjadi hambatan untuk menciptakan sistem transportasi yang lebih terintegrasi. **Potensi Solusi:** Meningkatkan kualitas dan kenyamanan transportasi publik seperti KRL dan Transjakarta dapat membujuk lebih banyak orang untuk beralih dari penggunaan ojek online.
4. **Kecemasan Keamanan:** Kecemasan terhadap keamanan, termasuk risiko kejahatan, kekerasan, dan ketidaknyamanan, dapat menghalangi orang dari menggunakan transportasi umum. **Potensi Solusi:** Pemerintah perlu memprioritaskan keamanan dalam perencanaan dan operasi transportasi umum. Penambahan keamanan fisik dan personil,

serta penggunaan teknologi seperti CCTV, dapat meningkatkan rasa aman penumpang.

## REKOMENDASI KEBIJAKAN (*POLICY BRIEF*)

Berdasarkan beberapa topik yang telah dibahas pada book chapter ini, maka berikut adalah potensi solusi dan cara mengatasinya.

1. Integrasi Moda Transportasi: Melanjutkan upaya untuk mengintegrasikan berbagai opsi transportasi dan menyediakan koneksi yang mudah antar moda transportasi dapat membantu mengurangi kepadatan lalu lintas dan memperbaiki aksesibilitas.
2. Edukasi dan Kesadaran Publik: Melakukan kampanye edukasi dan meningkatkan kesadaran publik tentang pentingnya keselamatan berkendara dapat membantu mengurangi kecelakaan lalu lintas.
3. Peningkatan Kualitas Transportasi Publik: Investasi dalam meningkatkan kualitas dan kenyamanan transportasi publik, serta membuatnya lebih mudah diakses dan efisien, dapat membantu mengurangi ketergantungan pada kendaraan pribadi.
4. Penguatan Keamanan Transportasi Umum: Memasang sistem keamanan fisik dan teknologi di transportasi umum, serta meningkatkan kehadiran personel keamanan, dapat membantu meningkatkan rasa aman penumpang dan mendorong penggunaan transportasi publik.

## DAFTAR PUSTAKA

- Al-Shariff, S. M., Alam, M., Ahmad, Z., & Ahmad, F. (2019). *Smart transportation System: Mobility solution for Smart Cities*. *Smart Cities Symposium*. Bahrain: IET.
- Halegoua, G. R. (2020). *Smart Cities*. Cambridge: MIT Press.
- PUPR. (2015). *Laporan Akhir Kajian Pengembangan Smart city di Indonesia*. Jakarta: Direktorat Jenderal Penataan Ruang Kementerian Pekerjaan Umum .
- Sofa, A., Simorangkir, E., & Kahfi, M. R. (2023). *Setahun Jakarta Bercerita*. Jakarta: Jakarta Smart city.
- Talebkah, M., Sali, A., Gordan, M., Hashim, S. J., & Rokhani, F. Z. (2023). Comprehensive Review on Development of Smart Cities Using Industry 4.0 Technologies. *IEEE Access*, 91981-92030.
- Kirimat, A., Krejcar, O., Kertesz, A., & Tasgetiren, M. F. (2020). Future Trends and Current State of Smart city Concepts: A Survey. *IEEE Access*, 86448-86467.
- Sriratnasari, S. R., Wang, G., Kaburuan, E. R., & Jayadi, R. (2019). Integrated Smart transportation using IoT at DKI Jakarta. *International Conference on Information Management and Technology (ICIMTech)* (hal. 531-536). Jakarta/Bali: IEEE.
- Nugraha, Y. (2023). *Annual Report Jakarta Smart city 2023*. Jakarta: Jakarta Smart city.
- Iskandar, A. P., Setiawan, H., Judijanto, L., Mahendra, G. S., Ardi, M., Putri, N. A., . . . dkk. (2024). *Teknologi Big data: Pengantar dan Penerapan Teknologi Big data di Berbagai Bidang*. Daerah Istimewa Yogyakarta: PT. Green Pustaka Indonesia.
- Tamin, O. Z. (2007). Menuju terciptanya sistem transportasi berkelanjutan di kota-kota besar di indonesia. *Jurnal Transportasi*, 7.
- Liputan6. (2022, July 25). *14 Penyebab Kemacetan Lalu Lintas, Dampak Serta Solusi yang Perlu Diketahui*. Diambil kembali dari <https://www.liputan6.com/hot/read/5023197/14-penyebab-kemacetan-lalu-lintas-dampak-serta-solusi-yang-perlu-diketahui>

- Bank Dunia. (2019). *Kerugian Akibat Macet di Jabodetabek Capai Rp 100 Triliun per Tahun*. tempo.co. (2022, March 4). *Integrasi Jadi Kunci Perubahan Transportasi di Jakarta*. Diambil kembali dari <https://nasional.tempo.co/read/1566965/integrasi-jadi-kunci-perubahan-transportasi-di-jakarta>
- Dishub DKI Jakarta. (2023, July 28). *Mengenal Lebih Dekat Sistem JakLingko*. Diambil kembali dari <https://dishub.jakarta.go.id/2023/07/28/mengenal-lebih-dekat-sistem-jaklingko/>
- Hikmah, M., & Cahyoko, H. (2012). *Manajemen Transportasi di DKI Jakarta*.
- Lingkungan Hidup. (2019, October 4). *Konsep Park And Ride : Apa Saja Sih Keuntungannya ?* Diambil kembali dari <https://lingkungan.lovelybogor.com/konsep-park-and-ride-apa-saja-sih-keuntungannya/>
- Kangoa, R., Ihsan, & Amsal, A. Y. (2023). Implementasi Sistem Smart Parking Berbasis *Internet of things* Di Gedung Parkir . *JURNAL ILMU KOMPUTER*, 35-36.
- Synapsis.id. (2022). *Smart Parking: Pengertian, Cara Kerja, dan Pentingnya bagi Seluruh Elemen*. Diambil kembali dari <https://synapsis.id/smart-parking-solusi-iot-lebih-dari-sekadar-parkir-pintar.html>
- Susilo, B. H., & Imanuel, I. (2018). Analisis Lalu Lintas Penerapan Sistem Satu Arah di Kawasan Dukuh Atas, Jakarta. *Jurnal Teknik Sipil*, 14, 105-114.
- Nocola IOT Solution. (2024, February 1). *Smart Parking Berbasis IoT untuk Kemudahan Pengguna*. Diambil kembali dari <https://nocola.co.id/id/smart-parking-berbasis-iot-untuk-kemudahan-pengguna/>
- Tribun Jakarta. (2023, January 19). *9 Lokasi Park and Ride di Jakarta Beserta Tarifnya, Dekat Transportasi Publik*. Diambil kembali dari <https://jakarta.tribunnews.com/2023/01/19/9-lokasi-park-and-ride-di-jakarta-beserta-tarifnya-dekat-transportasi-publik>
- Suthanaya, P. A. (2010). Analisis karakteristik dan kebutuhan ruang parkir pada pusat perbelanjaan di Kabupaten Badung. *Jurnal Ilmiah Teknik Sipil*, 14.
- Abdinagoro, S. B., & Hamsal, M. (2016). E-payment in integrated public transport modes: Case study of public transports in Greater Jakarta. *2016 International Conference on Information Management and Technology (ICIMTech)*, 261–266. <https://doi.org/10.1109/ICIMTech.2016.7930341>
- Badan Pusat Statistik. (2019). *Indikator Kecelakaan Lalu Lintas di Jalan Tol Menurut Ruas Jalan* (p. 1). <https://jakarta.bps.go.id/indikator/17/301/1/indikator-kecelakaan-lalu-lintas-di-jalan-tol-menurut-ruas-jalan.html>
- Badan Pusat Statistik Provinsi DKI Jakarta. (2024). Penduduk, Laju Pertumbuhan Penduduk, Distribusi Persentase Penduduk Kepadatan Penduduk, Rasio Jenis Kelamin Penduduk Menurut Provinsi/Kabupaten/Kota 2019-2021. In *Badan Pusat Statistik Provinsi DKI Jakarta*. <https://jakarta.bps.go.id/indikator/12/124/1/3-1-1-penduduk-laju-pertumbuhan-penduduk-distribusi-persentase-penduduk-kepadatan-penduduk-rasio-jenis-kelamin-penduduk-menurut-provinsi-kabupaten-kota-kecamatan.html>
- BPS DKI Jakarta. (2022). Jumlah Kendaraan Bermotor Menurut Jenis Kendaraan (unit) di Provinsi DKI Jakarta. In *BPS DKI Jakarta*. <https://jakarta.bps.go.id/indikator/17/786/1/jumlah-kendaraan-bermotor-menurut-jenis-kendaraan-unit-di-provinsi-dki-jakarta.html>
- BPS Provinsi DKI Jakarta. (2023). Jumlah Penduduk Menurut Kabupaten/Kota di Provinsi DKI Jakarta. In <https://jakarta.bps.go.id/indikator/12/1270/1/jumlah-penduduk-menurut-kabupaten-kota-di-provinsi-dki-jakarta.html>
- Mavlutova, I., Atstaja, D., Grasis, J., Kuzmina, J., Uvarova, I., & Roga, D. (2023). Urban Transportation Concept and Sustainable Urban Mobility in Smart Cities: A Review. *Energies*, 16(8), 1–16. <https://doi.org/10.3390/en16083585>
- Nurhaliza, Si. (2024). *280 juta orang naik TransJakarta pada 2023*. Lintas Kota.



- Satu Data Jakarta. (2024a). *Jumlah Titik Integrasi Antar Moda*. [https://satudata.jakarta.go.id/open-data/detail?kategori=dataset&page\\_url=jumlah-titik-integrasi-antar-moda&data\\_no=1](https://satudata.jakarta.go.id/open-data/detail?kategori=dataset&page_url=jumlah-titik-integrasi-antar-moda&data_no=1)
- Satu Data Jakarta. (2024b). *Persentase Perjalanan Penduduk Menggunakan Transportasi Publik*. Persentase Perjalanan Penduduk Menggunakan Transportasi Publik.
- Steni Feni Ema Mubalus. (2023). Analisis Faktor-Faktor Penyebab Kecelakaan LaluLintas Di Kabupaten Sorong Dan Penanggulangannya. *Soscied*, 6(1), 182–197.
- Abdi, M. H., & Lamíquiz-Daudén, P. J. (2022). Transit-oriented development in developing countries: A qualitative meta-synthesis of its policy, planning and implementation challenges. *International Journal of Sustainable Transportation*, 16(3), 195–221. <https://doi.org/10.1080/15568318.2020.1858375>
- Atikah Luthfi 1, P. D. \* 2 , S. N. (n.d.). *B. DETEKSI KEJADIAN LALU LINTAS PADA TEKS TWITTER DENGAN*.
- Febriani, D., Mega Olivia, C., Aniisah Sholilah, S., & Hidajat, M. (2020). Analysis of Modal Shift to Support MRT-Based Urban Transportation in Jakarta. *Journal of Physics: Conference Series*, 1573(1). <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1573/1/012015>
- Goldblum, C., & Wong, T.-C. (2000). Growth, crisis and spatial change: a study of haphazard urbanisation in Jakarta, Indonesia. In *Land Use Policy* (Vol. 17).
- Hartawan, M. S., Putra, A. S., & Muktiono, A. (n.d.). *Smart city* Concept for Integrated Citizen Information Smart Card or ICISC in DKI Jakarta. In *International Journal Of Science*. <http://ijstm.inarah.co.id>
- Kecepetan, A., Di, M., Raya, J., Faktor, D., Yang, P., Pada, B., Ngebut, P., Jakarta, W., Sekitarnya, D., Kasus, S., Guritnaningsih, B. ), Siregar, M. L., & Septiawan, A. (2019). ANALYSIS OF DRIVING SPEED IN HIGHWAY AND PSYCHOLOGICAL FACTORS IN SPEEDING BEHAVIOR IN THE JAKARTA AREA AND ITS SURROUNDINGS (CASE STUDY: BEKASI MAIN STREET). In *Traffic Accident Research Centre Journal of Indonesia Road Safety* (Vol. 2, Issue 3).
- Pandapotan, S., & Sumabrata, R. J. (2020). Analysis of the pedestrian path toward Duren Kalibata train station as a part of the transit development area. *AIP Conference Proceedings*, 2227. <https://doi.org/10.1063/5.0004878>
- Papa, E., & Bertolini, L. (2015). Accessibility and Transit-Oriented Development in European metropolitan areas. *Journal of Transport Geography*, 47, 70–83. <https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2015.07.003>
- Ricardianto, P., Hidayat, S., Manik, P., Widiyanto, P., & Susanto, P. C. (n.d.-a). *International Journal of Research in Commerce and Management Studies GUIDELINES FOR MEASURING THE SUCCESS OF TRAFFIC SAFETY ACTION PLAN*. <https://ijrcms.com>
- Ricardianto, P., Hidayat, S., Manik, P., Widiyanto, P., & Susanto, P. C. (n.d.-b). *International Journal of Research in Commerce and Management Studies GUIDELINES FOR MEASURING THE SUCCESS OF TRAFFIC SAFETY ACTION PLAN*. <https://ijrcms.com>
- Syalianda, S. I., & Kusumastuti, R. D. (2021). Implementation of *smart city* concept: A case of Jakarta *Smart city*, Indonesia. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 716(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/716/1/012128>
- Syarif Muhmmad. (n.d.). *2019 International Conference of Artificial intelligence and Information Technology (ICAIIIT 2019) : 13-15 March 2019, Platinum Adisucipto Yogyakarta Hotel & Conference Center*.
- Syuhada, G., Akbar, A., Hardiawan, D., Pun, V., Darmawan, A., Heryati, S. H. A., Siregar, A. Y. M., Kusuma, R. R., Driejana, R., Ingole, V., Kass, D., & Mehta, S. (2023). Impacts of Air Pollution on Health and Cost of Illness in Jakarta, Indonesia. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 20(4). <https://doi.org/10.3390/ijerph20042916>
- Weiss, D. J., Nelson, A., Gibson, H. S., Temperley, W., Peedell, S., Lieber, A., Hancher, M., Poyart, E., Belchior, S., Fullman, N., Mappin, B., Dalrymple, U., Rozier, J., Lucas, T. C. D., Howes, R. E., Tusting, L. S., Kang, S. Y., Cameron, E., Bisanzio, D., ... Gething, P. W.

(2018). A global map of travel time to cities to assess inequalities in accessibility in 2015. *Nature*, 553(7688), 333–336. <https://doi.org/10.1038/nature25181>

Yagi, S., Nobel, D., & Kawaguchi, H. (2012). Time series comparison of models of auto and motorcycle ownership and mode choice in a changing transportation environment: Jakarta, Indonesia. *Transportation Research Record*, 2317, 40–50. <https://doi.org/10.3141/2317-06>

# Penerbit Gunadarma

## TRANSPORTASI AMAN: PENERAPAN INTEGRASI AI UNTUK KESELAMATAN PENUMPANG DI JAKARTA

Siska Amonalisa Silalahi<sup>1\*</sup>, Veronica<sup>2</sup>, dan Yulianti Keke<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Manajemen, Fakultas Manajemen dan Bisnis, Institut Transportasi dan Logistik Trisakti, Jakarta Timur, 13410, Indonesia

<sup>2</sup>Transportasi, Fakultas Sistem Transportasi dan Logistik, Institut Transportasi dan Logistik Trisakti, Jakarta Timur, 13410, Indonesia

<sup>3</sup>Manajemen, Fakultas Manajemen dan Bisnis, Institut Transportasi dan Logistik Trisakti, Jakarta Timur, 13410, Indonesia

\*Penulis Koresponden, e-mail: [siska.silalahi@gmail.com](mailto:siska.silalahi@gmail.com)

### ABSTRAK

Teknologi *Artificial Intelligence (AI)* berkembang pesat dan membuka peluang baru untuk meningkatkan keselamatan penumpang di masa depan. Integrasi AI di *Smart City* dapat merevolusi sistem transportasi dan menciptakan lingkungan yang lebih aman bagi semua pengguna. Risiko keamanan dan keselamatan penumpang transportasi di kota-kota besar khususnya pada jam-jam kritis membutuhkan solusi terbaik dan kerjasama beberapa pihak dan juga pemerintah. Risiko bukan hanya berupa kecelakaan lalu lintas namun juga kasus keamanan dan pelecehan seksual. Penggunaan inovasi teknologi seperti *emergency fitur/toggle* dalam *intelligent passenger mobile feature* yang handal dapat menjadi solusi bagi risiko keamanan dan keselamatan penumpang. Fitur keamanan penumpang bersifat preventif, responsif dan kuratif. Fitur keamanan penumpang dalam sebuah *mobile platform* memanfaatkan teknologi *Information Sharing*, *Global Positioning System (GPS)*, *Threat Detection*, *Anomaly Detection*, *Mobile Authentication*. Pada book chapter akan membahas mengenai pengenalan AI pada smart city, pemanfaatan AI pada peningkatan keselamatan penumpang, *framework* penerapan integrasi AI, contoh penerapan AI pada keselamatan penumpang, dan saran penerapannya AI *smart city* bagi semua pihak yang berperan.

Kata Kunci: AI, Keamanan, *Intelligence Smart System*

### PENDAHULUAN

Kecerdasan buatan mengacu pada kemampuan mesin atau komputer untuk meniru kecerdasan manusia. Sistem AI menggunakan algoritma yang dapat memungkinkan mesin untuk belajar dari data, mengidentifikasi pola, dan membuat keputusan dengan sedikit atau tanpa campur tangan manusia. Era digital yang terus berkembang telah membawa *Artificial Intelligence (AI)* ke garis depan inovasi teknologi, membuka peluang tak terbatas untuk meningkatkan kualitas hidup manusia. Salah satu bidang yang paling menjanjikan adalah penerapan AI pada transportasi dalam konsep *smart city*. Dalam lingkup transportasi, integrasi kecerdasan buatan dapat dilakukan dengan memasang alat sensor di kendaraan untuk dapat mengumpulkan data tentang kondisi jalan, cuaca, dan lalu lintas. Melalui analisis data yang canggih dan mempunyai, sistem AI dapat memitigasi kemungkinan terjadinya kecelakaan atau kemacetan lalu lintas. Tidak hanya itu, AI juga diharapkan dapat digunakan untuk

mengoptimalkan rute perjalanan, memantau kondisi pengemudi, serta mengendalikan kendaraan otonom (Solihati & Indriyani, 2021).

Penerapan kecerdasan buatan dalam pengembangan *smart city* dapat membawa perubahan paradigma dalam sistem transportasi perkotaan. Dengan memanfaatkan AI, *smart city* seperti Jakarta dapat meningkatkan keamanan penumpang melalui identifikasi pola dan perilaku berisiko dalam lalu lintas. Sistem canggih seperti AI dapat mendeteksi atau melakukan mitigasi potensi kecelakaan atau bahaya yang akan terjadi di jalan raya, dengan memberikan peringatan dini kepada pengemudi atau otoritas terkait. Selain itu, melalui integrasi AI dalam manajemen lalu lintas dapat membantu merencanakan rute perjalanan yang aman dan efisien, serta dapat mengoptimalkan pengaturan lampu lalu lintas untuk mengurangi kemacetan. Hal ini akan berdampak positif pada keberlanjutan lingkungan dan kenyamanan masyarakat sebagai pengguna transportasi umum maupun pribadi (Musa et al., 2019; Ozali & Saribanon, 2021).

Melalui penerapan AI pada *smart city* tidak hanya menjadikan transportasi lebih pintar dan efisien, tetapi juga dapat mengutamakan keamanan penumpang sebagai bagian integral dari pembangunan kota yang berkelanjutan. Penerapan integrasi kecerdasan buatan dalam transportasi Jakarta juga dapat memberikan manfaat dalam pemantauan dan pengelolaan kinerja moda transportasi umum. Melalui penggunaan teknologi AI, pihak pengelola transportasi dapat memantau kondisi mesin dan performa kendaraan secara *real-time*, sehingga pihak pengelola dapat melakukan perawatan preventif secara tepat waktu. Hal ini dapat memitigasi dan mengurangi risiko terjadinya kerusakan mendadak yang dapat membahayakan keselamatan penumpang.

Dengan keamanan penumpang yang menjadi fokus utama, integrasi AI pada transportasi Jakarta akan membawa dampak signifikan dalam menciptakan lingkungan transportasi yang aman, efisien, dan berkelanjutan. Hal tersebut melengkapi visi *Smart City* Jakarta dalam menciptakan kota yang mampu memberikan kesejahteraan bagi seluruh penduduk Jakarta.

## STATE OF THE ART

Integrasi AI dalam keselamatan penumpang pada sistem transportasi Jakarta merupakan masalah kompleks yang membutuhkan pendekatan dari berbagai aspek. Handayani (2021) mengutarakan pentingnya kolaborasi dan integrasi di antara berbagai moda transportasi umum, seperti TransJakarta, MRT Jakarta, LRT Jakarta, dan KRL CommuterLine. Hal tersebut dilakukan untuk meningkatkan kinerja sistem transportasi umum secara keseluruhan (Handayani et al., 2021). Selanjutnya Dharmawan (2022) mendukung pernyataan tersebut dengan menyoroti dampak positif dari integrasi layanan paratransit terhadap sejumlah penumpang Transjakarta (Dharmawan, 2022). Terakhir, Ramdhan (2021) menambahkan bagaimana dampak pandemi COVID-19 berpengaruh terhadap pengelolaan transportasi darat di Jakarta, yang mungkin saja berimplikasi pada integrasi AI untuk memastikan keselamatan penumpang dalam melakukan perjalanan (Ramdhan, 2021).

Jika kita melakukan pencarian penelitian terdahulu pada situs Scopus dengan menggunakan kata kunci "*artificial intelegence*", dan "*transportation*", dan "*smart city*" maka kita akan menemukan 580 dokumen yang membahas tentang topik ini. Penelitian mengenai AI pada transportasi ini sudah dimulai sejak tahun 2002, dimana Goto (2002) menjelaskan bagaimana





Dengan demikian dari penelitian-penelitian terdahulu tersebut didapatkan *state of the art* dengan pengembangan sistem transportasi yang mencakup beberapa aspek penting. Pertama, pengumpulan data yang menggambarkan kondisi riil dan relevan dengan berbagai kondisi lingkungan perkotaan serta jaringan transportasi yang kompleks yang menjadi fokus utama untuk menyelesaikan kekurangan yang teridentifikasi. Metode untuk memperluas cakupan data, penerapan teknik pembelajaran mesin yang adaptif, dan penyesuaian model secara *real-time* merupakan langkah penting. Kedua, pentingnya melindungi data pengguna dari ancaman eksternal yang ditunjukkan dengan penekanan pada pengembangan mekanisme keamanan yang kuat dan kebijakan privasi yang kuat. Penggunaan teknologi *blockchain*, penggunaan metode enkripsi yang kuat, dan penerapan kebijakan privasi yang jelas adalah semua kemajuan terbaru di sektor ini. Ketiga, langkah penting untuk meningkatkan ketangguhan infrastruktur teknologi adalah mengintegrasikan teknologi yang lebih tangguh dan mengembangkan sistem cadangan. Fokus pada pengembangan infrastruktur teknologi yang responsif dalam lingkungan transportasi perkotaan yang dinamis, bahkan saat ada gangguan atau kegagalan, menandai kemajuan teknologi otonom.

Tabel 1. Penelitian Terdahulu

| No | Judul                                                                                                                             | Penulis                                                                                              | Tahun | Jenis Dokumen    | Batasan Penelitian                                                                                                                                                          |
|----|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1  | Automation of Business Processes Using Robots in the Fields of Supply Chain Management, Intelligent Transportation, and Logistics | Kamal C.R.; Agnes G.; Jemima L.; Chandrakala M.                                                      | 2024  | Book chapter     |                                                                                          |
| 2  | Sustainable Smart Cities through Multi-Agent Reinforcement Learning-Based Cooperative Autonomous Vehicles                         | Louati A.; Louati H.; Kariri E.; Neifar W.; Hassan M.K.; Khairi M.H.H.; Farahat M.A.; El-Hoseny H.M. | 2024  | Article          |   |
| 3  | Ridesharing and Crowdsourcing for Smart Cities: Technologies, Paradigms and Use Cases                                             | Seng K.P.; Ang L.-M.; Ngharamike E.; Peter E.                                                        | 2023  | Article          |                                                                                        |
| 4  | Sustainable Urban Freight for Energy-Efficient Smart Cities—Systematic Literature Review                                          | Golinska-Dawson P.; Sethanan K.                                                                      | 2023  | Article          |                                                                                        |
| 5  | Intelligent Transportation Systems in Smart City: A Systematic Survey                                                             | Hassan M.A.; Javed R.; Farhatullah; Granelli F.; Gen X.; Rizwan M.; Ali S.H.; Junaid H.; Ullah S.    | 2023  | Conference paper |                                                                                        |
| 6  | A Novel Deep-Learning Model for Remote Driver Monitoring in SDN-Based Internet of Autonomous Vehicles Using 5G Technologies       | Saleh S.N.; Fathy C.                                                                                 | 2023  | Article          |   |
| 7  | A Novel Demand-Responsive Customized Bus Based on Improved Ant Colony Optimization and Clustering Algorithms                      | Shu W.; Li Y.                                                                                        | 2023  | Article          |                                                                                        |
| 8  | Big data analytics in smart cities' transportation infrastructure modernization                                                   | Ushakov D.; Dudukalov E.; Mironenko E.; Shatila K.                                                   | 2022  | Conference paper |                                                                                        |



| No | Judul                                                                                                                          | Penulis                                                                                          | Tahun | Jenis Dokumen     | Batasan Penelitian                                                                                                                                                          |
|----|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|-------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 9  | A New Vehicle Tracking System with R-CNN and Random Forest Classifier for Disaster Management Platform to Improve Performance  | Vinoth Kumar T.; Yeruva A.R.; Kumar S.; Gangodkar D.; Rao A.L.N.; Chaturvedi P.                  | 2022  | Conference paper  |       |
| 10 | 3rd International Conference on Smart IoT Systems: Innovations and Computing, SSIC 2021                                        |                                                                                                  | 2022  | Conference review |                                                                                                                                                                             |
| 11 | Smart mobility: Exploring foundational technologies and wider impacts                                                          | Khamis A.                                                                                        | 2021  | Book              |                                                                                          |
| 12 | Artificial intelligence and machine learning approaches for smart transportation in smart cities using blockchain architecture | Sundaresan S.; Kumar K.S.; Nishanth R.; Robinson Y.H.; Kumar A.J.                                | 2021  | Book chapter      |                                                                                          |
| 13 | MobiSamadhaan—Intelligent Vision-Based Smart City Solution                                                                     | Chakraborty M.; Pramanick A.; Dhavale S.V.                                                       | 2021  | Conference paper  |                                                                                          |
| 14 | Hybrid Sensor-based Traffic Monitoring and Managing Urban Areas in Hyderabad City                                              | John Moses C.; Prasad K.M.V.V.                                                                   | 2020  | Conference paper  |       |
| 15 | Camera-driven probabilistic algorithm for multi-elevator systems                                                               | Bapin Y.; Alimanov K.; Zarikas V.                                                                | 2020  | Article           |     |
| 16 | Mobility prediction-based optimisation and encryption of passenger traffic-flows using machine learning                        | Asad S.M.; Ahmad J.; Hussain S.; Zoha A.; Abbasi Q.H.; Imran M.A.                                | 2020  | Article           |   |
| 17 | A Novel Simulated-Annealing Based Electric Bus System Design, Simulation, and Analysis for Dehradun Smart City                 | Kumar A.; Srikanth P.; Nayyar A.; Sharma G.; Krishnamurthi R.; Alazab M.                         | 2020  | Article           |   |
| 18 | Mobility Management-Based Autonomous Energy-Aware Framework Using Machine Learning Approach in Dense Mobile Networks           | Asad S.M.; Ansari S.; Ozturk M.; Rais R.N.B.; Dashtipour K.; Hussain S.; Abbasi Q.H.; Imran M.A. | 2020  | Article           |                                                                                        |
| 19 | External manipulation of autonomous vehicles                                                                                   | Kiss G.                                                                                          | 2019  | Conference paper  |                                                                                        |
| 20 | An optimal profit route planning scheme based on ACO-OPP                                                                       | Qiu Y.; Xu X.; Xia F.                                                                            | 2019  | Conference paper  |                                                                                        |
| 21 | Emulating Smart City Sensors Using Soft Sensing and Machine Intelligence: A Case Study in Public Transportation                | Kaptan C.; Kantarci B.; Soyata T.; Boukerche A.                                                  | 2018  | Conference paper  |                                                                                        |
| 22 | Decision-making intelligent system for passenger of urban transports                                                           | Wences P.; Martinez A.; Estrada H.; Gonzalez M.                                                  | 2017  | Conference paper  |                                                                                        |
| 23 | Proposal of improvements based on new technologies for the satisfaction of passengers on board passenger ship                  | Vázquez T.V.; Sendra A.L.; González-Abril L.                                                     | 2016  | Conference paper  |                                                                                        |
| 24 | Formal model for intelligent route planning                                                                                    | Spichkova M.; Simic M.; Schmidt H.                                                               | 2015  | Conference paper  |                                                                                        |
| 25 | Study on mobile passenger support systems for public                                                                           | Goto K.; Kambayashi Y.                                                                           | 2002  | Conference paper  |                                                                                        |

| No | Judul                                                 | Penulis | Tahun | Jenis Dokumen | Batasan Penelitian |
|----|-------------------------------------------------------|---------|-------|---------------|--------------------|
|    | transportation using multi-channel data dissemination |         |       |               |                    |

Keterangan :

-  Keterbatasan alat/ perangkat
-  Belum menggambarkan keseluruhan data/kondisi yang sebenarnya
-  Keamanan data

Diharapkan penelitian selanjutnya dapat fokus pada pengembangan teknik pengumpulan data yang lebih relevan dan representatif, peningkatan keamanan data, dan ketangguhan infrastruktur teknologi. Sehingga, penelitian ini akan memberikan informasi terkini tentang pengembangan integrasi sistem transportasi penumpang yang mengoptimalkan keuntungan transportasi dan memitigasi risiko-risiko ketika penumpang melakukan perjalanan.

## PEMBAHASAN

### Konsep *Artificial Intelligence* (AI) dalam transportasi di DKI Jakarta

Penggunaan *Artificial Intelligence* (AI) dalam transportasi di DKI Jakarta merujuk pada upaya kota dalam mengatasi berbagai tantangan urban melalui adopsi teknologi canggih. Jakarta, sebagai ibu kota dan pusat ekonomi Indonesia, menghadapi beberapa masalah kompleks terkait transportasi yang mencakup kepadatan lalu lintas, tingkat kecelakaan yang tinggi, dan masalah keamanan yang serius dalam sistem transportasi umumnya. DKI Jakarta adalah salah satu kota dengan laju urbanisasi yang paling cepat di Asia Tenggara (Nabal & Djaja, 2022). Kepadatan penduduk yang tinggi berdampak pada kepadatan lalu lintas yang parah, menyebabkan masalah logistik dan pengelolaan transportasi yang efisien menjadi sangat kritis. Pemerintah DKI Jakarta melakukan pengembangan *Smart City*, sebagai respons terhadap tantangan urban, Pemerintah DKI Jakarta telah meluncurkan berbagai inisiatif untuk mengubah Jakarta menjadi *smart city* (Kurnia & Djunaedi, 2020). Salah satu pilar utama dari visi *smart city* ini adalah pemanfaatan AI dalam berbagai aspek, termasuk transportasi, untuk meningkatkan keamanan dan efisiensi operasional. Isu keamanan dalam transportasi umum, termasuk tindakan kriminal dan pelecehan seksual, menjadi fokus utama. Penggunaan teknologi AI dalam sistem pengawasan dan respons keamanan ditujukan untuk meningkatkan keamanan bagi semua penumpang. Adanya tantangan dalam manajemen lalu lintas, kemacetan lalu lintas yang kronis menghambat mobilitas dan aktivitas ekonomi, sehingga AI digunakan untuk mengoptimalkan manajemen lalu lintas melalui sistem yang lebih terintegrasi dan otomatis, seperti sistem lampu lalu lintas yang cerdas dan analisis data lalu lintas *real-time* (Nigam et al., 2023). Pemerintah Jakarta bekerja sama dengan berbagai perusahaan teknologi nasional dan internasional melakukan inovasi dan kolaborasi teknologi untuk mengembangkan dan mengimplementasikan solusi berbasis AI. Ini mencakup kerjasama dalam pengembangan aplikasi mobile untuk penumpang yang mencakup fitur-fitur seperti *tracking bus*, *emergency button* atau *toogle*, dan layanan informasi lalu lintas.

Berikut adalah beberapa istilah-istilah penting dalam penggunaan *Artificial Intelligence* (AI) antara lain *Information Sharing* yaitu pertukaran informasi yang relevan antara berbagai entitas, termasuk pemerintah, penyedia layanan transportasi, dan penumpang untuk meningkatkan keselamatan dan efisiensi operasional. *Global Positioning System* (GPS) yaitu teknologi yang menggunakan satelit untuk menyediakan informasi lokasi dan waktu secara akurat di seluruh

dunia, yang sangat penting dalam manajemen transportasi untuk pemantauan dan perencanaan rute (Artono et al., 2020). *Threat Detection* adalah penggunaan teknologi, khususnya AI, untuk mengidentifikasi ancaman keamanan secara *real-time* dalam sistem transportasi, seperti perilaku mencurigakan atau objek berbahaya, selanjutnya *Anomaly Detection* yaitu teknik dalam data mining yang mengidentifikasi item, peristiwa, atau pengamatan yang tidak sesuai dengan pola umum atau yang diharapkan dalam *dataset* (Younas, 2020). Dalam transportasi, teknik ini bisa digunakan untuk mendeteksi aktivitas yang tidak biasa yang bisa mengindikasikan kecelakaan atau kejahatan dan *mobile authentication* dimana proses verifikasi identitas pengguna melalui perangkat mobile, sering kali menggunakan teknologi keamanan seperti biometrik atau verifikasi dua faktor untuk mengakses aplikasi atau sistem.

### Pengenalan AI pada Smart City Jakarta

*Artificial Intelligence*, atau kecerdasan buatan, mengacu pada simulasi kecerdasan manusia dalam mesin yang dirancang untuk belajar dan menyelesaikan masalah. Komponen utama dari AI yang dapat dimanfaatkan dalam smart city mencakup pembelajaran mesin (*machine learning*), pengolahan bahasa alami (*natural language processing*), dan analisis data prediktif. Dalam skala global, kota-kota seperti Singapura dan Amsterdam telah sukses mengimplementasikan AI dalam sistem transportasi mereka, yang meliputi pengelolaan lalu lintas, pemeliharaan infrastruktur, dan keamanan publik. Penerapan AI dalam manajemen *smart city* dapat meningkatkan efisiensi operasional dan keamanan publik secara signifikan (Izzuddin, 2022). Di Jakarta, AI mulai diterapkan dalam beberapa aspek seperti sistem manajemen lalu lintas cerdas yang menggunakan data dari kamera dan sensor untuk mengatur aliran kendaraan dan mengurangi kemacetan. Sebuah laporan oleh Jakarta *Smart City Office* (2022) menggambarkan bahwa sistem ini telah mengurangi waktu perjalanan di beberapa rute utama sebesar 20% (Fitriani et al., 2023). Jakarta menghadapi tantangan besar seperti kepadatan lalu lintas yang ekstrem, tingkat kecelakaan yang tinggi, dan masalah keamanan di transportasi umum, termasuk kejahatan dan pelecehan seksual. Selain itu, sistem deteksi anomali menggunakan AI dapat mengidentifikasi perilaku tidak biasa atau berbahaya di antara penumpang dan operator transportasi. Abduljabbar dkk (2019) menunjukkan bahwa fitur responsif dan kuratif berbasis AI ini dapat mengurangi insiden keamanan di transportasi publik sebesar 40% (Abduljabbar et al., 2019).

Integrasi AI dalam sistem transportasi Jakarta membutuhkan kerjasama erat antara pemerintah kota, pengembang teknologi, dan masyarakat. Langkah pertama adalah pengembangan infrastruktur data yang kuat untuk mendukung aplikasi AI, diikuti dengan pilot proyek di beberapa area terpilih untuk menilai efektivitas solusi AI. Kerjasama ini termasuk kemitraan dengan universitas untuk penelitian dan pengembangan, serta dengan perusahaan teknologi untuk implementasi solusi. Pemerintah daerah perlu menyediakan regulasi yang mendukung inovasi sambil memastikan keamanan dan privasi data. Sebagaimana dijelaskan Ramdani dan Resnawaty (2021), kolaborasi multipihak ini adalah kunci untuk mengintegrasikan solusi AI yang sukses dalam skala kota (Ramdani & Resnawaty, 2021).

Berikut adalah contoh penerapan AI pada keselamatan penumpang, salah satu aplikasi yang telah diuji adalah sistem penilaian keamanan berbasis AI untuk taksi dan ojek online, yang menganalisis data perjalanan dan umpan balik penumpang untuk mengidentifikasi dan mengatasi potensi risiko keamanan. Data awal menunjukkan penurunan signifikan dalam laporan insiden keamanan di platform yang menggunakan fitur AI ini, menandakan pentingnya teknologi ini dalam meningkatkan keselamatan transportasi publik. Younas (2021) menjelaskan

bahwa teknologi ini tidak hanya menangani masalah yang ada tetapi juga mencegah terjadinya insiden baru (Younas, 2020), maka diperlukan beberapa strategi dan kebijakan dalam Penerapan AI untuk Keselamatan *Smart City* di Jakarta, yaitu Strategi yang diperlukan termasuk pengembangan lebih lanjut pada kebijakan privasi data, peningkatan infrastruktur TI, dan program edukasi publik tentang manfaat dan penggunaan teknologi AI dalam kehidupan sehari-hari dan saran untuk meningkatkan kerjasama antar sektor. Saran ini mencakup pembentukan konsorsium AI yang melibatkan stakeholder dari sektor pemerintah, swasta, akademis, dan masyarakat sipil untuk mempercepat adopsi teknologi AI dan memastikan keberlanjutannya.

Beberapa fitur keamanan penumpang pada *Intelligent Passenger Mobile Feature* yaitu fitur *\*emergency toggle\** memberikan pengguna kemampuan untuk segera menghubungi bantuan darurat dengan satu klik atau perintah suara. Implementasi ini memungkinkan respons cepat dalam situasi kritis, mengurangi waktu tunda yang bisa berakibat fatal. Menurut Mardi Safitri (2020), fitur serupa telah berhasil mengurangi kejadian kekerasan di transportasi umum di beberapa kota besar dengan memberikan respon yang hampir instan ke pusat pengawasan (Mardi Safitri et al., 2020). Fitur Preventif yaitu Information Sharing dan GPS, yaitu teknologi *\*Information Sharing\** dan *\*GPS\** memainkan peran kunci dalam pencegahan insiden. Dengan membagikan informasi lokasi *real-time* kepada pusat keamanan dan penumpang lain, sistem membantu dalam merencanakan rute yang lebih aman dan menghindari area berisiko. Nikitas dkk (2020) menyatakan bahwa pemanfaatan data lokasi dapat secara signifikan mengurangi risiko kecelakaan dan kejahatan dengan mengidentifikasi pola yang berpotensi berbahaya (Nikitas et al., 2020). Fitur Responsif yaitu *Threat Detection* dan *Anomaly Detection*, memanfaatkan algoritma canggih untuk memonitor perilaku yang tidak biasa atau berpotensi mengancam di dalam kendaraan atau di stasiun. Algoritma ini dapat mendeteksi perubahan perilaku mendadak dan mengirimkan peringatan sebelum keadaan eskalasi. Fitur Kuratif: *Mobile Authentication* bertujuan untuk mengamankan akses ke fitur aplikasi, memastikan bahwa hanya pengguna terverifikasi yang dapat mengaktifkan fitur darurat dan mengakses informasi pribadi. Teknik autentikasi seperti pengenalan biometrik atau pengenalan wajah memberikan lapisan keamanan tambahan untuk mempertahankan integritas dan kepercayaan dalam solusi berbasis teknologi.

### Keselamatan dan Keamanan Melalui AI

Integrasi AI dalam smart city menawarkan solusi yang menjanjikan. Melalui pemanfaatan teknologi canggih seperti *Information Sharing*, *Global Positioning System (GPS)*, *Threat Detection*, *Anomaly Detection*, dan *Mobile Authentication*, fitur keamanan penumpang yang cerdas dan responsif dapat diwujudkan. Fitur ini tidak hanya bersifat preventif, tetapi juga responsif dan kuratif, memberikan perlindungan menyeluruh bagi penumpang.

Bayangkan sebuah aplikasi mobile yang dilengkapi dengan *"emergency toggle"* atau tombol darurat. Ketika penumpang merasa terancam atau menghadapi situasi berbahaya, mereka dapat dengan cepat mengaktifkan tombol ini. AI akan segera merespons dengan mengirimkan peringatan otomatis ke pihak berwenang, kontak darurat, atau bahkan penumpang lain yang berada di dekat lokasi kejadian. Lokasi penumpang dapat dilacak secara *real-time* melalui GPS, memungkinkan bantuan cepat dan tepat sasaran.

Lebih dari sekadar tombol darurat, AI juga dapat berperan dalam mendeteksi ancaman potensial sebelum terjadi. Melalui analisis data dari berbagai sumber, seperti rekaman kamera pengawas, pola perilaku pengemudi, dan laporan penumpang, AI dapat mengidentifikasi

anomali yang mencurigakan. Misalnya, perubahan rute yang tidak wajar, perilaku mengemudi yang agresif, atau peningkatan tingkat kebisingan di dalam kendaraan dapat menjadi indikator potensi bahaya. Dengan demikian, AI dapat memberikan peringatan dini kepada penumpang dan pihak berwenang, mencegah terjadinya insiden yang tidak diinginkan.

Penerapan AI dalam *smart city* tidak hanya terbatas pada fitur keamanan penumpang. Teknologi ini juga dapat digunakan untuk mengoptimalkan rute transportasi, mengurangi kemacetan, dan meningkatkan efisiensi operasional. Dengan demikian, perjalanan menjadi lebih lancar, nyaman, dan aman bagi semua pengguna.

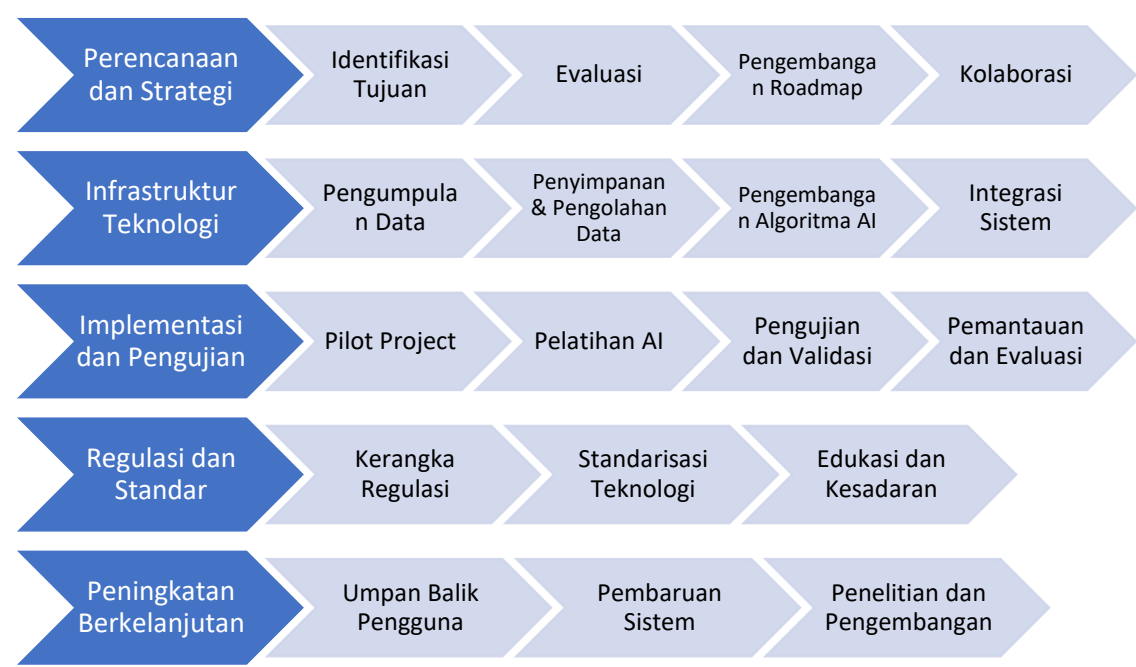
Namun, penerapan AI juga memerlukan kerjasama dari berbagai pihak, termasuk pemerintah, penyedia layanan transportasi, pengembang teknologi, dan masyarakat. Pemerintah perlu menciptakan kerangka regulasi yang mendukung inovasi dan melindungi privasi penumpang. Penyedia layanan transportasi harus berinvestasi dalam teknologi AI dan memastikan bahwa fitur keamanan mudah diakses dan digunakan oleh semua penumpang. Sementara itu, masyarakat perlu aktif melaporkan insiden dan memberikan umpan balik untuk meningkatkan efektivitas fitur keamanan.

1. **Deteksi Anomali (*Anomaly Detection*):** Ini adalah konsep inti di balik fitur *toggle* keselamatan. AI akan dilatih untuk mengenali pola normal dalam perjalanan, seperti kecepatan, rute, dan perilaku pengemudi. Ketika ada penyimpangan dari pola ini (misalnya, perubahan rute mendadak, akselerasi tiba-tiba, atau suara teriakan), AI akan menandainya sebagai anomali potensial.
2. **Pemrosesan Sinyal Audio (*Audio Signal Processing*):** AI dapat menganalisis suara di dalam kendaraan untuk mendeteksi tanda-tanda bahaya, seperti suara pecahan kaca, teriakan minta tolong, atau pertengkaran.
3. **Analisis Sentimen (*Sentiment Analysis*):** AI dapat menganalisis teks dari pesan yang dikirim oleh penumpang melalui aplikasi (misalnya, "Tolong saya!") untuk mengidentifikasi sentimen negatif atau tanda-tanda bahaya.
4. **Sistem Rekomendasi (*Recommender Systems*):** Setelah mendeteksi anomali atau ancaman potensial, AI dapat memberikan rekomendasi tindakan kepada penumpang, seperti menghubungi layanan darurat, berbagi lokasi dengan kontak terpercaya, atau merekam audio/video sebagai bukti.

#### Istilah Kunci

- **Toggle Keselamatan (*Safety Toggle*):** Tombol atau fitur dalam aplikasi yang dapat diaktifkan oleh penumpang ketika merasa tidak aman.
- **Pelacakan Lokasi Real-Time (*Real-Time Location Tracking*):** Fitur yang memungkinkan aplikasi untuk melacak lokasi kendaraan secara terus-menerus dan membagikannya dengan pihak berwenang atau kontak terpercaya jika diperlukan.
- **Peringatan Otomatis (*Automated Alerts*):** Notifikasi yang dikirim secara otomatis ke layanan darurat atau kontak terpercaya ketika AI mendeteksi anomali atau ancaman.

Kerangka kerja penerapan integrasi AI dibutuhkan dalam mewujudkan transportasi yang lebih aman dan nyaman bagi semua.



Gambar 2. Framework Penerapan Integrasi AI untuk Meningkatkan Keselamatan Penumpang Transportasi

Penerapan AI pada Fitur Keselamatan

Tabel 2. Penerapan AI pada Fitur Keselamatan

| Area Penerapan AI          | Teknologi AI                                         |  | Fitur dan Fungsi                                                                                                                                                                           |
|----------------------------|------------------------------------------------------|--|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Deteksi Anomali            | Machine Learning, Deep Learning                      |  | Mendeteksi perilaku mengemudi yang tidak aman (kecepatan berlebihan, pengereman mendadak, perubahan jalur tiba-tiba). Mengidentifikasi pola perjalanan yang tidak biasa atau mencurigakan. |
| Pemrosesan Sinyal Audio    | Natural Language Processing, Audio Signal Processing |  | Menganalisis suara di dalam kendaraan untuk mendeteksi teriakan, pertengkaran, atau tanda-tanda bahaya lainnya.                                                                            |
| Analisis Sentimen          | Natural Language Processing                          |  | Menganalisis pesan teks dari penumpang dan pengemudi untuk mengidentifikasi sentimen negatif atau tanda-tanda bahaya.                                                                      |
| Sistem Rekomendasi         | Machine Learning                                     |  | Memberikan rekomendasi tindakan kepada penumpang dan pengemudi berdasarkan analisis data dan situasi.                                                                                      |
| Pelacakan Lokasi Real-Time | GPS, Machine Learning                                |  | Melacak lokasi kendaraan secara terus-menerus untuk memantau perjalanan dan memberikan informasi kepada penumpang dan pihak berwenang.                                                     |



| Area Penerapan AI   | Teknologi AI                         | Fitur dan Fungsi                                                                                                                                       |
|---------------------|--------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Peringatan Otomatis | Machine Learning, Rule-Based Systems | Mengirimkan peringatan otomatis ke layanan darurat, pusat kendali, atau kontak tepercaya ketika AI mendeteksi ancaman atau anomali.                    |
| Pemantauan Video    | Computer Vision, Deep Learning       | Menganalisis rekaman video dari kamera pengawas di halte, stasiun, dan di dalam kendaraan untuk mendeteksi aktivitas yang mencurigakan atau kekerasan. |

Studi Kasus

Contoh 1: Aplikasi *Ride-Hailing* "SafeRide"

SafeRide, sebuah aplikasi *ride-hailing* populer, telah mengintegrasikan fitur "SafeRide Shield" yang didukung AI. Fitur ini mencakup:

- **Toggle Keselamatan:** Penumpang mengaktifkan tombol ini jika merasa tidak aman.
- **Deteksi Anomali:** AI memantau perjalanan secara *real-time*, mendeteksi perubahan rute mendadak, akselerasi yang tidak biasa, atau pengereman mendadak.
- **Pemrosesan Audio:** Mikrofon di dalam kendaraan merekam audio dan AI menganalisisnya untuk mendeteksi suara teriakan, pertengkaran, atau tanda-tanda bahaya lainnya.
- **Analisis Sentimen:** Pesan teks yang dikirim oleh penumpang melalui aplikasi dianalisis untuk mengidentifikasi sentimen negatif.
- **Peringatan Otomatis:** Jika terdeteksi anomali, peringatan otomatis dikirim ke pusat keamanan SafeRide, kontak darurat penumpang, dan pengemudi lain di sekitar area.
- **Pelacakan Lokasi Real-Time:** Lokasi kendaraan dibagikan dengan pusat keamanan dan kontak darurat.

**Studi Kasus:** Penumpang wanita merasa tidak nyaman dengan perilaku pengemudi. Ia mengaktifkan "SafeRide Shield." AI mendeteksi perubahan rute yang tidak sesuai dengan tujuan dan suara penumpang yang cemas. Peringatan otomatis dikirim, dan pengemudi lain dapat datang untuk membantu. Polisi juga dihubungi, dan pengemudi tersebut ditangkap.

Contoh 2: Aplikasi Transportasi Umum "CitySafe"

CitySafe, aplikasi resmi untuk transportasi umum di sebuah kota besar, telah meluncurkan fitur "Guardian Angel." Fitur ini mencakup:

- **Tombol Panik:** Tersedia di setiap halte bus dan stasiun kereta, terhubung langsung ke pusat komando keamanan.
- **Deteksi Keramaian:** AI menganalisis data dari kamera pengawas untuk mendeteksi keramaian yang tidak biasa atau perilaku mencurigakan di halte dan stasiun.
- **Pemantauan Video:** Kamera di dalam bus dan kereta merekam video, yang dianalisis oleh AI untuk mendeteksi aktivitas yang tidak biasa atau kekerasan.
- **Sistem Pelaporan:** Penumpang dapat melaporkan insiden melalui aplikasi, termasuk

pelecehan atau ancaman. Laporan ini dianalisis oleh AI untuk mengidentifikasi tren dan area berisiko tinggi.

**Studi Kasus:** Seorang penumpang wanita merasa dilecehkan oleh penumpang lain di dalam bus. Ia menekan tombol panik di halte berikutnya. Petugas keamanan segera tiba dan mengamankan pelaku. Rekaman video dari bus digunakan sebagai bukti dalam penyelidikan.

### Contoh 3: Taksi "SmartCab" dengan AI

SmartCab, sebuah perusahaan taksi, telah melengkapi armadanya dengan teknologi AI yang canggih. Fitur-fitur ini mencakup:

- **Pemantauan Pengemudi:** AI memantau perilaku pengemudi, seperti kecepatan, pengereman, dan penggunaan ponsel saat mengemudi.
- **Deteksi Kelelahan:** AI menganalisis ekspresi wajah pengemudi dan pola mengemudi untuk mendeteksi tanda-tanda kelelahan.
- **Peringatan Keselamatan:** Jika terdeteksi perilaku mengemudi yang tidak aman atau tanda-tanda kelelahan, peringatan dikirim ke pengemudi dan pusat kendali *SmartCab*.
- **Perekaman Perjalanan:** Perjalanan direkam untuk tujuan keamanan dan pelatihan pengemudi.

**Studi Kasus:** Seorang pengemudi taksi SmartCab mulai menunjukkan tanda-tanda kelelahan setelah mengemudi selama beberapa jam. AI mendeteksi hal ini dan mengirimkan peringatan. Pengemudi diarahkan untuk beristirahat di tempat yang aman, dan taksi lain dikirim untuk menjemput penumpang.

Contoh-contoh ini menunjukkan bagaimana AI dapat diimplementasikan secara efektif untuk meningkatkan keselamatan penumpang dalam transportasi umum dan taksi. Dengan terus mengembangkan dan menyempurnakan teknologi ini, kita dapat menciptakan lingkungan transportasi yang lebih aman dan nyaman bagi semua orang.

### Tantangan dan Potensi Hambatan Implementasi Artificial Intelligence (AI)

Dalam konteks implementasi Artificial Intelligence (AI) untuk meningkatkan keselamatan penumpang dalam sistem transportasi di DKI Jakarta, berbagai tantangan dan potensi hambatan dapat mempengaruhi keberhasilan dan efektivitas dari inisiatif ini. Terdapat beberapa tantangan utama seperti Privasi dan Keamanan Data, dimana penggunaan AI dalam transportasi seringkali membutuhkan pengumpulan dan analisis data pribadi yang besar, yang menimbulkan kekhawatiran tentang privasi dan keamanan data. Saran cara mengatasinya adalah Pemerintah DKI Jakarta perlu memastikan bahwa semua sistem AI mematuhi peraturan perlindungan data yang ketat. Implementasi kebijakan seperti *General Data Protection Regulation (GDPR)* dapat diadaptasi untuk konteks lokal. Tantangan kedua adalah integrasi dengan infrastruktur yang ada, dimana integrasi teknologi AI dengan sistem transportasi yang sudah ada sering kali kompleks dan memerlukan investasi besar, sehingga dapat dilakukan adopsi pendekatan bertahap dan pilot proyek untuk menguji solusi AI dalam skala kecil sebelum implementasi penuh, memastikan kompatibilitas dan mengurangi risiko. Selanjutnya, penerimaan publik dan keterlibatan, dimana skeptisisme dan resistensi dari publik terhadap teknologi baru, terutama yang berhubungan dengan AI yang mungkin

dianggap mengintimidasi atau terlalu kompleks, maka pendidikan dan sosialisasi dalam bentuk kampanye informasi untuk meningkatkan kesadaran dan pemahaman publik tentang manfaat keamanan dan efisiensi yang ditawarkan oleh AI diharapkan dapat menjadi solusi dalam mengatasi hambatan ini. Tantangan berikutnya adalah dependensi pada teknologi yaitu ketergantungan yang berlebihan pada teknologi AI dapat mengarah pada kerentanan ketika terjadi kegagalan sistem, sehingga menerapkan protokol redundansi dan kegagalan yang kuat untuk memastikan bahwa sistem dapat terus beroperasi bahkan jika ada komponen AI yang mengalami masalah diharapkan dapat mengatasi tantangan ini. Keterbatasan AI dalam konteks nyata, dimana AI, sementara itu canggih, masih memiliki keterbatasan dalam pemrosesan konteks sosial dan nuansa manusia yang kompleks, maka diharapkan dengan mengintegrasikan AI dengan input manusia yang strategis untuk menangani situasi yang membutuhkan penilaian manusia dan adaptasi dapat mengatasi masalah ini.

## KESIMPULAN

- **Rangkuman**

1. Tantangan yang dihadapi oleh kota besar seperti Jakarta, termasuk kepadatan lalu lintas, kecelakaan, dan masalah keamanan di transportasi umum. Pengenalan AI dalam Smart City, didefinisikan dan dijelaskan bagaimana teknologi ini diintegrasikan dalam konsep smart city secara global.
2. Pemanfaatan AI untuk keselamatan penumpang dapat meningkatkan keselamatan penumpang melalui teknologi seperti GPS, Information Sharing, Threat Detection, Anomaly Detection, dan Mobile Authentication. Teknologi-teknologi ini memungkinkan deteksi ancaman secara real-time dan respons yang cepat terhadap insiden keamanan. Strategi dan langkah-langkah yang diperlukan untuk mengintegrasikan AI dalam sistem transportasi Jakarta, termasuk kolaborasi antara pemerintah, pengembang teknologi, dan masyarakat.
3. Contoh Penerapan AI, studi kasus dan contoh nyata aplikasi AI dalam meningkatkan keselamatan transportasi di DKI Jakarta, termasuk penggunaan aplikasi mobile yang memiliki fitur emergency toggle untuk respons cepat dalam situasi darurat.
4. Saran dan rekomendasi untuk Pemerintah Provinsi DKI Jakarta tentang cara melanjutkan dan memperluas penggunaan AI untuk meningkatkan keselamatan penumpang dan saran untuk melakukan pengembangan infrastruktur data, kerjasama dengan teknologi pengembang, dan pelatihan publik, sehingga penting sekali integrasi AI dalam transportasi Jakarta dan visi masa depan untuk transportasi yang lebih aman dan lebih efisien.

- **Poin-poin penting:**

1. Pentingnya AI untuk Keselamatan. AI merupakan alat vital dalam meningkatkan keselamatan dan efisiensi transportasi umum, mengurangi kecelakaan dan memperbaiki pengalaman penumpang.

2. Integrasi Sistem Transportasi. Integrasi antar moda transportasi melalui teknologi AI memungkinkan sistem yang lebih koheren dan terkoordinasi, memudahkan penumpang berpindah dari satu moda ke moda lain dengan lancar.
3. Pengawasan dan Manajemen Lalu Lintas Berbasis AI. Implementasi teknologi AI dalam pengawasan dan manajemen lalu lintas mempercepat deteksi dan respons terhadap insiden, meningkatkan keamanan secara keseluruhan.
4. Keamanan Data dan Privasi. Dalam menggunakan AI, penting untuk mempertahankan standar tertinggi keamanan data dan privasi penumpang, mengadopsi kebijakan yang transparan dan bertanggung jawab.
5. Pelatihan dan Edukasi. Mengedukasi masyarakat dan staf tentang manfaat dan penggunaan AI dalam transportasi adalah esensial untuk adopsi dan pemanfaatan teknologi yang sukses.

- **Pertanyaan Diskusi**

Pertanyaan-pertanyaan ini bertujuan untuk memfasilitasi analisis kritis dan aplikasi praktis dari materi dalam konteks yang berbeda:

1. Evaluasi Penerapan AI. Bagaimana teknologi AI saat ini berkontribusi terhadap keselamatan penumpang di Jakarta? Adakah area atau aspek yang bisa ditingkatkan melalui pemanfaatan AI?
2. Dampak pada Privasi dan Keamanan Data. Mengingat peningkatan penggunaan AI dalam sistem transportasi, apa implikasi potensial terhadap privasi dan keamanan data penumpang? Bagaimana Pemerintah DKI Jakarta dapat menjamin bahwa data penumpang dilindungi?
3. Peran Stakeholder. Siapa saja stakeholder utama dalam proses integrasi AI dalam sistem transportasi umum, dan bagaimana masing-masing dapat berkontribusi untuk meningkatkan keselamatan penumpang?
4. Kesiapan Infrastruktur. Sejauh mana infrastruktur saat ini mendukung penerapan teknologi AI di DKI Jakarta? Apa saja tantangan utama yang dihadapi dan bagaimana mengatasinya?
5. Kebijakan dan Regulasi. Jenis kebijakan apa yang perlu dikembangkan atau diperbaharui untuk mendukung integrasi AI dalam transportasi umum yang aman? Bagaimana pemerintah harus menangani isu-isu etis yang mungkin muncul?
6. Teknologi Masa Depan. Teknologi AI mana yang belum diimplementasikan tetapi memiliki potensi besar untuk meningkatkan keselamatan transportasi di Jakarta?
7. Pengaruh Sosial dan Ekonomi. Bagaimana integrasi AI dalam transportasi umum dapat mempengaruhi aspek sosial dan ekonomi masyarakat Jakarta? Apakah ada dampak tidak terduga yang perlu diperhatikan?

## REKOMENDASI KEBIJAKAN (*POLICY BRIEF*)

Integrasi teknologi AI dalam sistem transportasi menjadi krusial untuk meningkatkan keselamatan penumpang di Jakarta. Berikut rekomendasi untuk Pemerintah Provinsi Daerah Khusus Jakarta:

1. Memperluas Integrasi AI dalam Sistem Transportasi secara real-time;
  - a. Menghubungkan fitur "Smart Safety Toggle" dengan sistem pengawasan CCTV di halte, stasiun, dan dalam kendaraan umum.
  - b. Membangun pusat komando terpadu terintegrasi dengan aparat yang berwenang memantau data dari berbagai sumber (aplikasi, CCTV, GPS).
  - c. Memastikan interoperabilitas antara berbagai sistem dan aplikasi untuk memudahkan koordinasi dan pertukaran informasi.
2. Mewajibkan Fitur Keamanan Berbasis AI pada Aplikasi Transportasi Online:
  - a. Mewajibkan perusahaan transportasi online mengintegrasikan fitur "Smart Safety Toggle" yang mencakup deteksi anomali perjalanan, pemrosesan sinyal audio, analisis sentimen, pelacakan lokasi real-time, dan peringatan otomatis.
  - b. Menetapkan standar untuk fitur-fitur tersebut, termasuk akurasi deteksi, kecepatan respons, dan perlindungan privasi data penumpang.
3. Pengembangan Infrastruktur Data.
  - a. Meningkatkan infrastruktur data untuk mendukung koneksi dan pertukaran data antar moda transportasi. Hal ini penting untuk memastikan semua sistem berkomunikasi dan beroperasi dalam harmoni.
  - b. Mendorong kolaborasi antara pemerintah dan perusahaan teknologi untuk mengembangkan solusi AI yang inovatif.
4. Edukasi dan Sosialisasi
 

Dalam rangka meningkatkan kesadaran publik tentang transportasi berbasis AI;

  - a. Melakukan kampanye publik tentang fitur keamanan berbasis AI dan cara penggunaannya.
  - b. Memberikan pelatihan kepada pengemudi dan petugas transportasi tentang cara merespons peringatan dari sistem AI dan menangani insiden keamanan.
  - c. Bekerja sama dengan komunitas dan organisasi masyarakat sipil untuk menyebarkan informasi dan mendapatkan umpan balik dari pengguna.
5. Regulasi dan Pengawasan
  - a. Membuat kerangka regulasi yang jelas dan komprehensif untuk penggunaan AI dalam transportasi publik, termasuk perlindungan privasi data, standar keamanan, dan tanggung jawab hukum.
  - b. Melakukan audit dan evaluasi berkala terhadap kinerja sistem AI dan fitur keamanan yang diterapkan oleh perusahaan transportasi.
  - c. Menetapkan sanksi yang tegas bagi perusahaan yang tidak mematuhi standar keamanan atau menyalahgunakan data penumpang.

## DAFTAR PUSTAKA

Abduljabbar, R., Dia, H., Liyanage, S., & Bagloee, S. A. (2019). Applications of Artificial Intelligence in Transport: An Overview. *Sustainability*, 11(1), Article 1. <https://doi.org/10.3390/su11010189>

- Artono, B., Lestariningsih, T., Yudha, R. G. P., & Bachri, A. A. (2020). Motorcycle Security System using SMS Warning and GPS Tracking. *Journal of Robotics and Control (JRC)*, 1(5), Article 5. <https://doi.org/10.18196/jrc.1531>
- Dharmawan, H. (2022). Hubungan Antara Integrasi Layanan Paratransit Terhadap Jumlah Pengguna Bus Rapid Transit: Studi Kasus Mikrotrans Transjakarta. *Jurnal Transportasi Multimoda*, 20(1), 19–25. <https://doi.org/10.25104/mtm.v20i1.2016>
- Fitriani, R., Imtiyaz, N., & Assidiq, F. M. (2023). Penerapan Teknologi Artificial Intelligence (AI) Guna Mendukung Operasional Pelabuhan. *Riset Sains dan Teknologi Kelautan*, 164–169. <https://doi.org/10.62012/sensistek.v6i2.31712>
- Goto, K., & Kambayashi, Y. (2002). Study on mobile passenger support systems for public transportation using multi-channel data dissemination. *Lecture Notes in Computer Science (Including Subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics)*, 2362, 317–330. Scopus. [https://doi.org/10.1007/3-540-45636-8\\_25](https://doi.org/10.1007/3-540-45636-8_25)
- Handayani, S., Afrianti, D., & Suryandari, M. (2021). Implementasi Kebijakan Angkutan Umum di DKI Jakarta. <https://www.semanticscholar.org/paper/Implementasi-Kebijakan-Angkutan-Umum-di-DKI-Jakarta-Handayani-Afrianti/8fd0a54d3d1b6ff1dca4470367ec4ba49c70911b>
- Izzuddin, F. N. (2022). Konsep Smart City dalam Pembangunan Berkelanjutan. *CITIZEN: Jurnal Ilmiah Multidisiplin Indonesia*, 2, 376–382. <https://doi.org/10.53866/jimi.v2i3.96>
- Kurnia, T., & Djunaedi, A. (2020). Tahapan Perkembangan Provinsi DKI Jakarta Menuju Smart City. *TATALOKA*, 22(4), 538–555. <https://doi.org/10.14710/tataloka.22.4.538-555>
- Mardi Safitri, D., Surjandari, I., & Jachrizal Sumabrata, R. (2020). Assessing factors affecting safety violations of bus rapid transit drivers in the Greater Jakarta Area. *Safety Science*, 125, 104634. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2020.104634>
- Musa, N. S., Noor, N. M. M., & Marjan, J. M. (2019). The benefits of National Intelligent Transportation Management Centre (NITMC) establishment in Malaysia. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 512(1), 012013. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/512/1/012013>
- Nabal, A., & Djaja, K. (2022). Dampak kepariwisataan terhadap perubahan pola urbanisasi di Indonesia. *Region : Jurnal Pembangunan Wilayah Dan Perencanaan Partisipatif*, 17, 70. <https://doi.org/10.20961/region.v17i1.41465>
- Naved, M. (2023). A Review of the Use of Machine Learning and Artificial Intelligence in Various Sectors. <https://doi.org/10.18178/JAAI.2023.1.2.123-128>
- Nigam, N., Singh, D. P., & Choudhary, J. (2023). A Review of Different Components of the Intelligent Traffic Management System (ITMS). *Symmetry*, 15(3), Article 3. <https://doi.org/10.3390/sym15030583>
- Nikitas, A., Michalakopoulou, K., Njoya, E. T., & Karampatzakis, D. (2020). Artificial Intelligence, Transport and the Smart City: Definitions and Dimensions of a New Mobility Era. *Sustainability*, 12(7), Article 7. <https://doi.org/10.3390/su12072789>
- Ozali, I., & Saribanon, E. (2021). Evaluation of the Implementation of Traffic and Road Transportation Safety Supervision in the Infrastructure Sector. *Eduvest - Journal of Universal Studies*, 1(10), 1.129-1.134. <https://doi.org/10.59188/eduvest.v1i10.225>
- Ramdani, J., & Resnawaty, R. (2021). KOLABORASI MULTI PIHAK PADA PROGRAM KAMPUNG IKLIM DI KABUPATEN CILACAP. *Jurnal Kolaborasi Resolusi Konflik*, 3(2), 191. <https://doi.org/10.24198/jkrk.v3i2.35152>
- Ramadhan, M. (2021). The Impact of the Application of Large-Scale Social Restrictions on Land Transportation in Jakarta: Dampak Penerapan Pembatasan Sosial Berskala Besar Pada Transportasi Darat di Jakarta. *Jurnal Riset Jakarta*, 14(1). <https://doi.org/10.37439/jurnaldrd.v14i1.44>
- Sitorus, B. (2019). Kajian Pembinaan Angkutan Masal Untuk Mengurangi Kemacetan Lalu Lintas di DKI Jakarta. *Warta Penelitian Perhubungan*, 25(3), 177. <https://doi.org/10.25104/warlit.v25i3.719>
- Solihati, K. D., & Indriyani, D. (2021). Managing Artificial Intelligence on Public Transportation (Case Study Jakarta City, Indonesia). *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 717(1), 012021. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/717/1/012021>
- Younas, M. Z. (2020). Anomaly Detection using Data Mining Techniques: A Review.



International Journal for Research in Applied Science and Engineering Technology, 8(11), 568–574. <https://doi.org/10.22214/ijraset.2020.32188>

# Penerbit Gunadarma



## IKHTISAR SOLUSI ENERGI DAN TRANSPORTASI MASA DEPAN UNTUK JAKARTA YANG LEBIH SMART DAN BERKELANJUTAN

Wynd Rizaldy<sup>1\*</sup>, Lis Lesmini<sup>2</sup> and Abdullah Ade Suryobuwono<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup> Manajemen Bisnis, Institut Transportasi dan Logistik Trisakti, Jakarta 13410,  
Indonesia

\*Penulis Koresponden, e-mail: [wyndrizaldy@gmail.com](mailto:wyndrizaldy@gmail.com)

### ABSTRAK

Jakarta merupakan kota metropolitan yang menghadapi berbagai tantangan, salah satunya adalah masalah energi dan transportasi. Masalah energi di Jakarta antara lain ketergantungan terhadap bahan bakar fosil yang tidak berkelanjutan, serta tingkat polusi udara yang tinggi. Masalah transportasi di Jakarta antara lain kemacetan yang parah, serta tingkat kecelakaan yang tinggi. Penerapan *artificial intelligence* (AI) dapat menjadi solusi untuk mengatasi masalah energi dan transportasi di Jakarta. AI dapat digunakan untuk meningkatkan efisiensi penggunaan energi, serta mengurangi kemacetan dan kecelakaan lalu lintas. Analisis Situasi, dengan penduduk sekitar 10 juta jiwa, Jakarta memiliki tingkat konsumsi energi yang tinggi, terutama untuk transportasi. Selain itu, juga memiliki tingkat polusi udara yang tinggi, sebagian besar disebabkan oleh emisi kendaraan bermotor. Pendekatan dan Solusi AI digunakan untuk meningkatkan efisiensi penggunaan energi di Jakarta melalui berbagai cara, antara lain: Optimalisasi penggunaan sumber daya energi, *Carbon Capture*, menganalisis data penggunaan energi untuk menemukan cara-cara untuk meningkatkan efisiensinya, mengurangi kemacetan dan kecelakaan lalu lintas melalui berbagai cara, antara lain: Pengelolaan lalu lintas. AI digunakan untuk mengelola lalu lintas dengan lebih efisien dan *intelligent transport system* (ITS). Pengembangan transportasi berbasis teknologi, seperti kendaraan otonom dan kendaraan Listrik. Misalnya digunakan untuk meningkatkan keamanan dan kenyamanan kendaraan otonom. Kesimpulan, Penerapan AI merupakan salah satu solusi untuk mengatasi masalah energi dan transportasi di Jakarta. AI dapat digunakan untuk meningkatkan efisiensi, efektivitas penggunaan energi, mengurangi kemacetan dan kecelakaan lalu lintas. Rekomendasi, Berdasarkan analisis di atas beberapa rekomendasi untuk penerapan AI dalam aspek energi dan transportasi di Jakarta, Pemerintah perlu meningkatkan investasi dalam pengembangan data dan tenaga ahli AI, Pemerintah bekerja sama dengan sektor swasta untuk mengembangkan dan menerapkan solusi AI yang efektif. Masyarakat perlu meningkatkan kesadaran pentingnya penggunaan AI secara bertanggung jawab. Dengan kerja sama yang baik antara pemerintah, sektor swasta, dan masyarakat, penerapan AI menjadi Solusi efektif untuk mengatasi masalah energi dan transportasi di Jakarta.

Kata Kunci: *artificial intelligence*; energi terbaru; transportasi; efisiensi; efektivitas

### PENDAHULUAN

Jakarta, raksasa metropolitan Indonesia, terbelenggu oleh dua monster: krisis energi dan kemacetan. Pertumbuhan populasi dan urbanisasi melaju pesat, bagaikan kuda liar yang lepas kendali. Permintaan energi meningkat drastis, meninggalkan jejak polusi udara dan emisi gas rumah kaca yang mencekik. Kemacetan merajalela, menggerogoti waktu dan produktivitas. serta kemungkinan terjadinya tingkat kecelakaan yang tinggi dalam kondisi tersebut. Namun, di tengah kekacauan ini, secercah harapan muncul. Polusi udara di Jakarta, khususnya Materi Partikulate (*Particulate Matter*) PM 2.5, terus memburuk dan melebihi batas aman. Hal ini menunjukkan lemahnya pengawasan dan efektivitas kebijakan yang ada. Oleh karena itu,

diperlukan evaluasi menyeluruh terhadap sistem pengawasan dalam pelaksanaan kebijakan untuk meningkatkan upaya penanggulangan polusi udara (Riyanto et al., 2023). Rekomendasi kebijakan, Vital Strategies merekomendasikan penerapan solusi yang terbukti efektif untuk mengatasi sumber emisi utama di Jakarta dengan beberapa cara seperti membatasi emisi asap knalpot kendaraan, menerapkan larangan pembakaran terbuka, mengurangi pembakaran batu bara, dan mengendalikan debu Konstruksi, debu jalan beraspal dan tanah tersuspensi. Solusi ini diharapkan dapat meningkatkan kualitas udara secara efisien, mengurangi dampak kesehatan akibat polusi udara, dan menurunkan tingkat kematian (Strategies, 2024). Bab ini mengupas solusi energi dan transportasi masa depan yang dapat mengantarkan Jakarta menuju gerbang kota yang *smart* dan berkelanjutan.

Berikut adalah Energi masa depan Jakarta: seperti Energi terbarukan berupa: Matahari, angin, dan air, elemen alam yang berlimpah, akan dijinakkan untuk menjadi sumber energi yang bersih dan berkelanjutan. Panel surya akan menghiasi atap-atap bangunan, turbin angin akan berputar di pesisir pantai, dan energi air akan mengalir dari bendungan dan sungai. Selain itu efisiensi energi seperti bangunan dan industri akan didesain ulang untuk memaksimalkan efisiensi energi. Teknologi canggih akan diterapkan untuk mengoptimalkan penggunaan energi, bagaikan tarian harmonis antara manusia dan teknologi. Selanjutnya jaringan cerdas (*Smart grid*) dan teknologi penyimpanan energi, *Smart grid* akan menjadi teknologi utama dalam jaringan listrik masa depan. Teknologi ini akan meningkatkan kualitas energi listrik secara menyeluruh dan meningkatkan efisiensi sistem energi secara keseluruhan (Sinaga, 2021). Jaringan listrik pintar akan mendistribusikan energi secara cerdas dan efisien, bagaikan aliran darah yang lancar dalam tubuh kota. Teknologi penyimpanan energi akan menampung kelebihan energi, bagaikan bendungan yang menampung air hujan untuk digunakan di musim kemarau. Kesuksesan transisi energi terbarukan tidak hanya bergantung pada aspek pasokan atau pembangkitan, tetapi juga pada aspek permintaan yang melibatkan faktor sosial yaitu manusia dan masyarakat, dan Faktor sosial ini sangat dinamis dan dapat menjadi penentu kesuksesan atau kegagalan dalam berbagai lokasi pengembangan energi terbarukan (Rahma Wardhana & Wening Hapsari Marifatullah, 2020). Berikut adalah perbandingan antaran jaringan listrik tradisional dan *Smart Grid*, lihat Tabel 1.

**Tabel 1.** Perbandingan Jaringan Listrik Tradisional dan *Smart Grid*

| No | Fitur                | Jaringan Tradisional ( <i>Traditional Grid</i> ) | Jaringan Pintar ( <i>Smart Grid</i> )                                                                            |
|----|----------------------|--------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1  | Komunikasi           | Komunikasi searah                                | Komunikasi dua arah secara real-time                                                                             |
| 2  | Interkoneksi         | Interkoneksi terbatas                            | Memungkinkan perdagangan listrik di luar batas layanan dan jaringan                                              |
| 3  | Jaringan             | Jaringan radial                                  | Jaringan terdistribusi                                                                                           |
| 4  | Pembangkit Listrik   | Pembangkit listrik skala besar dan terpusat      | Integrasi pembangkitan terdistribusi dan sumber energi terbarukan dengan pembangkit listrik terpusat skala besar |
| 5  | Penggunaan Data      | Menggunakan sedikit data                         | Menggunakan banyak data                                                                                          |
| 6  | Sensor               | Menggunakan sedikit sensor                       | Menggunakan sensor di seluruh bagian                                                                             |
| 7  | Keamanan dan Privasi | Fokus lebih sedikit pada keamanan dan privasi    | Perlindungan adaptif untuk keamanan dan privasi                                                                  |

| No | Fitur                        | Jaringan Tradisional ( <i>Traditional Grid</i> ) | Jaringan Pintar ( <i>Smart Grid</i> ) |
|----|------------------------------|--------------------------------------------------|---------------------------------------|
| 8  | Produksi dan Konsumsi Energi | Produksi dan konsumsi energi secara simultan     | Menggunakan sistem penyimpanan energi |
| 9  | Tanggap Darurat              | Respon lambat terhadap keadaan darurat           | Respon cepat terhadap keadaan darurat |
| 10 | Visibilitas                  | Buta                                             | Dapat dipantau                        |
| 11 | Pemulihan                    | Pemulihan manual                                 | Pemulihan otomatis (self-healing)     |
| 12 | Pemadaman dan Listrik Padam  | Rawan padam dan listrik padam                    | Adaptif dan islanding                 |
| 13 | Kontrol                      | Kontrol terbatas                                 | Kontrol komprehensif                  |
| 14 | Pilihan Pelanggan            | Sedikit pilihan pelanggan                        | Banyak pilihan pelanggan              |

Sumber : (Sinaga, 2021)

Terkait dengan Transportasi masa depan Jakarta, Jakarta telah memiliki Sistem transportasi publik: Bus, kereta api, dan MRT yang ramah lingkungan dan terintegrasi akan menjadi tulang punggung mobilitas warga. Sistem ini akan menjangkau seluruh penjuru kota, bagaikan jaring laba-laba yang menghubungkan semua bagian. Saat ini perhatian dunia termasuk Indonesia terhadap Kendaraan listrik dan mobilitas cerdas, dimana di prediksi bahwa Kendaraan listrik yang senyap dan ramah lingkungan akan mendominasi jalanan. Mobilitas cerdas akan diterapkan, mengantarkan warga ke tujuan mereka dengan efisien dan nyaman, bagaikan kepompong yang mengantarkan manusia menuju masa depan. Sistem transportasi publik di Jakarta terus berkembang dengan fokus pada aksesibilitas dan kenyamanan pengguna. Hal ini terlihat dari revitalisasi halte dan stasiun serta integrasi moda transportasi seperti kereta rel listrik (KRL), moda raya terpadu (MRT), lintas raya terpadu (LRT), dan transjakarta (TJ). Meskipun demikian, masih ada beberapa kendala yang perlu diatasi, seperti kurangnya penggunaan transportasi massal dan keterbatasan akses terhadap aplikasi pembayaran terintegrasi (Sitorus, 2022).

**Tabel 2.** Identifikasi Keadilan Sosial Berdasarkan Pendekatan Kapabilitas

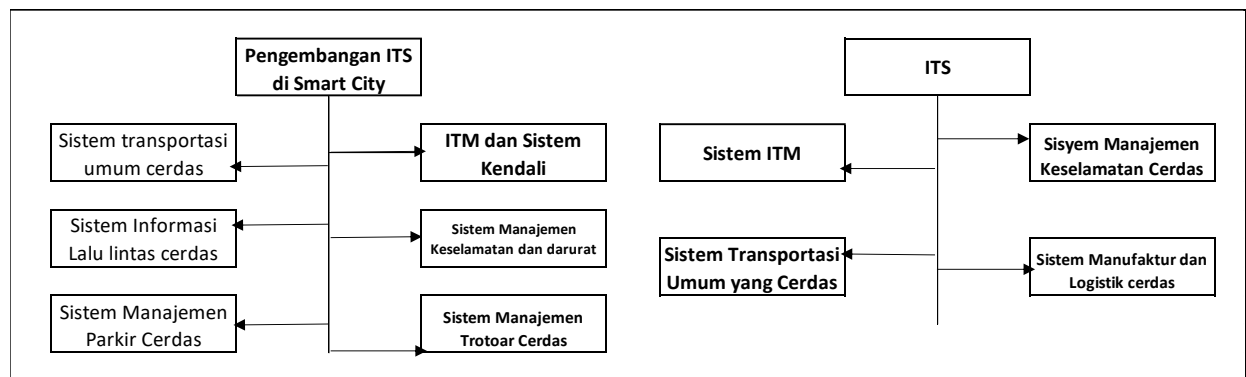
| Fungsi                    | Kemampuan | Kesempatan        | Nilai                             | Kebebasan                     | Pilihan                                             |
|---------------------------|-----------|-------------------|-----------------------------------|-------------------------------|-----------------------------------------------------|
| Revitalisasi Stasiun      | Transit   | Moda              | Sistem                            | Bebas                         | Pilihan stasiun terdekat                            |
| Kereta Rel Listrik (KRL)  | Oriented  | Transportasi      | Pembayaran                        | menentukan                    | Halte dengan akses terintegrasi                     |
|                           | Sistem    | terintegrasi      | terintegrasi                      | pilihan                       |                                                     |
|                           |           | TJ, MRT, LRT, KRL |                                   | Menggunakan moda transportasi |                                                     |
| Halte dan stasiun transit | -         |                   | Tarif terjangkau                  | -                             | Pilihan rute                                        |
|                           | -         | -                 | Mikrotrans Jak Lingko Memiliki AC | -                             | Pilihan waktu/lokasi: tidak berhenti/naik sembarang |
| -                         | -         | -                 | Kenyamanan                        | -                             |                                                     |

Sumber : (Sitorus, 2022)

Oleh karenanya diperlukan perencanaan kota yang berkelanjutan, Kota Jakarta kedepan memiliki kemungkinan didesain ulang untuk memprioritaskan pejalan kaki, pesepeda, dan transportasi publik. Ruang hijau akan diperluas, bagaikan paru-paru raksasa yang

memurnikan udara kota. Jakarta dapat bertransformasi menjadi kota yang berkelanjutan dengan fokus pada pembangunan yang berwawasan lingkungan. Solusi berbasis alam, seperti renaturalisasi dan peliaran kembali, dapat menjadi kunci untuk mencapai tujuan ini. Renaturalisasi tidak hanya berarti membangun taman, tetapi juga mencakup pengelolaan air hujan dan pemulihan kualitas Daerah Aliran Sungai (DAS) dengan desain yang multifungsi. Peliaran kembali yang terkelola dengan baik dapat meningkatkan keanekaragaman hayati di kota. Konsep kota sirkular dapat diadopsi untuk mengelola sumber daya Jakarta yang terbatas dan meminimalisasi dampak lingkungan terhadap daerah sekitarnya (Hayyu et al., 2022).

Kerangka kerja dengan sub-sistem ITS yang diidentifikasi berdasarkan kemampuannya. ITS merupakan salah satu perangkat penting untuk mengidentifikasi potensi masalah dalam industri transportasi. solusi untuk permasalahan tertentu, misalnya pemanfaatan algoritme pembelajaran mesin untuk memprediksi kemacetan lalu lintas dan manajemen rute, dan Analisis berdasarkan kota tentang adopsi AI untuk mengatasi masalah transportasi menunjukkan bahwa sebagian besar negara maju telah dengan cepat mengadopsi sistem ini. Adopsi ini membutuhkan dukungan dari perusahaan atau lembaga dan kepemimpinan terkait karena melibatkan investasi dan visi jangka panjang dari manajemen puncak (Iyer, 2021).



Gambar 1. . Variasi sub-sistem pada pengembangan ITS dan komposisi dari ITS (Agarwal et al., 2015; Iyer, 2021). ITS dan komposisi subsistemnya dijelaskan pada tabel 3 dibawah :

**Tabel 3.** Subsistem ITS

| Sub-sistem dari ITS                 | Deskripsi                                                                         |
|-------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|
| Sistem Manajemen Lalu Lintas Cerdas | Pengelolaan jalan secara real-time untuk menghindari kemacetan.                   |
| Sistem Transportasi Publik Cerdas   | Pengangkutan penumpang melalui jalan raya di berbagai rute.                       |
| Sistem Manajemen Keselamatan Cerdas | Memastikan keselamatan penumpang, kendaraan, dan barang di jalan raya.            |
| Sistem Produksi & Logistik Cerdas   | Pemanfaatan teknologi dalam pembuatan kendaraan bermotor dan pengangkutan barang. |

Sumber : (Iyer, 2021)

Bab ini mengantarkan kita pada peradaban baru, yaitu Jakarta yang smart dan berkelanjutan. Di mana energi terbarukan mengalir, transportasi ramah lingkungan mendominasi, dan kota dirancang untuk manusia, bukan kendaraan. Ini bukan utopia, tapi kenyataan yang dapat diraih dengan tekad dan kerja sama. Mari melangkah bersama menuju masa depan Jakarta yang lebih cerah

## STATE OF THE ART

Pentingnya suatu solusi energi bagi masa depan Jakarta agar menjadi kota yang lebih cerah, smart dan berkelanjutan yaitu pertama dengan peralihan ke energi terbarukan yang fokus utamanya adalah pada pemanfaatan sumber daya alam yang melimpah seperti matahari, angin, dan tenaga air untuk pembangkitan energi yang bersih dan berkelanjutan. Kedua yaitu melakukan efisiensi energi dengan cara mendesain ulang bangunan dan industri untuk mengoptimalkan konsumsi energi, memanfaatkan teknologi cerdas untuk pengelolaan cerdas. Ketiga yaitu Smart grid dan penyimpanan energi dengan cara Menerapkan jaringan listrik cerdas untuk distribusi yang efisien dan solusi penyimpanan canggih seperti *pumped hydro* dan penyimpanan baterai untuk mengelola fluktuasi dalam energi terbarukan (Sinaga, 2021). Energi Baru dan Terbarukan (EBT) menjadi solusi penting di tengah kebutuhan energi yang terus meningkat. EBT adalah sumber energi alternatif yang ramah lingkungan dan berkelanjutan, berbeda dengan energi fosil yang jumlahnya terbatas dan tidak dapat diperbaharui. Pemanfaatan EBT secara optimal dapat membantu memenuhi kebutuhan energi manusia dan makhluk hidup lainnya tanpa merusak lingkungan (Adellea, 2022) .

Sementara untuk Transportasi masa depan dan kaitannya dengan energi terbaharukan tersebut, cara pertama yaitu memprioritaskan transportasi umum dengan mengembangkan jaringan bus, kereta api, dan Moda Raya Terpadu (MRT) yang ramah lingkungan dan terintegrasi secara kuat, memastikan aksesibilitas yang lebih luas di seluruh penjuru kota. . Meskipun masih parsial dan belum terintegrasi, beberapa aplikasi ITS (*Intelligent Transportation System*) telah diterapkan di wilayah DKI Jakarta (Suyuti, 2012) . Kedua yaitu kendaraan listrik dan mobilitas cerdas dengan mendorong adopsi luas kendaraan listrik untuk mengurangi emisi, digabungkan dengan solusi mobilitas cerdas seperti *ride-sharing* dan manajemen lalu lintas cerdas untuk pergerakan yang efisien. Ketiga yaitu perencanaan kota yang berkelanjutan dengan mendesain ulang Jakarta untuk memprioritaskan pejalan kaki, pesepeda, dan transportasi umum. Memperluas ruang hijau untuk meningkatkan kualitas udara dan menciptakan lingkungan hidup yang lebih layak.

Manfaat yang diharapkan dari solusi diatas diharapkan akan berdampak pada pertama Lingkungan yaitu Pengurangan signifikan emisi gas rumah kaca dan polusi udara, yang mengarah ke udara yang lebih bersih dan lingkungan yang lebih sehat. Kedua terhadap ekonomi yaitu peningkatan efisiensi energi dan pengurangan ketergantungan pada bahan bakar fosil dapat mengarah pada penghematan biaya. Selain itu, peralihan ke teknologi hijau dapat menciptakan peluang kerja baru dan mendorong pertumbuhan ekonomi, dan ketiga yaitu Sosial dimana Mobilitas yang ditingkatkan melalui transportasi umum yang efisien dan solusi cerdas dapat meningkatkan aksesibilitas dan mengurangi waktu perjalanan. Ini dapat membawa pada kualitas hidup yang lebih baik bagi warga.

Gambaran diatas akan menempatkan Jakarta di garda depan pembangunan perkotaan dengan mengeksplorasi solusi. Tantangan mungkin timbul dalam implementasi, seperti biaya awal untuk pengembangan infrastruktur dan perubahan perilaku yang diperlukan dari warga. Dalam pembahasan nanti dapat diberikan contoh konkret dengan menyorot implementasi sukses dari solusi ini di kota-kota lain di seluruh dunia. Kedua yaitu pertimbangan lokal dengan mengatasi konteks khusus Jakarta, termasuk infrastruktur yang ada, kerangka kebijakan, dan dinamika sosial, dan ketiga yaitu kemajuan teknologi dengan mengeksplorasi teknologi mutakhir seperti kendaraan otonom dan integrasi kendaraan-ke-jaringan yang dapat lebih meningkatkan keberlanjutan dan efisiensi.



Dengan memasukkan elemen-elemen ini, maka dapat memberikan gambaran menyeluruh tentang solusi untuk masa depan Jakarta dan memicu diskusi tentang implementasinya untuk kota yang lebih smart dan berkelanjutan. Visi ini bukan utopia, tapi kenyataan yang dapat diraih dengan tekad dan kerja sama. Mari melangkah bersama menuju masa depan Jakarta yang lebih cerah dimana energi terbarukan mengalir, transportasi ramah lingkungan mendominasi, dan kota dirancang untuk manusia, bukan kendaraan. Bersama, kita dapat membangun Jakarta yang *smart*, berkelanjutan, dan ramah lingkungan.

## PEMBAHASAN

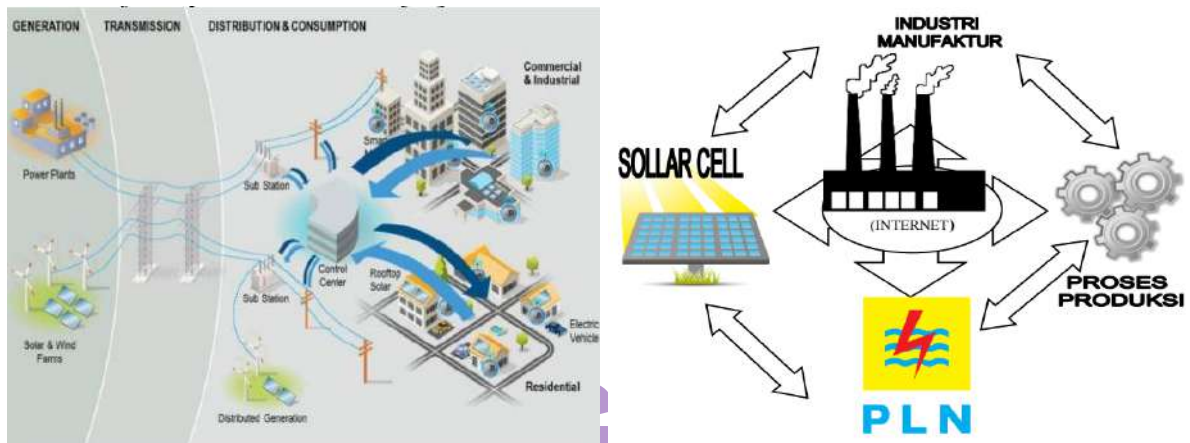
### Menuju Masa Depan Cerah Jakarta: Pentingnya Solusi Energi Berkelanjutan

Penerapan energi terbarukan yang dapat dilakukan di Jakarta, sebagai bagian Masyarakat 5.0, yang dikenal sebagai "*Society 5.0: Super Smart Society*", merupakan visi masa depan yang berfokus pada pemanfaatan data dan teknologi digital untuk meningkatkan kualitas hidup masyarakat. Salah satu fokus utama *Society 5.0* adalah menyelesaikan permasalahan energi melalui transformasi digital (Afandi & Wibawa, 2022). Konsep data *driven society* mengacu pada penggunaan data yang dikumpulkan dari berbagai sumber, seperti sensor, perangkat *internet of things* (IoT), dan media sosial, untuk dianalisis dan diolah menjadi informasi yang berguna. Informasi ini kemudian dapat digunakan untuk membuat keputusan yang lebih tepat dan efisien dalam berbagai bidang, termasuk energi. Transformasi digital dalam sektor energi dapat dilakukan dengan berbagai cara, seperti: 1) Optimasi energi dengan bantuan kecerdasan buatan (AI): AI dapat digunakan untuk menganalisis data konsumsi energi dan mengidentifikasi peluang untuk meningkatkan efisiensi; 2) Penggunaan alat hemat energi IoT: Perangkat IoT dapat digunakan untuk mengontrol penggunaan energi secara *real-time* dan membantu konsumen menghemat energi; dan 3) *Big data* untuk sumber masalah dan solusi: *Big data* dapat digunakan untuk menganalisis pola konsumsi energi dan mengidentifikasi solusi yang tepat untuk mengatasi permasalahan energi.

Bagaimana cara meningkatkan efisiensi energi di sektor industri dan bangunan? Pemerintah Indonesia telah menargetkan penurunan intensitas energi nasional sebesar 1% per tahun dan elastisitas energi lebih kecil dari 1 sampai tahun 2025. Target ini tertuang dalam Peraturan Pemerintah No. 74 Tahun 2014 tentang Kebijakan Energi Nasional. Penurunan intensitas energi berarti penggunaan energi per unit produk domestik bruto (PDB) harus turun. Elastisitas energi yang lebih kecil dari 1 berarti pertumbuhan ekonomi tidak boleh diikuti dengan pertumbuhan konsumsi energi yang lebih besar (Wijaya, 2019). Target ini penting untuk mencapai beberapa tujuan, antara lain: 1) Meningkatkan daya saing industri nasional: Industri yang hemat energi akan memiliki biaya produksi yang lebih rendah dan lebih kompetitif di pasar global; 2) Meningkatkan ketahanan energi: Efisiensi energi akan membantu mengurangi ketergantungan pada energi impor dan meningkatkan ketahanan energi nasional; dan 3) Mengurangi emisi gas rumah kaca: Efisiensi energi akan membantu mengurangi emisi gas rumah kaca dan memerangi perubahan iklim. Untuk mencapai ketiga target tersebut, diperlukan partisipasi aktif dari semua pihak, termasuk sektor industri. Namun, pelaksanaan efisiensi energi di Indonesia masih sangat terbatas. Hal ini disebabkan oleh beberapa faktor, antara lain: 1) Kurangnya pengetahuan dan kepercayaan terhadap performa teknologi hemat energi: Banyak industri yang belum yakin bahwa teknologi hemat energi dapat memberikan

penghematan yang signifikan; dan 2) Keterbatasan dalam mengakses produk finansial yang sesuai dengan karakteristik proyek efisiensi energi: Proyek efisiensi energi seringkali membutuhkan investasi awal yang besar, dan banyak industri yang kesulitan mendapatkan pendanaan untuk proyek-proyek tersebut.

Apa Manfaat *smart grid* dalam sistem energi Jakarta ? Jaringan pintar (*Smart Grid*) dapat diterapkan di Indonesia, terutama di industri manufaktur, untuk meningkatkan efisiensi konsumsi listrik dalam proses produksi. *Smart Grid* juga merupakan konsep jaringan listrik ramah lingkungan yang lebih memilih energi terbarukan daripada energi fosil. Implementasi *Smart Grid* di Jerman, Amerika, dan Inggris telah terbukti sukses (Pramudhita & Mawangi, 2021). Berikut adalah gambar alur penggunaan smart grid yang dapat di adopsi.



**Gambar 2.** Contoh penggunaan *Smart Grid* pada proses produksi industri manufaktur (Pramudhita & Mawangi, 2021)

Bagaimana Tantangan dalam mengimplementasikan solusi energi berkelanjutan di Jakarta? Jawabannya cukup menantang karena secara hukum, belum ada undang-undang khusus yang mengatur pengelolaan energi terbarukan secara sistematis dan komprehensif. Rancangan Undang-Undang Energi Baru dan Terbarukan (RUU EBT) yang sedang dibahas oleh pemerintah dan DPR diharapkan dapat menjawab kebutuhan ini. Namun, naskah RUU EBT yang ada saat ini masih belum mampu menjawab permasalahan yang ada di masyarakat, seperti trilemma energi dan kurangnya prioritas dari pemerintah dalam mengelola sumber energi terbarukan. Secara sosial, iklim investasi yang kondusif untuk mendukung pendanaan pengelolaan energi terbarukan belum tercipta. Hal ini menyebabkan kurangnya minat investor untuk berinvestasi di bidang energi terbarukan (Kalpikajati & Hermawan, 2022).

Bagaimana Peran pemerintah, swasta, dan masyarakat dalam mewujudkan transisi energi di Jakarta? , Pemerintah harus berkomitmen penuh dalam transisi ke energi bersih dengan mengalokasikan anggaran yang memadai dan mengelola energi terbarukan secara efektif. Meskipun energi terbarukan lebih ramah lingkungan daripada energi fosil, namun tetap ada dampak lingkungan yang perlu diperhatikan. Diperlukan penelitian dan pengembangan berkelanjutan untuk menghasilkan teknologi energi terbarukan yang benar-benar ramah lingkungan dan minim risiko. Pemerintah perlu memastikan sinergi dan kolaborasi antar lembaga dan badan terkait energi untuk merumuskan dan melaksanakan kebijakan energi terbarukan yang efektif (Al-Huda & Institute, 2023). Survei riset Pertamina dan PLN juga menunjukkan bahwa masyarakat lebih tertarik dengan keuntungan dari transisi energi dan

teknologi hijau daripada biayanya. Hal ini terlihat dari persepsi positif terhadap kendaraan listrik yang dianggap sebagai moda transportasi jarak jauh yang ramah lingkungan, dibandingkan dengan fokus pada biaya atau insentif untuk kendaraan tersebut. Survei juga menunjukkan bahwa masyarakat sudah memiliki kesadaran dan pemahaman tentang perubahan iklim dan pentingnya tindakan untuk mengatasinya (PLN, 2020)

**Tiga Pilar Solusi Energi Berkelanjutan : Energi Terbarukan, Efisiensi Energi, dan Smart Grid**

Penjelasan dan contoh penerapan energi terbarukan, 1) Beralih ke sumber energi terbarukan yang ramah lingkungan merupakan langkah penting untuk menyelamatkan lingkungan hidup dari kerusakan akibat penggunaan bahan bakar minyak (BBM); 2) Indonesia memiliki potensi besar untuk memanfaatkan berbagai sumber energi terbarukan, seperti bioetanol, biodiesel, panas bumi, tenaga surya, mikrohidro, angin, dan sampah/limbah; 3) Penerapan energi terbarukan di tanah air dapat memberikan banyak manfaat, seperti: mengurangi emisi gas rumah kaca dan memerangi perubahan iklim,meningkatkan ketahanan energi nasional, dan menciptakan lapangan kerja dan mendorong pertumbuhan ekonomi; dan 4) Oleh karena itu, pemerintah dan seluruh pihak terkait perlu bekerja sama untuk mempercepat transisi energi ke sumber energi terbarukan yang lebih ramah lingkungan (Lubis, 2007).

Tahapan dalam meningkatkan efisiensi energi. Penggunaan energi yang lebih sedikit untuk menghasilkan produk yang sama atau lebih banyak disebut sebagai efisiensi energi. Program efisiensi energi dapat menghasilkan penghematan dan menekan biaya konsumsi energi dalam proses produksi, (Wijaya, 2019) upaya penghematan energi terbagi menjadi tiga tahap dengan konsekuensi dan biaya yang berbeda-beda (lihat Tabel 4). Tahap pertama adalah pencegahan pemborosan energi, seperti mematikan lampu atau AC di ruangan kosong, yang hampir tidak memerlukan biaya.

| Tabel 4. Tahapan upaya konservasi energi dan indikasi biaya yang dibutuhkan |                                                                                           |                               |
|-----------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------|
| Tahapan (Stage)                                                             | Upaya (Effort)                                                                            | Biaya (Cost)                  |
| Pertama (First)                                                             | Pencegahan: Menghilangkan buangan energi                                                  | Tanpa biaya atau biaya rendah |
| Kedua (Second)                                                              | Recovery: Mengurangi rugi- rugi energi                                                    | Biaya rendah hingga menengah  |
| Ketiga (Third)                                                              | Inovasi efisiensi: Meningkatkan efisiensi pemanfaatan energi melalui penggunaan teknologi | Biaya menengah hingga tinggi  |

Sumber : (Wijaya, 2019)

Manfaat *smart grid* dalam distribusi energi. Jaringan pintar atau *smart grid* memiliki arti penting karena menggunakan teknologi cerdas dan sensor untuk mengelola sistem tenaga listrik, mengoptimalkan operasi di berbagai bagian, dan mengintegrasikan sumber energi terbarukan ke dalam sistem pembangkitan (Sinaga, 2021).

**Transportasi Masa Depan yang Ramah Lingkungan dan Terintegrasi**

Prioritas pada transportasi umum yang ramah lingkungan. terdapat beberapa tantangan yang perlu diatasi, seperti meningkatkan keandalan dan kenyamanan transportasi umum, serta memastikan keselamatan, infrastruktur, dan regulasi yang mendukung mobilitas otonom (Dewi

& Krisdiyanto, 2023). Sistem Transportasi Cerdas memiliki kapasitas untuk memecahkan banyak masalah tradisional yang kita lihat di industri transportasi. Kita telah menyaksikan meningkatnya tingkat kemacetan di kota-kota yang meningkatkan waktu yang dihabiskan orang untuk bepergian, belum lagi beban yang ditimbulkan pada infrastruktur dan miliaran dolar yang dihabiskan setiap tahun untuk pemeliharaan, kecelakaan di jalan raya, dan korban jiwa akibat kecelakaan. ITS menawarkan solusi yang menjanjikan untuk semua ini dengan meningkatkan efisiensi dalam sistem angkutan umum bus, meningkatkan keselamatan, mengoptimalkan berbagai sistem dan proses, menghemat uang dan bahan bakar serta mengurangi dampak transportasi terhadap lingkungan. Mengurangi jejak karbon kolektif dalam bentuk emisi gas rumah Kaca (GRK) merupakan hal mendasar untuk mencapai tujuan keberlanjutan dan memastikan bahwa kita menjaga masa depan planet kita dan generasi berikutnya. Dengan bantuan ITS, sektor transportasi (salah satu penghasil polusi terbesar di dunia) dapat mulai beralih ke praktik yang lebih berkelanjutan dan efektif. Menurut para ahli, digitalisasi sektor transportasi adalah langkah besar berikutnya ke arah ini, bersamaan dengan tujuan lainnya. Strategi Mobilitas Berkelanjutan dan Cerdas menggarisbawahi pentingnya pencapaian seperti penerapan mobilitas otomatis dalam skala besar dan global pada tahun 2030 yang dikatakan sebagai elemen kunci untuk menghilangkan kematian di seluruh jaringan transportasi umum dan semua moda transportasi.

Integrasi teknologi canggih tersebut bukanlah tugas yang mudah sehingga diharapkan diperlukan banyak upaya, waktu, personel yang berkualifikasi, dan sumber daya untuk memanfaatkan teknologi ini dan memanfaatkannya demi keuntungan kita. Manfaatnya benar-benar sepadan dengan investasi dan upaya yang dilakukan, dan seiring dengan kemajuan teknologi, kami sangat antusias untuk melihat masa depan sektor transportasi dan mobilitas secara keseluruhan. Pengembangan IPTS pada pengelolaan sistem angkutan umum bus biasanya digunakan untuk mewujudkan efisiensi operasional dan otomatisasi pada kegiatan operasi armadanya. IPTS diterapkan untuk dapat meningkatkan standar layanan, memfasilitasi kebutuhan pergerakan penumpang, pengorganisasian perencanaan dan operasional yang lebih baik, terciptanya integrasi layanan dari berbagai rute dan otomatisasi sistem tiket dan pembayaran tarif. Dengan penerapan IPTS pengelola sistem angkutan umum bus dapat mengotomatisasi kegiatan operasionalnya, di samping dapat memahami kondisi yang lebih baik mengenai profil Penumpang, melakukan Analisis Rute untuk mengoptimalkan efisiensi operasional, Konsumsi Layanan, melakukan analisis produktivitas area fungsional dan dengan demikian menjadikan PT TIJE sebagai pilihan pengguna.

ITS harus menyediakan seperangkat alat baru untuk mencapai kebijakan transportasi lokal perkotaan. Sistem ini harus menyediakan layanan menggunakan teknologi komputasi dan komunikasi modern. Sistem harus mengumpulkan informasi tentang keadaan jaringan transportasi, memproses informasi tersebut, dan mengelola jaringan secara langsung (misalnya manajemen headway), atau memungkinkan masyarakat memutuskan cara terbaik untuk menggunakan jaringan tersebut (misalnya deteksi insiden, berita perjalanan). Sistem ITS akan memainkan peran penting dalam mencapai tujuan kebijakan, termasuk mengatasi pengurangan korban jiwa, kemacetan lalu lintas dan polusi, serta meningkatkan aksesibilitas, menyediakan solusi transportasi terpadu dan memanfaatkan infrastruktur yang ada dengan sebaik-baiknya. Sistem ini akan memberikan manfaat ekonomi yang nyata melalui pengurangan waktu perjalanan dan peningkatan keandalan waktu perjalanan, serta peningkatan keselamatan dan pengurangan polusi Penerapan transportasi cerdas pada pengelolaan angkutan umum bus pada dasarnya dimaksudkan agar kondisi operasional dari

jaringan rute bus di lapangan dapat dipantau secara real time, sehingga dapat dengan cepat mendeteksi gangguan yang muncul, seperti: kecelakaan, masalah teknis, kemacetan lalu lintas, dan lainnya yang dapat mempengaruhi jadwal yang telah ditetapkan sebelumnya. Dengan diketahuinya gangguan yang muncul di lapangan dan diketahui implikasinya terhadap kinerja operasi (*bus bunching*, *headway* yang tidak sesuai dll), maka petugas pengendali dapat segera menyarankan strategi mitigasi yang diperlukan bagi pramudi atau petugas lapangan lainnya yang relevan agar dapat melakukan tindakan yang tepat untuk menjaga kinerja operasional bus di lapangan dapat tetap terjaga.

Selain itu penerapan teknologi cerdas juga memungkinkan semua stakeholder terkait, termasuk penumpang, calon penumpang ataupun masyarakat umum mendapatkan informasi terkini tentang status kondisi jaringan rute angkutan umum bus. Dengan demikian, pengembangan dan penerapan teknologi transportasi cerdas diharapkan dapat meningkatkan kualitas layanan angkutan umum bus dan mendorong penggunaan angkutan umum bus di perkotaan, sehingga berkontribusi dalam mengurangi kemacetan, mengurangi polusi serta meningkatkan mobilitas. Ukuran efektivitas dari penerapan teknologi transportasi cerdas di sistem angkutan umum bus biasanya mencakup indikator tentang keselamatan, mobilitas, efisiensi, produktivitas, energi, lingkungan, dan kepuasan pelanggan.

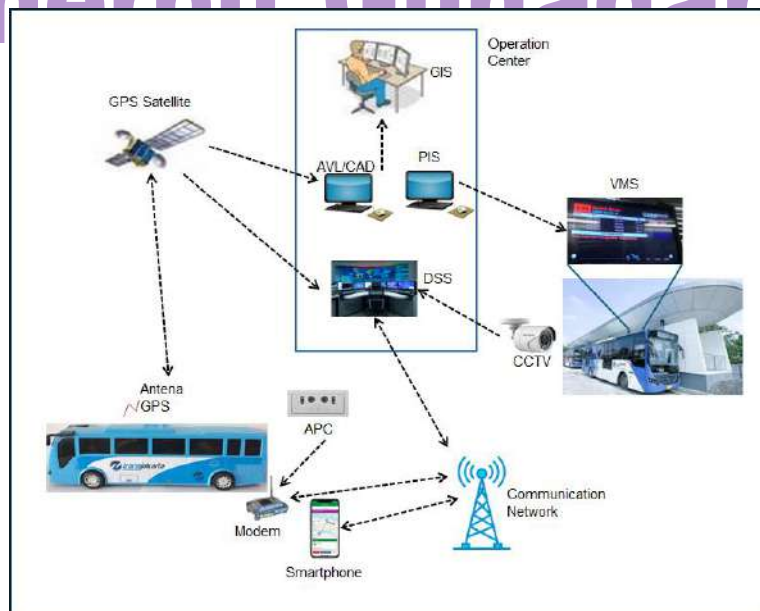
Secara teoritis, jika teknologi transportasi cerdas diterapkan pada sistem angkutan umum bus, maka ada beragam teknologi dan aplikasi yang dapat dikelompokkan dalam lima kategori utama berikut: 1) *Automatic Vehicle Locater System* (AVLS): AVLS memberikan informasi real-time tentang kendaraan kepada pengambil keputusan, seperti lokasi, kecepatan dan arah kendaraan, serta informasi tentang penundaan akibat gangguan, seperti kemacetan lalu lintas, kecelakaan, kondisi cuaca buruk, atau pekerjaan perbaikan jalan; 2) *Passenger Information System* (PIS): PIS memberikan informasi real-time kepada penumpang tentang kondisi pengoperasian jaringan, seperti jadwal serta waktu kedatangan dan keberangkatan kendaraan; 3) *Automatic Passenger Counter* (APC): APC menghitung penumpang di dalam kendaraan dan mereka yang menunggu kendaraan di halte/pemberhentian bus; 4) Sistem Informasi Geografis (GIS): GIS memungkinkan pemetaan secara instan yang menggambarkan kondisi dan posisi kendaraan lapangan; 5) Sistem Komunikasi: Sistem yang menghubungkan komponen sensor pencatat data di berbagai tempat ke data center dan komponen-komponen ITS lainnya, sedemikian sehingga data dan informasi dapat tertransmit secara cepat untuk diolah dan analisis dan juga untuk disampaikan pada stakeholder yang membutuhkannya; 6) Sistem Pemantau Pramudi: Sistem yang memantau secara real-time semua perilaku pramudi selama menjalankan kendaraannya. Dengan sistem ini perilaku pramudi bisa diawasi dan jika ditemukan agak menyimpang langsung dapat diingatkan ataupun diperingatkan; 7) Sistem Pemantau Kinerja Operasi: Sistem ini memanfaatkan perangkat AVLS untuk dapat memantau dan melaporkan kinerja operasi setiap bus, yaitu baik berkaitan dengan tingkat kepatuhan terhadap jadwal (*headway*), kepatuhan terhadap rute ataupun kinerja operasi lainnya; 8) Sistem Surveillance: sistem ini berfungsi untuk memantau kondisi di dalam bus sehingga dapat diketahui jika ada kejadian yang tidak diinginkan. Dengan sistem ini keamanan dan keselamatan penumpang dan awak dapat terus dipantau. Selain itu, jika ada insiden dapat langsung dilakukan mitigasi yang diperlukan; 9) *Command and Control Center*: merupakan pusat pemantauan dan kendali dari seluruh operasi layanan angkutan umum bus. Di lokasi ini para staf melakukan pemantauan secara real-time seluruh kegiatan operasi dari bus yang ada pada jaringan rute; 10) Sistem Tiket Otomatis: Sistem tiket otomatis



digunakan untuk mempermudah penumpang maupun operator dalam mengelola tarif yang dibayarkan penumpang. Bagi penumpang sistem ini mempermudah dalam pembayaran, dan bagi operator dengan sistem ini mempermudah dalam pengumpulan dana dari tiket; 11) *Decision Support System (DSS)*: DSS membantu pengambil keputusan dalam mengendalikan jaringan rute angkutan umum bus dengan menyarankan tindakan mitigasi dan/atau strategi pengendalian ketika terjadi kejadian tak terduga atau penyimpangan dari kinerja dan/atau perilaku yang diharapkan.

Beberapa teknologi memungkinkan mengambil data dari berbagai sistem sensor, untuk mengawasi dan mengendalikan jaringan rute bus yang dikelola perusahaan angkutan umum bus. Dalam hal ini teknologi yang digunakan pada dasarnya terdiri dari teknologi informasi dan telekomunikasi. Komponen sistem jaringan rute angkutan umum bus seperti: kendaraan bus, halte atau pemberhentian bus, pusat kendali operasi dan infrastruktur lainnya dilengkapi dengan teknologi terkini termasuk sistem pelacakan (seperti GPS atau navigasi radio), sinar inframerah, peralatan nirkabel dan infrastruktur komunikasi (jaringan GSM dan GPRS). Sistem komunikasi ini memungkinkan kendaraan, penumpang dan pengambil keputusan untuk berinteraksi dengan berbagai komponen ITS lainnya seperti yang diilustrasikan pada Gambar 3 dan beberapa sistem utama dari ITS untuk layanan angkutan umum bus dapat dilihat pada Tabel 5.

Perangkat teknologi ini memungkinkan pengambil keputusan untuk memantau kinerja jaringan dan membuat keputusan pengendalian yang sesuai untuk memastikan kondisi pengoperasian yang baik.



**Gambar 3.** Penerapan Teknologi IT pada Sistem Angkutan Umum Bus

**Tabel 5.** Sistem utama yang ada pada penerapan ITS di angkutan umum Bus



| Sistem                                                                                | Fungsi Pengiriman Proses                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | Perangkat                                                                                                                                                                                               |
|---------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <i>Automatic Vehicle Locator System (AVLS)</i>                                        | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Sistem Lokasi Kendaraan Otomatis (AVLS)</li> <li>- Sistem Penjadwalan dan Pengiriman Otomatis</li> <li>- Identifikasi Kendaraan</li> </ul>                                                                                                                                                                                  | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Pengontrol Terintegrasi Terintegrasi</li> <li>- Subsistem RFID</li> <li>- Konsol Manajemen Pengemudi</li> </ul>                                                |
| Sistem Informasi Penumpang                                                            | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Perangkat yang dipasang di kendaraan</li> <li>- Perangkat Tampilan Stasiun</li> <li>- Aplikasi Seluler / Web</li> </ul>                                                                                                                                                                                                     | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Tampilan LED/LCD</li> <li>- Perangkat Seluler</li> </ul>                                                                                                       |
| Sistem komunikasi                                                                     | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Kendaraan ke Pusat Kendali</li> <li>- Stasiun ke Pusat Kontrol</li> <li>- Depot ke Pusat Kontrol</li> <li>- Terminal ke Pusat Kontrol</li> </ul>                                                                                                                                                                            | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Jaringan radio swasta Seluler</li> <li>- Wifi</li> <li>- Inframerah</li> <li>- Teknologi yang sedang berkembang</li> <li>- Perangkat keras jaringan</li> </ul> |
| Pemantauan pengemudi                                                                  | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Pemantauan Kecepatan</li> <li>- Percepatan</li> <li>- Waktu Mengemudi</li> <li>- Pengereman</li> <li>- Efisiensi</li> </ul>                                                                                                                                                                                                 | <ul style="list-style-type: none"> <li>- GPS</li> <li>- Akselerometer</li> <li>- Meteran Bahan Bakar</li> </ul>                                                                                         |
| Sistem Pemantauan Kendaraan                                                           | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Pemantauan Kesehatan Kendaraan</li> <li>- Komunikasi ke Pusat Operasi</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                            | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Sistem kelistrikan kendaraan ditenagai melalui node multiplexing</li> <li>- Fitur keselamatan dan kinerja kendaraan</li> <li>- Mesin dan penuliran</li> </ul>  |
| Sistem Surveillance                                                                   | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Pengawasan Stasiun</li> <li>- Pengawasan Bus</li> <li>- Pengawasan Pusat Kontrol</li> <li>- Infrastruktur Pendukung Lainnya</li> </ul>                                                                                                                                                                                      | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Memperbaiki kamera video</li> <li>- Terpencilkamera video yang dikendalikan</li> <li>- Perekam Video digital</li> </ul>                                        |
| Sistem penjadwalan dan pengiriman Otomatis ( <i>Computerized Aided Dispatch/CAD</i> ) | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Perutean dinamis dan penjadwalan kendaraan</li> <li>- Penjadwalan distribusi waktu nyata</li> <li>- Penggunaan armada dan pengemudi yang efisien</li> <li>- Optimalisasi waktu nyata berdasarkan kendala operasional dan tujuan bisnis</li> <li>- Respons perencanaan waktu nyata</li> <li>- Peringatan lanjutan</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Sistem Penjadwalan dan Perencanaan</li> </ul>                                                                                                                  |

| Sistem                             | Fungsi Pengiriman Proses                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | Perangkat                                                                                                                                           |
|------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <i>Comand &amp; Control Center</i> | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Infrastruktur Hosting Aplikasi</li> <li>- Aplikasi software</li> <li>- Tulang Punggung Komunikasi</li> <li>- Infrastruktur Keamanan</li> <li>- Peralatan pemantauan layanan</li> <li>- Layanan Pemantauan dan Manajemen Jaringan</li> <li>- Pemeliharaan peralatan dan aplikasi</li> <li>- Pusat Kontak Pelanggan</li> <li>- Portal Web</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Data center</li> <li>- KomunikasiPeralatan</li> <li>- Penyimpanan</li> <li>- Terminal Pelacakan</li> </ul> |

Pentingnya kendaraan listrik dan mobilitas cerdas. Pemerintah Indonesia melalui Peraturan Presiden No. 55/2019 sedang gencar mendorong pengembangan infrastruktur kendaraan listrik dan stasiun pengisian daya. Hal ini dilakukan karena kendaraan listrik baterai memiliki banyak keunggulan dibandingkan kendaraan bermesin bakar internal atau *Internal Combustion Engine* (ICE), salah satunya dalam mengurangi polusi udara dan emisi GRK. Dibandingkan kendaraan ICE, kendaraan listrik menghasilkan polusi udara yang jauh lebih sedikit, bahkan mendekati nol. Hal ini menjadikannya solusi yang tepat untuk menanggulangi masalah pencemaran udara, terutama di kawasan perkotaan (Dewi & Krisdiyanto, 2023). Penggunaan kendaraan listrik juga dapat mendukung upaya penurunan emisi GRK Indonesia dari sektor transportasi. Hal ini sejalan dengan komitmen pemerintah untuk mencapai target emisi nol bersih pada tahun 2060. Perencanaan kota yang berkelanjutan untuk pejalan kaki, pesepeda, dan transportasi umum. Sebagai perbandingan Peningkatan jumlah kendaraan yang pesat di Bandung dan sekitarnya memerlukan solusi untuk mengurangi kemacetan. Penyediaan transportasi umum yang layak dan terintegrasi di kawasan Bandung Raya (Kota Bandung, Kota Cimahi, Kabupaten Bandung Barat, Kabupaten Bandung, dan Kabupaten Sumedang) menjadi solusi yang tepat. Solusi ini meliputi: 1) Tersedianya transportasi masal yang terintegrasi: bus besar, MRT, dan kereta api; 2) Terminal yang aman dan nyaman; 3) Jumlah armada yang memadai dengan kondisi fisik yang layak; 4) Halte atau tempat pemberhentian yang aman dan nyaman; 5) Tingkat pelayanan yang laik; dan 6) Aktivitas dan fasilitas ride sharing, car pooling, car free day, cycling, dan walking (Sutandi A.Caroline, 2015). Hasil masukan tersebut dapat diimplementasikan juga di Jakarta sebagai suatu kota yang memiliki perencanaan kota yang berkelanjutan.

### **Bagaimana menuju Jakarta yang smart dan manfaat solusi energi berkelanjutan: Ekonomi, Sosial, dan Lingkungan**

Gambaran Jakarta di masa depan dengan solusi energi dan transportasi berkelanjutan, dapat terlihat beberapa hal sebagai berikut , Pengurangan emisi gas rumah kaca dan polusi udara, Penggunaan mobil listrik menawarkan solusi ramah lingkungan dengan mengurangi polusi udara. Hal ini mendukung kebijakan *Paris Agreement* dan upaya penurunan emisi karbon di sektor transportasi. Industri baterai dan mobil listrik di Indonesia sedang gencar melakukan percepatan perkembangan. Hal ini menunjukkan komitmen Indonesia untuk beralih ke energi yang lebih bersih dan berkelanjutan(Sudjoko, 2021).

Peningkatan efisiensi energi dan penghematan biaya. Data nasional menunjukkan bahwa intensitas energi di Indonesia mengalami penurunan (membaik) antara tahun 2015-2017. Penurunan ini melampaui target tahunan Indonesia sebesar 1% hingga tahun 2025 (dengan tahun 2015 sebagai tahun dasar). Namun, tren ini berbalik arah pada tahun 2017-2019. Hal ini sebagian disebabkan oleh peningkatan intensitas energi di sektor transportasi, yang sebagian besar gagal mencapai target penurunannya (IESR, 2021). Oleh karena itu, Indonesia perlu memperkuat upaya efisiensi energi di semua sektor untuk mencapai targetnya. Pemanfaatan potensi penurunan intensitas energi di perkotaan menjadi kunci keberhasilan. Hal ini karena lebih dari separuh penduduk dan sebagian besar kegiatan ekonomi terpusat di perkotaan. 20 kota terbesar di Indonesia bahkan menghasilkan hampir separuh dari PDB nasional (Agency, 2016). Beberapa kota, seperti Jakarta, telah menunjukkan komitmennya dalam hal ini. Jakarta memiliki target untuk mengurangi konsumsi energi hingga 30% pada tahun 2030 dibandingkan dengan business-as-usual (BaU) (OECD, 2019).

Penciptaan lapangan kerja baru dan pertumbuhan ekonomi. Ekonomi Hijau adalah sistem ekonomi yang minim emisi karbon, hemat sumber daya alam, dan berkeadilan sosial. Ekonomi ini tidak hanya menjaga kelestarian lingkungan, tetapi juga membuka peluang kerja baru. Potensi lapangan kerja di Ekonomi Hijau sangat besar. Diperkirakan, sektor ini mampu menyediakan 15,3 juta hingga 19,4 juta pekerjaan bagi masyarakat Indonesia. Deputi Bidang Kependudukan dan Ketenagakerjaan Kementerian PPN/Bappenas, Maliki, memprediksi akan ada 15,3 juta pekerjaan baru di sektor Ekonomi Hijau hingga tahun 2045. Hal ini disampaikannya dalam acara *Indonesia's Green Jobs Conference (IGJC) 2023: Institutionalizing Green Jobs* secara daring pada tanggal 24 November 2023 (Waluyo, 2024).

Peningkatan mobilitas dan kualitas hidup warga. Pemerintah perlu merancang kebijakan dan menyediakan infrastruktur untuk mewujudkan kota masa depan yang layak huni dan bermasyarakat cerdas. Konsep *Smart City* dianggap sebagai solusi ideal karena menawarkan dampak positif bagi pemerintahan dan kehidupan sosial masyarakat di segala bidang. Digitalisasi dalam berbagai aspek kehidupan akan mempermudah pelayanan publik (Izzuddin, 2022).

## KESIMPULAN

Jakarta menuju masa depan yang berkelanjutan dengan mengadopsi sumber energi terbarukan, optimasi energi, dan teknologi canggih seperti *Smart Grid*. Pemerintah dan masyarakat perlu berkolaborasi untuk mewujudkan transisi energi yang ramah lingkungan. Energi terbarukan ramah lingkungan, efisiensi energi hemat biaya, dan *Smart Grid* untuk mengoptimalkan distribusi energi merupakan kunci masa depan berkelanjutan. Selain itu, transportasi masa depan di Jakarta dapat ramah lingkungan dengan sistem terintegrasi dan cerdas dimana peran AI juga terlibat didalamnya. Dengan memprioritaskan transportasi umum, mengintegrasikan teknologi canggih, dan menerapkan perencanaan kota berkelanjutan, diharapkan dapat mengurangi kemacetan, polusi, dan emisi gas rumah kaca,

meningkatkan kualitas hidup, dan mendukung pembangunan berkelanjutan. Tantangannya untuk merealisasikannya tentu besar, tapi manfaatnya sudah pasti signifikan. Ketiga aspek yang perlu diperhatikan yaitu 1) energi berkelanjutan, 2) transportasi ramah lingkungan, dan 3) Jakarta sebagai *Smart city*. Ketiganya sangat penting tidak hanya untuk masa depan Jakarta, tetapi juga untuk masa depan planet kita. Kita semua memiliki peran dalam menciptakan masa depan yang lebih baik. Mengingat pentingnya aspek-aspek ini, inisiatif atau tindakan apa yang dapat kita ambil sebagai individu untuk berkontribusi? Di antara aspek-aspek ini, mana yang menurut kita paling menantang untuk diwujudkan di Jakarta? Mengapa? Bagaimana kita bisa mengatasi tantangan tersebut? Selain ketiga aspek ini, apa lagi yang dianggap penting untuk mewujudkan masa depan Jakarta yang berkelanjutan?. Kedepan hal tersebut perlu difikirkan dan dituangkan dalam sebuah masukan yang positif untuk memperkaya perbaikan dan berkelanjutan Jakarta.

## REKOMENDASI KEBIJAKAN (*POLICY BRIEF*)

Dengan berubahnya dunia dengan cepat, dinamis dan Terus menerus, yang ditandai dengan kesenjangan sosial; migrasi; dan teknologi digital baru. Selanjutnya berdampak efek sosial, teknologi, ekonomi, dan politik, dan berikutnya terjadi transformasi masyarakat (saat ini transformasi masyarakat 5.0), pada akhirnya berakibat permintaan lebih banyak pada keterbukaan, partisipasi, tanggung jawab, akuntabilitas, dan transparansi pada untuk semua aktor di masyarakat. Menurut (Commission et al., 2019) Masa Depan Pemerintah 2030+" dari *EU Policy Lab* hal ini menciptakan sesuatu yang disebut *citizen's centric* (berpusat pada warga), yang membentuk perspektif yang berpusat pada warga negara (penduduk) tentang model pemerintahan baru, yang merupakan masa depan pemerintah dimana akan muncul beberapa model skenario yaitu: 1) demokrasi DIY (*Do it yourself*); 2). perusahaan swasta mendominasi pengambilan keputusan melalui penggunaan algoritma (*Private Algocracy*); 3) pemerintah yang super kolaboratif; dan 4) regulatokrasi yang berlebihan. Dari keempat skenario tersebut diharapkan akan melahirkan pendekatan baru tentang proses pengambilan kebijakan publik yang tanggap dan mudah beradaptasi terhadap inovasi dalam mengatasi kendala-kendala untuk meningkatkan efisiensi energi di sektor industri dan bangunan, diperlukan upayakan kebijakan dari berbagai pihak, antara lain: 1) Pemerintah DKI Jakarta perlu meningkatkan edukasi dan sosialisasi tentang manfaat efisiensi energi kepada industri, juga perlu menyediakan insentif dan kemudahan bagi industri yang menerapkan efisiensi energi; 2) hal tersebut akan berimplikasi agar Industri terkait perlu meningkatkan komitmennya untuk menerapkan efisiensi energi. Industri perlu melakukan kajian dan investasi untuk menerapkan teknologi hemat energi; 3) Dan akan berkonsekuensi agar Lembaga keuangan negara perlu menyediakan produk dan layanan keuangan yang sesuai dengan karakteristik proyek efisiensi energi. Dengan kerjasama dan komitmen dari semua pihak, diharapkan target efisiensi energi di sektor industri terkait dapat tercapai dan tentunya ini dapat mewujudkan kota DKI Jakarta sebagai kota yang lebih *smart* dan berkelanjutan dalam mendukung energi yang ramah lingkungan.

## DAFTAR PUSTAKA

- Adellea, A. J. (2022). Rangka Ketahanan Energi Nasional. *Indonesian State Law Review*, 05(1), 43–51.
- Afandi, J., & Wibawa, A. (2022). Implementasi Energi Terbarukan dan Urgensinya Dalam Lingkungan Hidup Society 5.0. *Jurnal Inovasi Teknologi Dan Edukasi Teknik*, 2(1), 44–49. <https://doi.org/10.17977/um068v2i12022p44-49>
- Agarwal, P. K., Gurjar, J., Agarwal, A. K., & Birla, R. (2015). Application of artificial intelligence for development of intelligent transport system in smart cities. *Journal of Traffic and Transportation Engineering*, 1(1), 20–30.
- Agency, I. E. (2016). *Energy Technology Perspectives 2016*. [https://doi.org/https://doi.org/https://doi.org/10.1787/energy\\_tech-2016-en](https://doi.org/https://doi.org/https://doi.org/10.1787/energy_tech-2016-en)
- Al-Huda, A., & Institute, P. (2023). Transisi Energi Di Indonesia: Overview & Challenges. *Buletin Pertamina Energy Institute*, 9(2), 13.
- Commission, E., Centre, J. R., Rudkin, J., Kimbell, L., Stoermer, E., Scapolo, F., & Vesnic-Alujevic, L. (2019). *The future of government 2030+ – A citizen centric perspective on new government models*. Publications Office. <https://doi.org/doi/10.2760/145751>
- Dewi, K., & Krisdiyanto, A. (2023). Pengembangan Sistem Transportasi Masa Depan: Mobilitas Berkelanjutan dan Otonom di Jawa Barat. *Jurnal Multidisiplin West Science*, 2, 750–760. <https://doi.org/10.58812/jmws.v2i09.626>
- Hayyu, S., Hendro, R., & Koestoer, T. (2022). Mengimajinasikan Kembali Jakarta Setelah Relokasi Ibu Kota Dengan Solusi Berbasis Alam: Sebuah Tinjauan Artikel. *Jurnal Inovasi Aparatur*, 4(1), 387–396.
- IESR. (2021). *Indonesia Energy Transition Outlook 2021- Tracking Progress of Energy Transition in Indonesia*. <https://iesr.or.id/pustaka/indonesia-energy-transition-outlook-2021>
- Iyer, L. S. (2021). AI enabled applications towards intelligent transportation. *Transportation Engineering*, 5, 100083. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.treng.2021.100083>
- Izzuddin, F. N. (2022). Konsep Smart City Dalam Pembangunan Berkelanjutan. *Citizen: Jurnal Ilmiah Multidisiplin Indonesia*, 2(3), 376–382. <https://doi.org/10.53866/jimi.v2i3.96>
- Kalpikajati, S., & Hermawan, S. (2022). Hambatan Penerapan Kebijakan Energi Terbarukan di Indonesia. *Batulis Civil Law Review*, 3, 187–207. <https://doi.org/10.47268/ballrev.v3i2.1012>
- Lubis, A. (2007). Energi Terbarukan Dalam Pembangunan Berkelanjutan. *Teknologi Lingkungan*, 8(2), 155–162.
- OECD. (2019). *OECD Green Growth Policy Review of Indonesia 2019*. <https://doi.org/https://doi.org/https://doi.org/10.1787/1eee39bc-en>
- PLN, B. R. I. – P. &. (2020). *Percepatan Transisi Energi di Masyarakat*.
- Pramudhita, A., & Mawangi, P. (2021). Smart Grid Untuk Efisiensi Konsumsi Listrik Pada Proses Produksi Di Industri Manufaktur. *MATICS*, 13, 7–12. <https://doi.org/10.18860/mat.v13i1.11566>
- Rahma Wardhana, A., & Wening Hapsari Marifatullah. (2020). Transisi Indonesia Menuju Energi Terbarukan. *Jurnal Tashwirul Afkar*, 38(2). <http://tashwirulafkar.net/index.php/afkar/index>

- Riyanto, A., Maheswara, A., Zulianty, R., Alegra, V. M., & Muhammad, A. N. (2023). Tanggung Jawab Pemerintah dalam Penyelesaian Masalah Polusi Udara di DKI Jakarta. *Jurnal Pendidikan Tambusai*, 7(3), 27890–27896. <https://doi.org/10.31004/jptam.v7i3.11232>
- Sinaga, D. H. (2021). Pemanfaatan Energi Terbarukan Dengan Menerapkan Smart Grid Sebagai Jaringan Listrik Masa Depan. *Zetroem*, 3(1), 11–17. <https://doi.org/10.1234/ztr.v3i1>
- Sitorus, A. M. H. (2022). Sistem Transportasi Terintegrasi di DKI Jakarta: Analisis Transformasi Berkeadilan Sosial. *Jurnal Sosiologi Andalas*, 8, 31–41. <https://doi.org/10.25077/jsa.8.1.31-41.2022>
- Strategies, V. (2024). *Sumber Utama Polusi Udara di DKI Jakarta*. [https://www.vitalstrategies.org/wp-content/uploads/Sumber-Utama-Polusi-Udara-di-DKI-Jakarta\\_Policy-Brief.pdf](https://www.vitalstrategies.org/wp-content/uploads/Sumber-Utama-Polusi-Udara-di-DKI-Jakarta_Policy-Brief.pdf)
- Sudjoko, C. (2021). Strategi Pemanfaatan Kendaraan Listrik Berkelanjutan Sebagai Solusi Untuk Mengurangi Emisi Karbon. *Jurnal Paradigma: Jurnal Multidisipliner Mahasiswa Pascasarjana Indonesia*, 2(2), 54–68.
- Sutandi A.Caroline. (2015). Pentingnya Transportasi Umum Untuk Kepentingan Publik. *Jurnal Administrasi Publik*, 12(1), 19–34. [https://www.google.com/search?q=sustainable+city+planning&tbm=isch&tbo=u&source=univ&sa=X&ei=2l\\_OUoiNJ4Pok](https://www.google.com/search?q=sustainable+city+planning&tbm=isch&tbo=u&source=univ&sa=X&ei=2l_OUoiNJ4Pok)
- Suyuti, R. (2012). Implementasi "Intelligent Transportation System (Its)" Untuk Mengatasi Kemacetan Lalu Lintas Di Dki Jakarta. *Konstruksia*, 3, 13–21.
- Waluyo, D. (2024). *Ekonomi Hijau Buka 15,3 Juta Lapangan Kerja Baru*. Indonesia.Go.Id. <https://indonesia.go.id/kategori/editorial/7877/ekonomi-hijau-buka-15-3-juta-lapangan-kerja-baru?lang=1>
- Wijaya, M. E. (2019). Efisiensi Energi Untuk Meningkatkan Daya Saing Industri Nasional. In *Indonesian Parliamentary Center*. <https://ipc.or.id/>





## ENERGI BARU, KOTA BARU: TRANSFORMASI MENUJU SMART CITY JAKARTA

**Dian Samodrawati<sup>1\*</sup>, Agus Kiswantono<sup>2</sup>, Saidah<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Jayabaya, Jakarta, Indonesia

<sup>2,3</sup>Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Bhayangkara Surabaya, Jawa Timur, Indonesia

\*Penulis Koresponden, e-mail: [kiswantono@ubhara.ac.id](mailto:kiswantono@ubhara.ac.id)

### ABSTRAK

Pembangunan Jakarta sebagai smart city menuntut strategi holistik yang mencakup inovasi energi dan kecerdasan buatan. Bab ini merinci peran penting energi terbarukan dan kecerdasan buatan dalam mengubah Jakarta menjadi kota yang lebih efisien, berkelanjutan, dan terkoneksi. Evaluasi kondisi terkini smart city global dan kemajuan terkini dalam teknologi energi terbarukan menjadi titik awal diskusi. Infrastruktur energi terbarukan, seperti tenaga surya dan angin, mendapatkan perhatian khusus sebagai solusi untuk mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil. Kombinasi inovasi ini diharapkan tidak hanya memperbaiki lingkungan, tetapi juga menciptakan sumber daya energi yang mandiri dan berkelanjutan bagi Jakarta. Selain itu, penerapan kecerdasan buatan dalam manajemen kota diharapkan dapat meningkatkan efisiensi layanan kota. Dengan menggabungkan algoritma prediktif, machine learning, dan Internet of Things (IoT), Jakarta dapat mengoptimalkan transportasi, pengelolaan sampah, dan berbagai aspek kehidupan kota lainnya. Pentingnya infrastruktur digital, pengelolaan data yang bijaksana, dan keterlibatan masyarakat menjadi sorotan utama dalam merencanakan transformasi ini. Kebijakan yang mendukung pengembangan infrastruktur digital, regulasi privasi yang ketat, dan kampanye kesadaran masyarakat dianggap krusial untuk keberhasilan proyek ini. Dengan merancang kebijakan yang cermat dan melibatkan semua pemangku kepentingan, Jakarta dapat memimpin sebagai contoh dalam pembangunan smart city yang berkelanjutan. Sebuah masa depan cerdas dan terhubung sedang menanti, dan melalui inovasi energi dan kecerdasan buatan, Jakarta memiliki potensi untuk menjadi pionir dalam menciptakan kota modern yang adaptif dan inklusif.

Kata Kunci: Smart City, Inovasi Energi, Transformasi Kota, Kecerdasan Buatan

### PENDAHULUAN

Dalam era transformasi digital yang berkembang pesat, konsep smart city telah menjadi sorotan utama dalam upaya meningkatkan kualitas hidup penduduk perkotaan sambil menghadapi tantangan lingkungan yang semakin kompleks (Agus K, Riostantieka, Beny Harjadi, Hasti Afianti, Ibnu Budiman, Hanan Nugroho, Afida Khofsoh, Inggit Kresna, 2023). Jakarta, sebagai salah satu pusat metropolitan terbesar di Asia Tenggara, tidak terkecuali dalam upaya untuk memanfaatkan teknologi terbaru guna meningkatkan efisiensi, keberlanjutan, dan kualitas hidup warganya. Dalam konteks ini, energi terbarukan dan kecerdasan buatan (AI) telah muncul sebagai dua pilar utama dalam perjalanan menuju transformasi Jakarta menjadi smart city yang adaptif dan inklusif. Energi terbarukan memberikan solusi terhadap tantangan ketergantungan pada bahan bakar fosil sambil mengurangi dampak negatif terhadap lingkungan (Purwahyudi et al., 2017). Sementara itu, kecerdasan buatan memungkinkan pengelolaan kota yang lebih efisien dan responsif melalui penggunaan data yang cerdas dan algoritma prediktif. Dalam tulisan ini, kami akan

mengeksplorasi peran penting energi terbarukan dan kecerdasan buatan dalam transformasi Jakarta menjadi smart city yang berkelanjutan dan terkoneksi (IoT, n.d.). Kami akan menyajikan evaluasi kondisi terkini smart city global serta kemajuan terbaru dalam teknologi energi terbarukan sebagai landasan bagi diskusi ini (Nasional et al., 2021; Transfer et al., n.d.). Selain itu, kami juga akan menguraikan berbagai inisiatif dan kebijakan yang diperlukan untuk mendukung implementasi energi terbarukan dan kecerdasan buatan di tingkat kota. Energi terbarukan, seperti tenaga surya dan angin, telah menjadi fokus utama dalam upaya mengurangi emisi karbon dan meningkatkan ketahanan energi di Jakarta (Bangun et al., 2023; Thingspeak, n.d.). Melalui investasi dalam infrastruktur energi terbarukan, Jakarta berpotensi untuk menjadi lebih mandiri secara energi dan mengurangi ketergantungan pada sumber daya yang terbatas dan berpolusi. Selain itu, kecerdasan buatan telah membuka pintu untuk pengelolaan kota yang lebih efisien dan responsif (Ryko & Kiswanto, 2021; Tech, 2023). Dengan menggabungkan algoritma prediktif, machine learning, dan Internet of Things (IoT), Jakarta dapat mengoptimalkan transportasi, pengelolaan sampah, dan berbagai aspek kehidupan kota lainnya (Hermanto & Kiswanton, 2023; Suhu et al., 2023). Namun, untuk mewujudkan potensi penuh dari teknologi ini, diperlukan kebijakan yang mendukung pengembangan infrastruktur digital, regulasi privasi yang ketat, dan kampanye kesadaran masyarakat. Dengan demikian, tulisan ini bukan hanya menjadi kajian konseptual, tetapi juga merupakan panduan praktis bagi para pemangku kepentingan yang terlibat dalam pembangunan Jakarta sebagai smart city (Kiswanton, 2024; Hermanto, 2024). Melalui kerjasama antara pemerintah, sektor swasta, akademisi, dan masyarakat, kami percaya bahwa Jakarta memiliki potensi besar untuk menjadi pionir dalam menciptakan lingkungan perkotaan yang cerdas, efisien, dan berkelanjutan.

## Penerbit Gunadarma

### STATE OF THE ART

Dalam menggambarkan kondisi terkini dari konsep smart city, penting untuk memahami perkembangan teknologi dan praktik terbaik yang telah diterapkan di berbagai belahan dunia. Smart city telah menjadi pusat perhatian global sebagai solusi untuk meningkatkan kualitas hidup penduduk perkotaan, memperbaiki efisiensi infrastruktur, dan mengurangi dampak lingkungan. Di Eropa, kota-kota seperti Amsterdam dan Copenhagen telah menjadi contoh sukses dalam menerapkan konsep smart city. Mereka menggunakan teknologi untuk mengintegrasikan transportasi publik, memonitor kualitas udara, dan mengoptimalkan penggunaan energi (Tech, 2023). Sementara itu, di Asia, kota-kota seperti Singapura dan Seoul telah menjadi percontohan dalam penerapan sistem transportasi cerdas dan penggunaan teknologi untuk meningkatkan pelayanan publik. Teknologi energi terbarukan juga telah menjadi bagian integral dari banyak inisiatif smart city (Permana, n.d.). Negara-negara maju seperti Jerman dan Denmark telah berhasil mengintegrasikan energi terbarukan ke dalam infrastruktur kota mereka, dengan penggunaan yang luas dari panel surya, turbin angin, dan sistem manajemen energi yang cerdas (Engineering et al., 2022). Sementara itu, kecerdasan buatan telah mengubah cara kota-kota mengelola infrastruktur dan layanan publik. Dengan penggunaan algoritma prediktif dan analisis data yang mendalam, kota dapat mengoptimalkan penggunaan sumber daya, mengurangi kemacetan lalu lintas, dan merespons kebutuhan masyarakat dengan lebih efisien (Faza et al., 2022). Namun, meskipun banyak kemajuan telah dicapai dalam mewujudkan konsep smart city, masih ada tantangan yang perlu diatasi. Salah satunya adalah kesenjangan teknologi antara kota-kota maju dan berkembang. Banyak kota di negara-negara berkembang masih menghadapi tantangan dalam mengakses teknologi terbaru dan mengimplementasikannya dengan efektif. Selain itu, masalah privasi dan keamanan data

juga menjadi perhatian utama dalam pengembangan smart city (Purwahyudi et al., 2017). Dengan pengumpulan data yang semakin luas, penting untuk memastikan bahwa informasi pribadi warga dilindungi dan digunakan dengan bijaksana. Dengan memahami kondisi terkini dari konsep smart city, Jakarta dapat belajar dari pengalaman kota-kota lain dan merencanakan implementasi yang efektif dari teknologi energi terbarukan dan kecerdasan buatan. Dengan kolaborasi antara pemerintah, sektor swasta, dan masyarakat, Jakarta memiliki potensi untuk menjadi pemimpin dalam transformasi menuju kota yang cerdas, berkelanjutan, dan terkoneksi.

Pembangunan smart city telah menjadi fokus utama bagi banyak kota di seluruh dunia, dengan upaya untuk memanfaatkan teknologi terkini guna meningkatkan efisiensi, keberlanjutan, dan kualitas hidup penduduk perkotaan. Di tengah perubahan iklim global dan meningkatnya urbanisasi, kota-kota mencari solusi inovatif untuk mengatasi tantangan tersebut. Salah satu aspek terpenting dari state of the art dalam pembangunan smart city adalah implementasi teknologi Internet of Things (IoT) (Transfer et al., n.d.). IoT memungkinkan berbagai perangkat dan sensor terhubung secara langsung ke internet, memungkinkan pengumpulan data secara real-time tentang berbagai aspek kehidupan kota, mulai dari transportasi hingga pengelolaan limbah. Dengan menggunakan data yang terkumpul, kota dapat membuat keputusan yang lebih cerdas dan responsif. Selain itu, kecerdasan buatan (AI) juga menjadi komponen kunci dalam pembangunan smart city. AI memungkinkan pengolahan besar-besaran data dengan cepat dan efisien, serta memungkinkan pembuatan prediksi yang akurat tentang pola-pola perilaku masyarakat dan tren perkotaan. Dengan menggunakan AI, kota dapat mengoptimalkan berbagai sistem, seperti transportasi umum, penjadwalan rute sampah, dan penggunaan energi. Dalam konteks energi, energi terbarukan menjadi pusat perhatian dalam pembangunan smart city. Teknologi tenaga surya, angin, dan hidrolik telah berkembang pesat, memungkinkan kota-kota untuk mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil dan mengurangi emisi karbon. Dalam beberapa kasus, kota-kota bahkan telah mencapai tingkat otonomi energi, menghasilkan energi yang cukup dari sumber-sumber terbarukan untuk memenuhi kebutuhan mereka sendiri. Di samping teknologi, partisipasi masyarakat juga menjadi bagian penting dari pembangunan smart city. Melalui berbagai platform partisipatif dan aplikasi kota pintar, penduduk dapat terlibat langsung dalam proses pembangunan kota, memberikan umpan balik, dan berkolaborasi dengan pemerintah dalam mengidentifikasi dan memecahkan masalah perkotaan. Secara keseluruhan, state of the art dalam pembangunan smart city melibatkan kombinasi teknologi terbaru, kebijakan yang progresif, dan partisipasi aktif masyarakat. Dengan mengintegrasikan semua ini, kota-kota dapat mencapai tujuan mereka untuk menjadi lebih efisien, berkelanjutan, dan inklusif bagi semua penduduknya.



**Gambar 1.** Alur Kebijakan Ketersediaan Energi  
Sumber: Dewan Energi Nasional

Dalam menjalani perjalanan menuju transformasi menjadi smart city, Jakarta tidak dapat mengabaikan kemajuan teknologi terbaru yang telah mempengaruhi praktik-praktik global dalam konteks perkotaan pintar. Kondisi terkini smart city global menjadi titik awal yang penting dalam mengevaluasi langkah-langkah yang dapat diambil oleh Jakarta untuk mengikuti jejak kota-kota lain yang telah berhasil menerapkan konsep ini. Salah satu tren utama dalam pengembangan smart city adalah integrasi teknologi informasi dan komunikasi (TIK) yang luas dalam berbagai aspek kehidupan perkotaan. Kota-kota seperti Singapura, Seoul, dan Barcelona telah sukses dalam mengimplementasikan solusi-solusi inovatif berbasis TIK untuk meningkatkan efisiensi layanan publik, mengelola transportasi, dan mengoptimalkan penggunaan energi. Selain itu, perkembangan dalam teknologi energi terbarukan juga telah menjadi fokus utama dalam upaya menciptakan kota-kota yang berkelanjutan. Negara-negara maju seperti Jerman, Denmark, dan Norwegia telah menjadi teladan dalam memanfaatkan sumber energi terbarukan seperti tenaga surya, angin, dan hidro untuk memenuhi kebutuhan energi perkotaan mereka. Terkait dengan kecerdasan buatan, perkembangan dalam bidang ini telah memungkinkan pengembangan sistem yang dapat memproses dan menganalisis data secara efisien untuk mendukung pengambilan keputusan yang lebih baik di tingkat kota. Teknologi ini telah diterapkan dalam berbagai konteks, mulai dari pengelolaan lalu lintas dan transportasi hingga pengelolaan limbah dan infrastruktur perkotaan. Namun, penting untuk diingat bahwa setiap kota memiliki konteks dan tantangan unik yang perlu diperhatikan dalam pengembangan solusi smart city. Oleh karena itu, Jakarta perlu melakukan evaluasi mendalam terhadap kebutuhan dan potensi lokalnya serta mengadaptasi solusi-solusi yang telah terbukti berhasil di kota-kota lain sesuai dengan konteksnya sendiri. Dengan demikian, Jakarta memiliki kesempatan untuk belajar dari pengalaman kota-kota lain dalam menerapkan teknologi terbaru dalam upaya menuju smart city yang efisien, berkelanjutan, dan terkoneksi. Melalui kolaborasi dengan berbagai pemangku kepentingan dan pendekatan yang holistik, Jakarta dapat mengambil langkah-langkah menuju masa depan yang cerdas dan inklusif.

## PEMBAHASAN

Pembangunan Jakarta sebagai smart city menuntut diskusi yang mendalam tentang peran

energi terbarukan dan kecerdasan buatan dalam mewujudkan tujuan tersebut. Integrasi kedua konsep ini memiliki potensi besar untuk meningkatkan efisiensi, keberlanjutan, dan konektivitas kota Jakarta. Dalam pembahasan ini, kita akan mengeksplorasi secara lebih mendalam bagaimana integrasi energi terbarukan dan kecerdasan buatan dapat memberikan dampak positif yang signifikan.

## **1. Peran Energi Terbarukan dalam Transformasi Jakarta**

### **• Potensi penggunaan energi terbarukan di Jakarta.**

Energi terbarukan memainkan peran krusial dalam transformasi Jakarta menjadi smart city yang berkelanjutan dan efisien. Jakarta, sebagai salah satu kota terpadat di dunia, memiliki potensi besar untuk memanfaatkan sumber energi terbarukan yang tersedia secara melimpah di sekitarnya. Salah satu sumber energi terbarukan yang paling menonjol di Jakarta adalah energi surya. Dengan insolasi matahari yang melimpah sepanjang tahun, Jakarta memiliki potensi besar untuk memanfaatkan energi surya sebagai sumber energi utama. Instalasi panel surya pada atap bangunan komersial dan rumah tangga dapat menghasilkan listrik yang cukup untuk memenuhi sebagian besar kebutuhan energi kota. Selain itu, Jakarta juga memiliki potensi untuk mengembangkan proyek pembangkit listrik tenaga surya skala besar di lahan-lahan terbuka di sekitarnya. Selain energi surya, Jakarta juga memiliki potensi untuk memanfaatkan sumber energi terbarukan lainnya, seperti energi angin dan hidro. Meskipun tidak sebanyak energi surya, energi angin dan hidro masih memiliki potensi untuk memberikan kontribusi yang signifikan terhadap pasokan energi kota. Pembangunan turbin angin di pantai utara Jakarta dan pemanfaatan potensi energi hidro dari sungai-sungai besar di sekitar kota adalah beberapa contoh potensi penggunaan energi terbarukan yang bisa dieksplorasi lebih lanjut. Dengan potensi yang begitu besar, pemerintah dan pemangku kepentingan lainnya perlu bekerja sama untuk memaksimalkan pemanfaatan energi terbarukan di Jakarta. Ini termasuk mengidentifikasi lokasi yang tepat untuk instalasi infrastruktur energi terbarukan, menyusun kebijakan yang mendukung, dan memberikan insentif bagi pengembangan proyek energi terbarukan. Dengan langkah-langkah ini, Jakarta dapat mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil, mengurangi emisi gas rumah kaca, dan menciptakan lingkungan yang lebih bersih dan lebih sehat bagi warganya.

### **• Tantangan dan peluang dalam adopsi energi terbarukan.**

Adopsi energi terbarukan di Jakarta menghadapi tantangan yang signifikan, termasuk investasi awal yang tinggi, ketidakpastian pengembalian investasi, dan keterbatasan teknologi dan infrastruktur. Namun, peluang untuk mengatasi tantangan tersebut juga ada. Penurunan biaya teknologi energi terbarukan, dukungan dari regulasi yang mendukung, inovasi finansial, dan peningkatan kesadaran publik tentang kepentingan energi terbarukan adalah beberapa faktor yang dapat mendorong pertumbuhan adopsi energi terbarukan di Jakarta. Dengan memanfaatkan peluang ini, Jakarta dapat menciptakan lingkungan yang lebih berkelanjutan dan ramah lingkungan, memberikan manfaat jangka panjang bagi masyarakat dan lingkungan kota.



- **Infrastruktur dan kebijakan yang diperlukan untuk mendukung energi terbarukan.**  
Infrastruktur yang memadai dan kebijakan yang mendukung memiliki peran sentral dalam mendukung adopsi energi terbarukan di Jakarta. Diperlukan investasi dalam infrastruktur untuk instalasi panel surya, pembangunan turbin angin, dan pengembangan jaringan listrik yang dapat mengintegrasikan energi terbarukan secara efisien. Selain itu, kebijakan yang memberikan insentif, seperti pembebasan pajak, subsidi, dan target energi terbarukan yang ambisius, akan mendorong pertumbuhan sektor ini. Kolaborasi antara pemerintah, sektor swasta, dan lembaga akademis juga penting untuk mengembangkan solusi energi terbarukan yang inovatif dan mempercepat transformasi menuju lingkungan yang lebih berkelanjutan dan efisien di Jakarta.
- **Energi Baru Terbarukan: Energi Surya**
  - a) **Teknologi Fotovoltaik (PV):**
    - **Sel Surya Generasi Ketiga:** Meliputi perovskite solar cells, quantum dot solar cells, dan organic photovoltaics (OPVs) yang memiliki potensi efisiensi tinggi dan biaya produksi rendah.
    - **BIPV (Building Integrated Photovoltaics):** Pengintegrasian panel surya langsung ke dalam material bangunan seperti atap, jendela, dan fasad bangunan.
  - b) **Infrastruktur Pendukung Energi Surya:**
    - **Sistem Penyimpanan Energi:** Pengembangan baterai dengan kapasitas besar dan umur panjang seperti lithium-ion, redox flow batteries, dan solid-state batteries.
    - **Microgrid dan Smart Grid:** Integrasi sistem energi surya ke dalam jaringan listrik lokal yang cerdas untuk meningkatkan efisiensi dan stabilitas distribusi energi.
    - **Teknologi Grid-Tie Inverter:** Inverter yang mampu mengkonversi energi surya menjadi listrik yang dapat digunakan oleh jaringan listrik umum.
  - c) **Pemanfaatan di Sektor Tertentu:**
    - **Agrioltaics:** Kombinasi antara panel surya dengan lahan pertanian untuk meningkatkan efisiensi penggunaan lahan.
    - **Solar Desalination Plants:** Pemanfaatan energi surya untuk proses desalinasi air laut menjadi air tawar.
    - **Solar-Powered Transportation:** Kendaraan listrik yang menggunakan energi surya sebagai sumber daya utama atau tambahan.





**Gambar 2.** Transmisi dan Distribusi Lisrik dengan Panel Surya

## 2. Peran Kecerdasan Buatan dalam Meningkatkan Efisiensi Kota

- **Aplikasi kecerdasan buatan dalam pengelolaan transportasi.**

Penerapan kecerdasan buatan (AI) dalam pengelolaan transportasi Jakarta menjadi kunci dalam meningkatkan efisiensi sistem transportasi kota. Dengan memanfaatkan data lalu lintas real-time dan algoritma prediktif, sistem AI dapat memberikan rekomendasi rute yang optimal kepada pengemudi, mengurangi kemacetan, waktu tempuh, dan emisi gas buang. Selain itu, AI juga memungkinkan pengelolaan armada transportasi publik yang lebih efisien melalui prediksi permintaan penumpang dan pengaturan jadwal yang tepat, serta meningkatkan pengaturan lampu lalu lintas secara dinamis untuk mengoptimalkan aliran lalu lintas.

Dengan demikian, integrasi AI dalam pengelolaan transportasi tidak hanya meningkatkan mobilitas penduduk, tetapi juga berkontribusi pada pembangunan kota yang lebih berkelanjutan dan ramah lingkungan.

- **Penerapan kecerdasan buatan dalam pengelolaan limbah dan lingkungan.**

Penerapan kecerdasan buatan (AI) dalam pengelolaan transportasi Jakarta menjadi kunci dalam meningkatkan efisiensi sistem transportasi kota. Dengan memanfaatkan data lalu lintas real-time dan algoritma prediktif, sistem AI dapat memberikan rekomendasi rute yang optimal kepada pengemudi, mengurangi kemacetan, waktu tempuh, dan emisi gas buang. Selain itu, AI juga memungkinkan pengelolaan armada transportasi publik yang lebih efisien melalui prediksi permintaan penumpang dan pengaturan jadwal yang tepat, serta meningkatkan pengaturan lampu lalu lintas secara dinamis untuk mengoptimalkan aliran lalu lintas. Dengan demikian, integrasi AI dalam pengelolaan transportasi tidak hanya meningkatkan mobilitas penduduk, tetapi juga berkontribusi pada pembangunan kota yang lebih berkelanjutan dan ramah lingkungan.

- **Perlindungan privasi dan keamanan data dalam implementasi kecerdasan buatan.**

Dalam mengimplementasikan kecerdasan buatan (AI) di Jakarta, perlindungan

privasi dan keamanan data menjadi aspek krusial yang harus diperhatikan secara serius. Penting untuk memastikan bahwa data yang dikumpulkan dan dianalisis tidak hanya dilindungi secara ketat dari akses yang tidak sah atau penyalahgunaan, tetapi juga untuk menjaga privasi individu dan hak-hak pengguna. Hal ini dapat dicapai melalui penerapan langkah-langkah keamanan data yang kuat, termasuk enkripsi data, pengaturan akses yang ketat, dan penggunaan teknologi blockchain untuk menjamin keamanan data. Selain itu, transparansi dalam penggunaan data dan algoritma AI, serta pendidikan masyarakat tentang pentingnya privasi dan keamanan data, juga diperlukan untuk memastikan bahwa implementasi kecerdasan buatan berjalan sesuai dengan prinsip-prinsip etika dan menjaga kepercayaan masyarakat.

### 3. Sinergi antara Energi Terbarukan dan Kecerdasan Buatan

- **Integrasi sistem kecerdasan buatan untuk mengoptimalkan penggunaan energi terbarukan.**

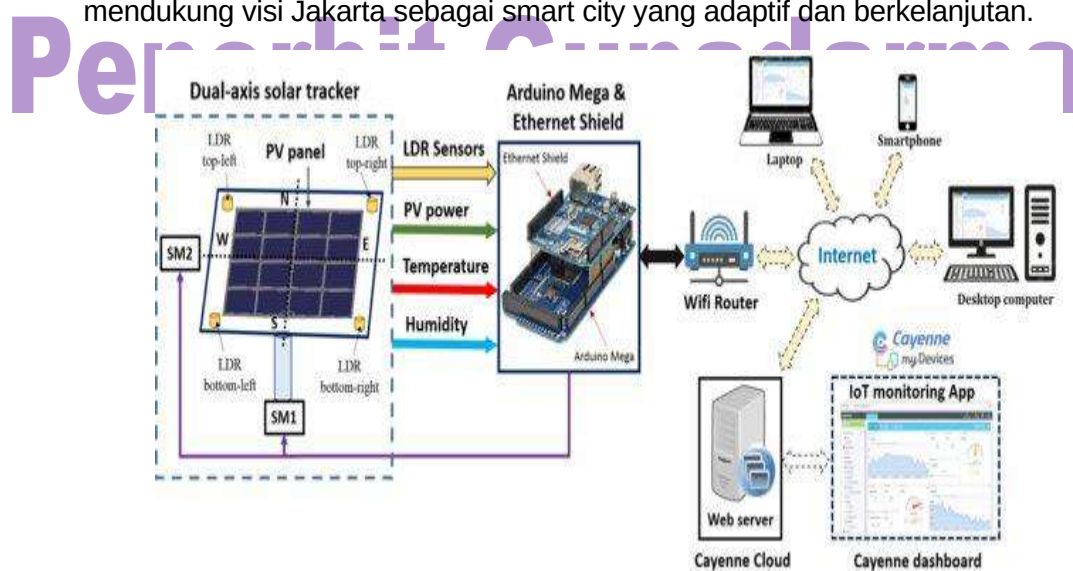
Integrasi Sistem Kecerdasan Buatan untuk Mengoptimalkan Penggunaan Energi Terbarukan. Sinergi antara energi terbarukan dan kecerdasan buatan (AI) menawarkan potensi besar dalam mengoptimalkan penggunaan energi terbarukan di Jakarta. Integrasi sistem kecerdasan buatan dapat memberikan pemahaman yang lebih baik tentang pola konsumsi energi dan kebutuhan energi yang berubah-ubah dari waktu ke waktu. Dengan memanfaatkan data sensor dan pemantauan yang terhubung, sistem kecerdasan buatan dapat menganalisis pola konsumsi energi di berbagai sektor, termasuk transportasi, industri, dan pemukiman.

Melalui analisis data yang canggih, sistem kecerdasan buatan dapat memprediksi permintaan energi di masa depan dan mengidentifikasi peluang untuk mengoptimalkan penggunaan energi terbarukan. Misalnya, dengan memanfaatkan algoritma prediktif, sistem kecerdasan buatan dapat mengatur penggunaan energi terbarukan, seperti energi surya dan angin, untuk mencocokkan dengan permintaan energi yang berfluktuasi. Hal ini memungkinkan Jakarta untuk mengurangi ketergantungan pada sumber energi konvensional yang tidak terbarukan dan mengoptimalkan penggunaan sumber energi terbarukan secara efisien. Selain itu, integrasi kecerdasan buatan juga dapat meningkatkan efisiensi operasional dari infrastruktur energi terbarukan itu sendiri. Sistem kecerdasan buatan dapat digunakan untuk memantau kinerja instalasi energi terbarukan secara real-time, mendeteksi gangguan atau kerusakan potensial, dan mengoptimalkan operasi untuk meningkatkan kinerja dan keandalan sistem secara keseluruhan. Dengan demikian, sinergi antara energi terbarukan dan kecerdasan buatan tidak hanya dapat meningkatkan penggunaan energi terbarukan, tetapi juga dapat meningkatkan efisiensi dan kinerja infrastruktur energi terbarukan di Jakarta. Dengan memanfaatkan potensi sinergi antara energi terbarukan dan kecerdasan buatan, Jakarta dapat menciptakan lingkungan yang lebih berkelanjutan, efisien, dan berdaya saing tinggi. Integrasi sistem kecerdasan buatan untuk mengoptimalkan penggunaan

energi terbarukan adalah langkah penting dalam mewujudkan visi Jakarta sebagai smart city yang adaptif dan inklusif, serta memberikan manfaat jangka panjang bagi kesejahteraan dan keberlanjutan kota.

- **Pemanfaatan algoritma prediktif untuk mengelola sumber energi terbarukan.**

Pemanfaatan algoritma prediktif dalam mengelola sumber energi terbarukan merupakan strategi kunci untuk meningkatkan efisiensi dan keandalan pasokan energi di Jakarta. Dengan memanfaatkan data historis tentang pola cuaca, permintaan energi, dan produksi energi terbarukan, algoritma prediktif dapat membuat perkiraan yang akurat tentang produksi energi terbarukan di masa depan. Dengan demikian, operator jaringan energi dapat merencanakan dan mengelola pasokan energi dengan lebih efisien, mengurangi risiko kekurangan energi atau kelebihan produksi yang tidak terpakai. Selain itu, dengan memprediksi fluktuasi dalam produksi energi terbarukan, algoritma prediktif juga memungkinkan pengoptimalan operasi jaringan, seperti mengatur penyimpanan energi atau mengaktifkan sumber energi cadangan, untuk menjaga kestabilan jaringan dan meminimalkan pemborosan energi. Dengan demikian, pemanfaatan algoritma prediktif tidak hanya meningkatkan efisiensi penggunaan energi terbarukan, tetapi juga meningkatkan keandalan dan ketersediaan pasokan energi secara keseluruhan, mendukung visi Jakarta sebagai smart city yang adaptif dan berkelanjutan.



**Gambar 3.** Monitoring Panel Surya dengan IoT

- **Tantangan dalam mencapai sinergi antara kedua konsep tersebut.**

Tantangan dalam mencapai sinergi antara energi terbarukan dan kecerdasan buatan adalah kompleks dan memerlukan pendekatan yang terkoordinasi serta solusi yang inovatif. Salah satu tantangan utama adalah integrasi infrastruktur dan teknologi yang berbeda dari kedua konsep tersebut. Energi terbarukan memerlukan infrastruktur fisik seperti panel surya dan turbin angin, sementara kecerdasan buatan membutuhkan sistem sensor, pengolahan data yang kuat, dan konektivitas yang andal. Selain itu,

ada juga tantangan dalam mengelola dan menganalisis volume data yang besar yang dihasilkan oleh kedua konsep tersebut. Memastikan keamanan data dan privasi dalam penggunaan kecerdasan buatan juga menjadi tantangan penting, terutama ketika data yang digunakan melibatkan informasi sensitif tentang sumber energi. Selain itu, ada juga tantangan regulasi dan kebijakan yang harus diatasi, seperti koordinasi antara berbagai badan pemerintah dan pemangku kepentingan untuk mengembangkan kerangka kerja yang sesuai. Mengatasi tantangan-tantangan ini memerlukan kolaborasi antar disiplin ilmu dan pemangku kepentingan, serta inovasi dalam teknologi dan kebijakan untuk menciptakan lingkungan yang mendukung sinergi antara energi terbarukan dan kecerdasan buatan di Jakarta.

#### 4. Tantangan dalam Implementasi

- **Infrastruktur dan teknologi yang kurang memadai.**

Salah satu tantangan utama dalam implementasi integrasi antara energi terbarukan dan kecerdasan buatan di Jakarta adalah kurangnya infrastruktur dan teknologi yang memadai. Infrastruktur yang kurang berkembang dapat membatasi kemampuan untuk mengumpulkan data yang diperlukan untuk mendukung sistem kecerdasan buatan. Misalnya, kurangnya sensor dan sistem monitoring dapat menghambat kemampuan untuk mengumpulkan data yang akurat tentang produksi energi terbarukan dan pola konsumsi energi. Selain itu, kurangnya konektivitas dan infrastruktur komunikasi yang kuat juga dapat menjadi hambatan dalam mentransmisikan data secara efisien dari sumber energi terbarukan ke sistem kecerdasan buatan. Tanpa infrastruktur yang memadai, implementasi solusi kecerdasan buatan yang efektif menjadi sulit dilakukan. Selanjutnya, kurangnya investasi dalam teknologi kecerdasan buatan dan sumber energi terbarukan juga menjadi tantangan. Pembangunan dan implementasi teknologi kecerdasan buatan memerlukan investasi yang signifikan dalam pengembangan perangkat lunak, perangkat keras, dan keahlian teknis yang diperlukan untuk mengoperasikan sistem tersebut. Untuk mengatasi tantangan ini, diperlukan komitmen yang kuat dari pemerintah dan sektor swasta untuk meningkatkan investasi dalam infrastruktur dan teknologi yang mendukung integrasi antara energi terbarukan dan kecerdasan buatan. Hal ini termasuk pembangunan infrastruktur sensor dan monitoring, investasi dalam jaringan komunikasi yang kuat, dan pengembangan teknologi kecerdasan buatan yang sesuai dengan kebutuhan kota Jakarta. Selain itu, kerjasama antara pemerintah, lembaga riset, dan sektor swasta juga penting untuk mempercepat inovasi dalam teknologi dan memastikan pengembangan solusi yang efektif dan terjangkau. Dengan mengatasi tantangan ini, Jakarta dapat menciptakan lingkungan yang mendukung bagi integrasi antara energi terbarukan dan kecerdasan buatan, mendorong pertumbuhan ekonomi yang berkelanjutan, dan meningkatkan kualitas hidup bagi warganya.

- **Regulasi yang tidak mendukung.**

Regulasi yang tidak mendukung dapat menjadi hambatan utama dalam implementasi

integrasi antara energi terbarukan dan kecerdasan buatan di Jakarta. Ketidakjelasan dalam regulasi, konflik antar tingkat regulasi, dan ketidakkonsistenan antara regulasi lokal, nasional, dan internasional dapat menghambat kemajuan dalam pengembangan solusi inovatif dalam sektor energi dan kecerdasan buatan. Untuk mengatasi tantangan ini, diperlukan upaya bersama antara pemerintah, lembaga legislatif, dan pemangku kepentingan terkait untuk menyempurnakan kerangka kerja regulasi yang memfasilitasi adopsi teknologi terbaru, memberikan kepastian hukum bagi investor, dan mendorong pertumbuhan sektor energi terbarukan dan kecerdasan buatan secara berkelanjutan.

- **Ketidakpastian teknologi dan ketersediaan data.**

Ketidakpastian seputar teknologi dan ketersediaan data merupakan tantangan krusial dalam implementasi integrasi antara energi terbarukan dan kecerdasan buatan di Jakarta. Perkembangan teknologi yang cepat menghasilkan beragam pilihan yang kompleks, sementara ketersediaan data yang akurat dan luas menjadi prasyarat penting untuk analisis yang tepat. Untuk mengatasi tantangan ini, perlu dilakukan investasi yang signifikan dalam riset dan pengembangan teknologi, serta langkah-langkah konkret untuk meningkatkan ketersediaan dan kualitas data yang dibutuhkan. Dengan demikian, Jakarta dapat memperkuat fondasi untuk mengadopsi solusi inovatif yang berkelanjutan dalam transformasi menuju sistem energi yang lebih pintar dan terhubung.

## 5. Kolaborasi dan Peluang untuk Masa Depan

- **Pentingnya kolaborasi antara pemerintah, sektor swasta, akademisi, dan masyarakat.**

Kolaborasi antara pemerintah, sektor swasta, akademisi, dan masyarakat adalah kunci dalam membangun masa depan yang lebih baik dan berkelanjutan. Sinergi antara entitas-entitas ini membuka pintu bagi inovasi, pertumbuhan ekonomi, dan solusi yang lebih efektif terhadap masalah-masalah kompleks yang dihadapi oleh masyarakat modern. Pemerintah memainkan peran penting dengan menyediakan regulasi yang tepat, memberikan insentif untuk proyek-proyek yang berkelanjutan, dan mengkoordinasikan upaya kolaboratif. Sektor swasta membawa inovasi teknologi dan keuangan yang diperlukan untuk mewujudkan proyek-proyek besar, serta memberikan fleksibilitas dan kecepatan dalam implementasi solusi. Sementara itu, akademisi membawa keahlian dan riset yang mendalam untuk memahami masalah-masalah yang kompleks dan mengembangkan solusi-solusi berbasis bukti. Masyarakat, sebagai penerima langsung dari kebijakan dan proyek-proyek tersebut, memberikan wawasan langsung tentang kebutuhan dan aspirasi mereka, serta memberikan dukungan yang krusial untuk keberhasilan implementasi. Melalui kolaborasi lintas sektor, duplikasi upaya dapat dikurangi, dan sumber daya dapat digunakan secara lebih efisien. Setiap pihak dapat memanfaatkan keahlian dan sumber daya yang dimilikinya untuk menciptakan dampak yang lebih besar secara

bersama-sama. Kolaborasi juga memperkuat keterlibatan masyarakat dalam proses pembangunan, meningkatkan rasa kepemilikan, dan memastikan bahwa kebijakan dan proyek benar-benar memenuhi kebutuhan mereka. Namun, kolaborasi lintas sektor tidak hanya tentang pencapaian ekonomi semata. Hal ini juga tentang mempromosikan keberlanjutan, baik dari segi lingkungan maupun sosial. Dengan bekerja bersama, pemerintah, sektor swasta, akademisi, dan masyarakat dapat menciptakan solusi yang lebih efektif dan bertahan lama terhadap tantangan perubahan iklim, ketimpangan sosial, dan masalah lingkungan lainnya. Secara keseluruhan, kolaborasi lintas sektor adalah fondasi bagi pembangunan masa depan yang inklusif, berkelanjutan, dan inovatif. Hanya dengan bekerja bersama, kita dapat menciptakan dunia yang lebih baik bagi semua orang, sekarang dan untuk generasi yang akan datang.

- **Peluang untuk Jakarta menjadi teladan dalam pembangunan smart city global.**

Jakarta memiliki potensi besar untuk menjadi teladan dalam pembangunan smart city global. Sebagai salah satu kota megapolitan terbesar di dunia, Jakarta memiliki infrastruktur teknologi yang cukup kuat dan populasi yang semakin terhubung secara digital. Dengan memanfaatkan teknologi informasi dan komunikasi, Jakarta dapat memperkenalkan solusi-solusi cerdas untuk mengatasi tantangan perkotaan seperti kemacetan, polusi, dan manajemen limbah. Dengan integrasi teknologi seperti Internet of Things (IoT) dan kecerdasan buatan (AI), Jakarta dapat meningkatkan efisiensi dalam mobilitas, pengelolaan limbah, energi, dan layanan publik. Selain itu, melibatkan partisipasi aktif masyarakat dalam proses pembangunan smart city akan menjadi kunci kesuksesan, memastikan bahwa solusi yang diterapkan sesuai dengan kebutuhan dan aspirasi warga. Dengan komitmen yang kuat dari pemerintah, dukungan dari sektor swasta, serta keterlibatan aktif dari masyarakat, Jakarta memiliki potensi untuk menjadi contoh inspiratif bagi kota-kota di seluruh dunia dalam mewujudkan visi pembangunan smart city yang cerdas, berkelanjutan, dan inklusif.

- **Langkah-langkah konkret untuk meraih visi energi baru pada smart city Jakarta yang inklusif dan berkelanjutan.**

Berikut langkah-langkah konkret untuk meraih visi energi baru pada smart city Jakarta yang inklusif dan berkelanjutan:

- A. Promosi dan Pengembangan Energi Terbarukan: Mendorong investasi dalam pembangunan infrastruktur energi terbarukan seperti panel surya, turbin angin, dan pembangkit listrik tenaga air untuk mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil dan mengurangi emisi karbon.
- B. Peningkatan Efisiensi Energi: Mengadopsi teknologi dan kebijakan untuk meningkatkan efisiensi energi dalam bangunan, transportasi, dan industri, termasuk penerapan standar bangunan hijau, transportasi publik yang efisien, dan penggunaan teknologi hemat energi.
- C. Jaringan Listrik Cerdas: Pengembangan jaringan listrik cerdas yang dapat



memantau, mengontrol, dan mengoptimalkan penggunaan energi secara real-time, termasuk penggunaan smart meters dan sistem manajemen energi yang terhubung.

- D. Mendorong Mobilitas Berkelanjutan: Promosi transportasi berkelanjutan seperti kendaraan listrik, sepeda, dan transportasi umum yang ramah lingkungan untuk mengurangi emisi gas rumah kaca dan polusi udara.
- E. Penyediaan Akses Energi yang Merata: Memastikan akses yang merata terhadap energi terjangkau bagi seluruh lapisan masyarakat, termasuk daerah pedesaan dan masyarakat yang kurang mampu, melalui program-program subsidi atau pengembangan infrastruktur energi off-grid.
- F. Inovasi dalam Penyimpanan Energi: Mendorong inovasi dalam teknologi penyimpanan energi seperti baterai yang dapat didaur ulang dan sistem penyimpanan panas untuk meningkatkan fleksibilitas dan keandalan pasokan energi.
- G. Pendidikan dan Kesadaran Masyarakat: Mengedukasi masyarakat tentang pentingnya energi terbarukan, efisiensi energi, dan cara mengurangi jejak karbon mereka, serta mempromosikan partisipasi dalam program-program energi berkelanjutan.
- H. Penggunaan Sumber Energi Lokal: Mendorong pengembangan sumber energi lokal seperti biomassa, biogas, dan energi panas bumi untuk meningkatkan kedaulatan energi dan mengurangi ketergantungan pada impor energi.
- I. Kemitraan Publik-Swasta: Membangun kemitraan antara pemerintah, sektor swasta, dan lembaga non-pemerintah untuk mendukung pengembangan infrastruktur energi baru yang inklusif dan berkelanjutan.
- J. Pengelolaan Risiko dan Keamanan: Mengidentifikasi dan mengelola risiko terkait dengan infrastruktur energi baru, termasuk keamanan siber dan kebutuhan akan perencanaan yang adaptif dalam menghadapi perubahan iklim.
- K. Dengan mengambil langkah-langkah konkret ini dan melibatkan berbagai pemangku kepentingan, Jakarta dapat meraih visi energi baru pada smart city yang inklusif, berkelanjutan, dan memberikan manfaat bagi seluruh penduduknya.

## KESIMPULAN

Dalam kesimpulan, langkah-langkah konkret yang telah dibahas dalam bab ini menegaskan pentingnya transformasi menuju energi baru yang inklusif dan berkelanjutan di Jakarta. Melalui fokus pada pengembangan infrastruktur energi terbarukan seperti panel surya, turbin angin, dan pembangkit listrik tenaga air, Jakarta dapat mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil dan mengurangi emisi karbon yang merugikan lingkungan. Peningkatan

efisiensi energi juga menjadi faktor kunci dalam menekan konsumsi energi dan meningkatkan kesadaran akan pentingnya penggunaan yang bijaksana. Promosi mobilitas berkelanjutan, seperti penggunaan transportasi publik dan kendaraan listrik, akan membantu mengurangi polusi udara dan kemacetan lalu lintas yang seringkali menjadi masalah utama di kota-kota besar. Akses energi yang merata juga penting, terutama bagi masyarakat yang tinggal di daerah pedesaan atau kurang mampu, sehingga mereka juga dapat menikmati manfaat dari transformasi energi ini. Selain itu, pentingnya kemitraan antara sektor publik dan swasta tidak bisa diabaikan. Kerjasama yang erat antara pemerintah, perusahaan, dan organisasi non-pemerintah akan mempercepat implementasi proyek-proyek energi baru dan mendukung pertumbuhan ekonomi yang berkelanjutan. Dalam konteks yang lebih luas, langkah-langkah ini tidak hanya memberikan manfaat lokal bagi Jakarta, tetapi juga berkontribusi pada upaya global untuk mengatasi perubahan iklim dan menciptakan lingkungan yang lebih bersih dan berkelanjutan. Pada akhirnya, penting bagi setiap individu untuk memahami peran mereka dalam mewujudkan visi energi baru yang inklusif dan berkelanjutan ini. Dengan kesadaran akan dampaknya dan tindakan nyata untuk mendukungnya, kita semua dapat berkontribusi dalam menciptakan masa depan yang lebih hijau dan berkelanjutan bagi Jakarta dan generasi mendatang.

## REKOMENDASI KEBIJAKAN (*POLICY BRIEF*)

**Latar Belakang:** Sebagai salah satu kota terpadat di dunia, Jakarta menghadapi tantangan besar dalam mengelola energi secara efisien dan berkelanjutan. Dalam beberapa tahun terakhir, langkah-langkah telah diambil untuk memperbaiki situasi ini, namun masih ada ruang untuk meningkatkan efektivitas dan dampak dari kebijakan energi.

### Rekomendasi Kebijakan:

1. **Pengembangan Infrastruktur Energi Terbarukan:** Prioritaskan investasi dalam pembangunan infrastruktur energi terbarukan seperti panel surya, turbin angin, dan pembangkit listrik tenaga air. Dukung pemasangan panel surya di bangunan-bangunan publik dan swasta dengan memberikan insentif fiskal dan teknis.
2. **Peningkatan Efisiensi Energi:** Implementasikan regulasi yang mewajibkan standar efisiensi energi dalam bangunan baru dan renovasi. Berikan insentif kepada perusahaan yang mengadopsi teknologi hemat energi dan melakukan audit energi untuk mengidentifikasi potensi penghematan.
3. **Promosi Mobilitas Berkelanjutan:** Tingkatkan infrastruktur transportasi berkelanjutan seperti jalur sepeda, jalur bus cepat, dan pengisian kendaraan listrik. Berikan insentif kepada pengguna kendaraan listrik dan perusahaan transportasi berbasis roda dua yang ramah lingkungan.
4. **Akses Energi yang Merata:** Perluas akses terhadap listrik di daerah strategis layanan bisnis mikro dan menengah serta masyarakat melalui pengembangan sistem energi off-grid dan mikrogrid. Berikan subsidi kepada rumah tangga menengah ke bawah untuk meningkatkan akses terhadap listrik yang terjangkau.
5. **Kemitraan Publik-Swasta:** Bangun kemitraan yang kuat antara pemerintah,

perusahaan energi, dan lembaga keuangan untuk mendukung investasi dalam infrastruktur energi baru. Fasilitas dialog dan kerjasama antara sektor publik dan swasta dalam mengembangkan solusi inovatif untuk energi bersih.

Dengan mengimplementasikan rekomendasi ini, Jakarta dapat memperkuat posisinya sebagai pemimpin dalam transformasi energi menuju smart city yang inklusif dan berkelanjutan.

## DAFTAR PUSTAKA

- Agus K, Riostantieka, Beny Harjadi, Hasti Afianti, Ibnu Budiman, Hanan Nugroho, Af'ida Khofsoh, Inggit Kresna, M. H. (2023). Indonesia's Energy Transition Preparedness Framework Towards 2045. In *BRIN Publishing*.
- Bangun, R., Charge, B., Atmega, C., & Sepeda, M. (2023). *Design of Atmega2560 Charge Controller Battery Using Static Bicycle*. 7(1), 79–93.
- Engineering, E., Program, S., Surabaya, U. B., Gayungan, K., & Timur, J. (2022). *ELECTRICAL ANALYSIS USING ESP-32 MODULE IN*. 7(2), 1273–1284.
- Faza, M. A., Elektro, T., Teknik, F., & Surabaya, U. B. (2022). *RANCANG BANGUN ALAT MONITORING ONLINE TEMPERATUR KLEM PADA*. 14(1).
- Firdaus, Rahman. "Implementasi Sensor IoT untuk Pengelolaan Energi di Sektor Transportasi di Kota Jakarta." *Jurnal Transportasi Cerdas* 10, no. 1 (2022): 50-65.
- Hermanto, Y., & Kiswantonono, A. (2023). Stability Control of Frequency and Voltage in Wind Power Plant Using Complementary Load with Pid Control, Pwm and Thingspeak Monitor. *JEECS (Journal of Electrical Engineering and Computer Sciences)*, 7(1), 1159–1168. <https://doi.org/10.54732/jeeecs.v7i1.211>
- lot, T. M. (n.d.). *Remote reading beban listrik pada rumah yang terintegrasi menggunakan iot*. 3(2), 143–147.
- Kiswantonono, A. (2024). Pengembangan Sistem Energi Terbarukan: Pendekatan Multigenerator Dan Simulasi Etap. *Jurnal Informatika Dan Teknik Elektro Terapan*, 12(2). <https://doi.org/10.23960/jitet.v12i2.4147>
- Kiswantonono, A., & Hermanto, Y. (2024). *PENINGKATAN KINERJA PLTB MELALUI KENDALI*. 12(1), 137–147.
- Nasional, S., Elektro, T., Informasi, S., & Informatika, T. (2021). *Seminar Nasional Teknik Elektro, Sistem Informasi, dan Teknik Informatika*.
- Permana, S. (n.d.). *PADA PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA BAYU MENGGUNAKAN BEBAN*.
- Purwahyudi, B., Kuspijani, K., & Ahmadi, A. (2017). SCNN based electrical characteristics of solar photovoltaic cell model. *International Journal of Electrical and Computer Engineering*, 7(6), 3198–3206. <https://doi.org/10.11591/ijece.v7i6.pp3198-3206>
- Putra, Irfan. "Pemanfaatan Teknologi IoT untuk Monitoring dan Kontrol Energi di Bangunan Pintar di Jakarta." *Jurnal Bangunan Pintar* 6, no. 3 (2024): 80-95.

- Ryko, H. T. P., & Kiswanto, A. (2021). Analisis Stabilitas Tegangan Listrik Menggunakan Panel Surya Pada Lampu Penerangan Jalan Umum (Pju) Berbasis Arduino. *Aisyah Journal of Informatics and Electrical Engineering*, 3(2), 148–152. <http://jti.aisyahuniversity.ac.id/index.php/AJIEE>
- Rahayu, Siti. "Implementasi Teknologi Internet of Things (IoT) dalam Manajemen Energi untuk Kota Cerdas: Studi Kasus Jakarta." *Jurnal Teknologi Kota Cerdas* 3, no. 2 (2023): 55-70.
- Suhu, O., Studi, P., Elektro, T., Teknik, F., & Surabaya, U. B. (2023). *Revitalisasi Sistem ATS : Integrasi Smart Relay dan Teknologi*. 56–63.
- Suryadi, Budi. "Peran Sensor Cerdas dalam Monitoring Konsumsi Energi di Kota Jakarta." *Jurnal Sensor dan Aktuator Cerdas* 8, no. 1 (2022): 40-55
- Tech, J. I. (2023). *TRANSFORMASI PEMANTAUAN ENERGI: KONTROL DAYA LISTRIK 3 FASA DENGAN ANTARMUKA GRAFIS PENGGUNA ( GUI ) SECARA LANGSUNG*. 1(2), 76–84.
- Thingspeak, M. (n.d.). *Voltage and Frequency Controller for Wind Turbine With PID Controller , PWM and Thingspeak Monitor*.
- Transfer, A., Ats, S., & Arduino, M. (n.d.). *Automatic Transfer Switch ( ATS ) Using Arduino Uno , IoT-Based Relay and Monitoring dan Monitoring Berbasis IoT*. 1–8.
- Widodo, Budi. "Pengembangan Teknologi Transportasi Ramah Lingkungan untuk Mengurangi Emisi Gas Buang di Jakarta." *Jurnal Transportasi Hijau* 14, no. 1 (2023): 85-100.
- Wibowo, Adi. "Pengembangan Jaringan Energi Terbarukan Berbasis IoT untuk Kota Cerdas: Kasus Jakarta." *Jurnal Energi Terbarukan dan Keberlanjutan* 11, no. 3 (2024): 70-85.
- Widjaja, Dian. "Pengembangan Grid Listrik Cerdas Berbasis IoT untuk Meningkatkan Efisiensi Energi di Jakarta." *Jurnal Grid Cerdas* 7, no. 2 (2023): 75-90.



## PENERAPAN PLAFON DIGITAL BERBASIS AI UNTUK PENGEMBANGAN KOTA CERDAS YANG BERKELANJUTAN

**Toto Widyanto<sup>1\*</sup>, Ravie Kurnia Laday<sup>2</sup>, Purwanto<sup>3</sup>  
and Darmin<sup>4</sup>**

<sup>1</sup>Teknik Informatika, FTIKV, Institut Sains dan Teknologi Al-Kamal,  
Jakarta 11520, Indonesia, juga

<sup>2,4</sup>Teknik Informatika, FTIKV, Institut Sains dan Teknologi Al-Kamal,  
Jakarta 11520, Indonesia

<sup>3</sup>Sistem Informasi, FTIKV, Institut Sains dan Teknologi Al-Kamal,  
Jakarta 11520, Indonesia

\*Penulis Koresponden, e-mail: [toto.widyanto@ista.ac.id](mailto:toto.widyanto@ista.ac.id)

### ABSTRAK

Bab ini membahas konsep plafon digital berdasarkan standar IEEE 802.3bt Tipe 4 yang baru. Plafon digital mengacu pada integrasi teknologi AI dengan sistem pencahayaan, sistem pendinginan, sensor, dan perangkat IoT pada gedung untuk menciptakan infrastruktur yang cerdas dan hemat energi di dalam kota cerdas. Bab ini menyoroti manfaat potensial dan aplikasi praktis plafon digital berbasis AI dalam konteks pengembangan kota cerdas yang berkelanjutan. Dengan memanfaatkan algoritme AI dan teknik pembelajaran mesin, plafon digital dapat mengoptimalkan konsumsi energi, meningkatkan efisiensi operasional, dan memungkinkan proses pengambilan keputusan berbasis data. Lebih lanjut, bab ini membahas bagaimana plafon digital berkontribusi untuk mencapai tujuan keberlanjutan di kota cerdas. Dengan mengontrol pencahayaan, sistem HVAC, dan perangkat lain yang terhubung secara cerdas, plafon digital meminimalkan pemborosan energi dan mengurangi jejak karbon di lingkungan perkotaan. Selain itu, algoritme AI menganalisis data yang dikumpulkan dari sensor dan perangkat untuk mengidentifikasi pola, mengoptimalkan alokasi sumber daya, dan meningkatkan kinerja infrastruktur perkotaan secara keseluruhan. Bab ini menekankan skalabilitas dan kemampuan beradaptasi plafon digital berbasis AI. Dengan kemajuan teknologi AI dan meningkatnya ketersediaan perangkat cerdas, plafon digital dapat diintegrasikan ke dalam bangunan yang sudah ada dan konstruksi baru, menjadikannya solusi yang tepat untuk retrofit dan infrastruktur kota cerdas di masa depan.

Kata Kunci: plafon digital, kota cerdas berkelanjutan, LVDC

### PENDAHULUAN

Pemerintah berkomitmen untuk mengurangi emisi Gas Rumah Kaca (GRK) sesuai dengan perjanjian global, yaitu Perjanjian Paris yang diratifikasi menjadi Undang-Undang Nomor 16 Tahun 2016 tentang Pengesahan *Paris Agreement to The United Nations Framework Convention On Climate Change* (persetujuan Paris Atas Konvensi Kerangka Kerja Perserikatan Bangsa-bangsa Mengenai Perubahan Iklim). Terkait dengan hal ini Indonesia menyampaikan *Nationally Determined Contributions* (NDC) yang berisi target penurunan emisi gas rumah kaca (GRK) hingga tahun 2030 sebesar 29 persen (setara dengan 835 juta ton CO<sub>2</sub>) dengan usaha sendiri, dan 41 persen dengan dukungan internasional (Migas, 2022). Kemudian pada tanggal 23 September 2022, Indonesia menyampaikan revisi kepada sekretariat UNFCCC menjadi target *Enhanced Nationally Determined Contribution* (E-NDC), yaitu peningkatan target penurunan emisi dari semula 29% menjadi 31,89% dengan usaha sendiri, dan dari 41% menjadi 43,20% dengan bantuan internasional (Equatorial, 2024). Terdapat 5 sektor dalam

NDC yang berperan dalam penurunan emisi GRK, yaitu energi, limbah, *industrial processes and production use* (IPPU), pertanian, dan kehutanan (Anugrah, 2021).

Pada bab ini akan dibahas sejumlah informasi penting terkait penerapan Plafon Digital berbasis AI untuk pengembangan kota cerdas yang berkelanjutan. Di awal akan dibahas mengenai konsep dan teori dasar terkait emisi karbon. Di sini dibahas pula pengembangan strategi penurunan emisi GRK (gas rumah kaca). Kemudian ditinjau pemanfaatan teknologi LVDC pada bangunan tempat tinggal dan komersial dengan tetap memperhatikan teknologi LVAC yang sudah luas diterapkan saat ini. Terakhir dibahas penerapan plafon digital berbasis AI untuk pengembangan kota cerdas yang berkelanjutan dipandang dari sisi strategi penerapan, hambatan, dan tren masa depan.

## STATE OF THE ART

Dunia kita yang mengalami urbanisasi dengan cepat menuntut solusi inovatif untuk pembangunan berkelanjutan. Makalah ini mengeksplorasi potensi "Plafon Digital berbasis AI". Konsep ini memanfaatkan standar IEEE 802.3bt Tipe 4 yang baru untuk mengubah plafon gedung menjadi platform cerdas yang didukung oleh AI. Dengan mengintegrasikan sensor dan memfasilitasi analisis data, plafon digital bertujuan untuk mengoptimalkan operasi gedung, mengurangi konsumsi energi, dan meningkatkan kenyamanan – semua aspek penting untuk menciptakan masa depan yang berkelanjutan bagi kota cerdas kita.

## PEMBAHASAN

### Pembahasan Konsep dan Teori Dasar Terkait Emisi Karbon

#### Kontribusi Penyumbang Emisi Karbon Terbesar

Berdasarkan data dari Our World in Data (Ritchie, Rosado, & Roser, 2024), terdapat lima penyumbang emisi karbon terbesar, yaitu dari Kelistrikan dan Panas, Transportasi, Manufaktur dan Konstruksi, Bangunan, dan Industri. Sektor yang paling tinggi menyumbang emisi karbon adalah Kelistrikan dan Panas sebanyak 15,11 miliar ton (43%) pada tahun 2020. Yang kedua adalah Transportasi sebanyak 7,10 miliar ton (20%). Sektor transportasi jalan raya mendominasi urutan emisi karbon sekitar 75% yang berasal dari kendaraan jalan raya, termasuk mobil, truk, dan bus. Kemudian ketiga, Manufaktur dan Konstruksi menyumbang 6,18 miliar ton (18%).

Sektor yang menjadi fokus dari bab ini, bangunan menyumbang 2,71 miliar ton (8%). Kontribusi dari bangunan berupa bangunan perumahan dan bangunan komersial. Bangunan perumahan memiliki jejak karbon yang signifikan. Sedangkan bangunan komersial menyumbang emisi karbon global lebih rendah dibandingkan perumahan. Secara umum faktor yang mempengaruhi emisi karbon sektor bangunan adalah sumber energi, efisiensi bangunan, ukuran, dan lokasi. Dan yang kelima adalah Sektor Industri menyumbang 1,63 miliar ton (5%). yang mencakup emisi dari proses industri langsung dan emisi tidak langsung dari listrik yang digunakan untuk menjalankan proses tersebut. Industri merupakan sektor yang luas: mencakup beragam aktivitas mulai dari manufaktur dan konstruksi hingga pertambangan dan pengelolaan limbah. Emisi bervariasi berdasarkan sub-sektor antara lain yang paling banyak menghasilkan karbon adalah produksi besi dan baja, manufaktur semen, bahan kimia, serta pulp dan kertas. Untuk Indonesia kontribusi karbon berbeda dibandingkan akumulasi seluruh dunia Our World in Data (Ritchie, Rosado, & Roser, 2024). Untuk tahun 2020 ditunjukkan proporsi kontribusi penyumbang emisi karbon terlihat pada tabel berikut.



**Tabel 6.** Penyumbang emisi CO<sub>2</sub> berdasarkan Sektor, khusus Indonesia, tahun 2020

| Sektor                       | Penyumbang emisi karbon (dalam juta ton) | Persentase |
|------------------------------|------------------------------------------|------------|
| Konversi Lahan dan Kehutanan | 490.53                                   | 46.6%      |
| Kelistrikan dan Panas        | 246.12                                   | 23.4%      |
| Manufaktur dan Konstruksi    | 131.05                                   | 12.4%      |
| Transportasi                 | 126.42                                   | 12.0%      |
| Industri                     | 27.18                                    | 2.6%       |
| Bangunan                     | 25.78                                    | 2.4%       |
| Produksi Energi              | 3.78                                     | 0.4%       |
| Pembakaran BBM               | 2.87                                     | 0.3%       |
| TOTAL                        | 1,053.73                                 | 100.0%     |

Sumber: diolah dari <https://ourworldindata.org/emissions-by-sector>

Terlihat sektor Konversi Lahan dan Kehutanan menempati porsi tertinggi yaitu 46%. Sedangkan sektor Bangunan menempati posisi keenam, dengan 2,4%.

#### Kontribusi Emisi Karbon dari Bangunan Tempat Tinggal dan Komersial

Pada sub bab di atas disebutkan bahwa bangunan tempat tinggal dan komersial memiliki jejak karbon yang signifikan. Secara umum bangunan tempat tinggal menyumbang sejumlah besar emisi gas rumah kaca global dengan kontribusi sekitar 8% dari total emisi karbon global. Untuk bangunan tempat tinggal terdapat dua jenis emisi yaitu operasional dan emisi terkandung atau *embodied emissions*. Emisi operasional berasal dari penggunaan energi yang berkelanjutan untuk pemanasan, pendinginan, penerangan, dan lain-lain. Ini sering kali merupakan porsi yang lebih besar. Sedangkan emisi yang terkandung berasal dari manufaktur, transportasi, dan konstruksi bahan bangunan itu sendiri. Hal ini semakin mengkhawatirkan.

Sementara itu kontribusi bangunan komersial sedikit lebih rendah. Meskipun terdapat berbagai perkiraan, bangunan komersial secara konsisten menunjukkan jejak karbon yang cukup besar. Terdapat empat faktor kunci yang mempengaruhi emisi bangunan komersial. Pertama, penggunaan energi. Mirip dengan bangunan tempat tinggal, pemanas, pendingin, penerangan, dan peralatan merupakan area konsumsi utama. Kedua, tipe bangunan. Tipe bangunan komersial yang berbeda memiliki kebutuhan energi yang berbeda-beda. Misalnya, rumah sakit dan pusat data lebih boros energi dibandingkan gedung perkantoran. Ketiga lokasi. Iklim berdampak pada kebutuhan energi, dan jaringan energi regional memiliki tingkat ketergantungan yang berbeda-beda terhadap bahan bakar fosil. Terakhir, jam operasional. Bisnis dengan jam operasional lebih lama biasanya memiliki emisi lebih tinggi (Greer, Raftery, & Horvath, 2024) , (Levine, et al., 2007).

#### Pengembangan Strategi Penurunan Emisi GRK

Strategi pengurangan emisi operasional adalah rencana yang dikembangkan oleh bisnis dan organisasi untuk mengurangi emisi gas rumah kaca yang dihasilkan dari aktivitas mereka sehari-hari. Emisi ini, sering disebut sebagai emisi Cakupan 1 dan Cakupan 2, berasal dari sumber seperti pembakaran bahan bakar, konsumsi listrik, dan transportasi (Greer, Raftery, & Horvath, 2024).

Komponen utama dari strategi pengurangan emisi operasional yang efektif biasanya meliputi enam hal. Pertama dilakukan Penilaian Dasar, yaitu pengukuran emisi saat ini untuk menetapkan dasar perbandingan dan melacak kemajuan. Kedua penetapan target yaitu mendefinisikan tujuan pengurangan emisi yang spesifik, terukur, dapat dicapai, relevan, dan terikat waktu (SMART – *Specific, Measurable, Achievable, Relevant, Time-Bound*). Ketiga perlu

dilakukan identifikasi peluang pengurangan yaitu menganalisis operasi untuk menentukan area dimana emisi dapat dikurangi atau dihilangkan.

Kemudian komponen strategi pengurangan emisi operasional yang keempat merupakan implementasi tindakan mitigasi yaitu mengambil tindakan untuk mengurangi emisi melalui berbagai tindakan seperti. Mitigasi ini antara lain (a) peningkatan efisiensi energi, misalnya, meningkatkan peralatan, mengoptimalkan proses, mengadopsi teknologi bangunan cerdas, (b) beralih ke sumber energi terbarukan seperti memasang panel surya, membeli listrik ramah lingkungan, (c) operasi elektrifikasi, misalnya mengganti kendaraan berbahan bakar fosil dengan kendaraan listrik, (d) meningkatkan praktik pengelolaan limbah antara lain mengurangi, menggunakan kembali, mendaur ulang, dan terakhir (e) menerapkan inisiatif transportasi berkelanjutan, misalnya, mendorong transportasi umum, carpooling, bersepeda.

Setelah tindakan mitigasi dilakukan kegiatan komponen kelima, yaitu pemantauan dan pelaporan seperti melacak kemajuan menuju target pengurangan emisi dan melaporkan hasilnya kepada pemangku kepentingan. Terakhir dilakukan perbaikan berkelanjutan yang secara berkala meninjau dan menyempurnakan strategi untuk memastikan pengurangan emisi berkelanjutan dan beradaptasi dengan perubahan keadaan.

Banyak sumber daya dan kerangka kerja tersedia untuk membantu organisasi mengembangkan dan menerapkan strategi operasional pengurangan emisi yang efektif. Beberapa contoh penting meliputi antara lain tiga hal. Pertama kerangka kerja **Protokol Gas Rumah Kaca**, yaitu memberikan panduan komprehensif tentang pengukuran dan pengelolaan emisi gas rumah kaca. Kemudian **Inisiatif Target Berbasis Sains** berupa membantu perusahaan menetapkan target pengurangan emisi sejalan dengan ilmu pengetahuan iklim. Contoh terakhir adalah **CDP (Carbon Disclosure Project)**, yaitu menyediakan platform bagi perusahaan untuk mengungkapkan data lingkungan dan melacak kemajuannya.

Dengan mengembangkan dan menerapkan strategi pengurangan emisi operasional yang kuat, organisasi dapat mengurangi dampak lingkungan secara signifikan, meningkatkan efisiensi operasional, dan meningkatkan reputasi mereka.

### **Pemanfaatan Teknologi LVDC pada Bangunan Tempat Tinggal dan Komersial** **Gambaran tentang LVDC**

Dalam standarisasi voltase LVDC, terdapat beberapa aspek yang perlu dipertimbangkan. Pertama, kriteria utama yang harus dipertimbangkan adalah jumlah energi yang akan disalurkan. Setelah voltase dipilih untuk jumlah energi tertentu, arus dan ukuran kabel akan menentukan efisiensi daya pada panjang jalur tertentu. Selain itu, ukuran kabel juga akan berdampak pada biaya. Selain itu, perlu juga memperhatikan perlindungan dari lonjakan tegangan, kualitas daya, perangkat perlindungan (seperti perangkat arus sisa untuk kejutan listrik atau perangkat deteksi busur untuk busur listrik), koordinasi perangkat dan pemilihan, aturan kawat, dan instalasi terisolasi. Selama proses pengembangan Laporan Teknologi ini, para ahli sepakat bahwa, terlepas dari kasus penggunaan, LVDC tidak boleh kurang aman daripada AC saat ini. Selain itu, perbedaan antara DC dan AC juga perlu dipertimbangkan, seperti tegangan daya, steker dan soket, serta pengaruhnya terhadap tubuh manusia. Aspek lain yang perlu dipertimbangkan adalah perlindungan dari lonjakan tegangan dan arus, prinsip penggroundan, deteksi kesalahan, dan korosi. Sebagian besar pekerjaan standarisasi yang diperlukan melibatkan penambahan ketentuan dan persyaratan untuk DC ke dalam Standar AC yang ada.

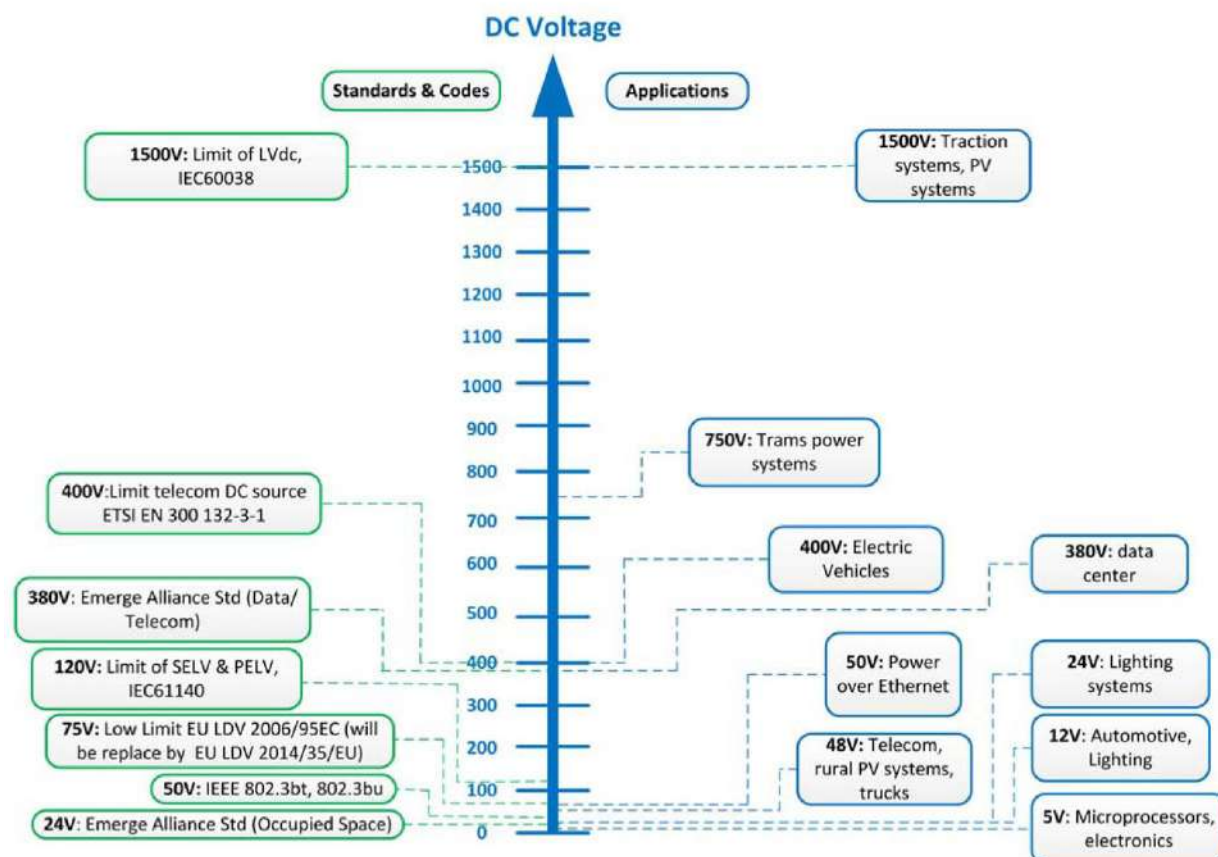
Standar, kode, dan aplikasi pada rentang LVDC hingga 1500V ditunjukkan pada tabel berikut.

**Tabel 7.** Standar, kode, dan aplikasi pada rentang LVDC

| Voltase (Tegangan) | Standar & Kode                                                                             | Aplikasi                          |
|--------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------|
| 1500V              | Limit of LVDC, IEC60038                                                                    | Traction Systems<br>PV Systems    |
| 750V               |                                                                                            | Tram Power System                 |
| 400V               | Limit telecom DC source<br>ETSI EN 300 132-3-1                                             | Electric Vehicles                 |
| 380V               | Emerge Alliance Std (Data/Telecom)                                                         | Data Center                       |
| 120V               | Limit of SELV (Separated Extra-Low Voltage) & PELV (Protective Extra-Low Voltage) IEC61140 |                                   |
| 75V                | Low Limit EU LDV 2014/35/EU                                                                |                                   |
| 50V                | IEEE 802.3bt, 802.bu                                                                       | Power over Ethernet (PoE)         |
| 48V                |                                                                                            | Telecom, rural PV systems, trucks |
| 24V                | Emerge Alliance Std. (Occupied Space)                                                      | Lighting systems                  |
| 12V                |                                                                                            | Automotives, Lighting             |
| 5V                 |                                                                                            | Microprocessors, Electronics      |

Sumber: disadur dari (Diaz, et al., 2016)

Ilustrasi tabel di atas kemudian ditunjukkan pada gambar di bawah ini.



**Gambar 1.** Kumpulan standar, kode, dan aplikasi menggunakan LVDC.

Sumber: (Diaz, et al., 2016)

Rentang tegangan yang sesuai adalah sebagai berikut (Diaz, et al., 2016):

1. **24-48V:** Beban daya rendah ( $<0,4$  kW) sebagian besar adalah peralatan dan perangkat elektronik (router Wi-Fi, pengisi daya telepon, komputer, TV, pemutar DVD, sistem hi-fi, dll.), dan lampu LED, yang diperhitungkan untuk sebagian besar perangkat di kamar tidur, ruang keluarga, dan area luar ruangan, sehingga distribusi di sebagian besar ruang dalam rumah dapat dilakukan secara efisien sekaligus memaksimalkan keselamatan.
2. **230-400 V:** Elemen daya sedang (0,4-10 kW) biasanya digunakan pada peralatan di dapur (kompor, oven, mesin cuci piring, dll.) dan ruang cuci (mesin cuci, pengering, setrika, dll.). Untuk konsumsi daya tertentu, menyuplai beban pada 230 V akan mempertahankan pembebanan arus yang sama pada kabel seperti pada sistem 230Vac satu fasa. Jika diperlukan efisiensi yang tinggi dalam distribusi dan/atau pengurangan pengukur kawat, tegangan sensitif untuk ditingkatkan hingga 400 V. Di luar tingkat ini, peningkatan efisiensi seharusnya dapat diabaikan, dan sistem proteksi akan sangat menuntut.
3.  **$\geq 538$  V:** Elemen berdaya tinggi ( $\geq 10$  kW) diharapkan menjadi bagian dari elemen fasilitas umum bangunan, seperti DG (panel PV, WT, FC,  $\mu$ CHP, dll.), ESS (*Energy Storage System*), dan sistem pendingin udara gedung, elevator, dan pos pengisian daya kendaraan listrik.

### Plafon Digital

Konsep plafon digital mengacu pada konvergensi berbagai sistem dan layanan bangunan ke dalam satu jaringan IP, terutama di dalam ruang plafon sebuah bangunan. Integrasi ini memungkinkan kontrol dan pengelolaan pencahayaan, pemanas, pendingin, keamanan, sensor, dan sistem otomasi bangunan lainnya tanpa hambatan melalui platform terpusat.

Aspek dan manfaat utama dari plafon digital antara lain meliputi lima hal. Pertama integrasi bangunan cerdas yaitu memungkinkan bangunan menjadi "cerdas" dengan menghubungkan sistem yang berbeda dan memungkinkan mereka berkomunikasi dan berinteraksi satu sama lain. Aspek ini kelak menjadi salah satu inti dari bahasan pada bab di buku ini. Kedua, peningkatan efisiensi dengan cara mengoptimalkan konsumsi energi, pemanfaatan ruang, dan biaya operasional dengan mengotomatisasi dan menyesuaikan sistem berdasarkan data real-time dan pola hunian. Aspek ini kelak juga menjadi salah satu inti dari bahasan pada bab di buku ini. Aspek ketiga merupakan peningkatan pengalaman pengguna (UX: *user experience*), yaitu menciptakan lingkungan yang lebih nyaman, produktif, dan menarik bagi penghuni melalui kontrol yang dipersonalisasi dan pengaturan adaptif. Selanjutnya aspek keempat adalah manajemen yang efisien, yaitu menyederhanakan pemeliharaan, pemecahan masalah, dan peningkatan dengan memusatkan kontrol dan menyediakan akses jarak jauh ke data dan analitik sistem. Aspek terakhir merupakan wawasan berbasis data yang menghasilkan data berharga tentang kinerja gedung, pola hunian, dan penggunaan energi, yang dapat dimanfaatkan untuk pengoptimalan dan pengambilan keputusan lebih lanjut.

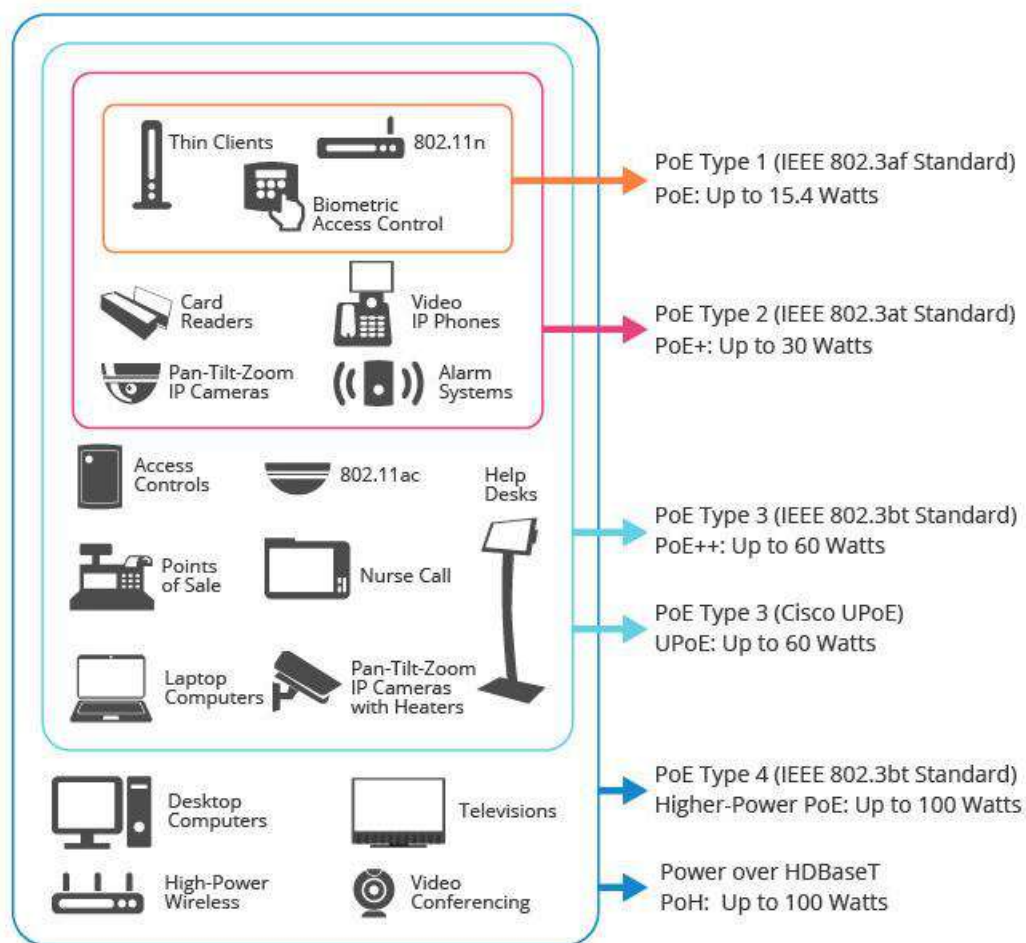
Beberapa perusahaan, seperti Cisco dan Nexans, menawarkan solusi dan kerangka penerapan plafon digital di berbagai jenis bangunan. Perlu diketahui, Cisco memelopori pengembangan PoE (Power over Ethernet) untuk menyatukan Teknologi Operasi dengan Teknologi Informasi. (Shen, 2019). Secara sederhana Teknologi Operasi dicirikan oleh penggunaan kabel listrik sedang Teknologi Informasi dicirikan oleh penggunaan kabel data. PoE yang dikembangkan

oleh Cisco mampu memberikan daya hingga 90W. Berdasarkan spesifikasi dari Cisco, kemudian oleh IEEE ditetapkan menjadi standar pada tahun 2018 yaitu IEEE 802.3bt dengan daya hingga 99W. Plafon digital mewakili kemajuan signifikan dalam teknologi bangunan, yang menawarkan banyak manfaat bagi pemilik dan penghuni bangunan.

## Penerapan Plafon Digital Berbasis AI Untuk Pengembangan Kota Cerdas Yang Berkelanjutan

### Standar IEEE 802.3 Sebagai Pondasi bagi Plafon Digital Cerdas

PoE (IEEE 802.3af), juga dikenal sebagai PoE tipe 1, menyediakan daya hingga 15,4 watt per port dan digunakan untuk perangkat seperti telepon IP dan kamera. PoE+ (IEEE 802.3at), PoE tipe 2, menawarkan daya hingga 30 watt dan memberi daya pada perangkat seperti kamera PTZ. PoE++ atau UPoE (IEEE 802.3bt), juga disebut sebagai PoE tipe 3, menghasilkan hingga 60 watt dan 100 watt, PoE tipe 4, per port untuk perangkat berkinerja tinggi. Power over HDBaseT (PoH) memungkinkan transmisi daya dan data untuk peralatan AV melalui satu kabel. Gambar di bawah mengilustrasikan aplikasi umum berbagai jenis PoE untuk referensi kita.



Sumber: (Migelle, 2020)

**Gambar 2.** Penerapan beragam Tipe PoE

## Plafon Digital Berbasis AI



## Otomasi Bangunan

Gedung cerdas atau otomatisasi gedung mengacu pada pengintegrasian sistem fasilitas ke dalam satu jaringan yang dikontrol secara terpusat menggunakan kabel terstruktur berbasis IP. Dengan jaringan Ethernet yang menggunakan standar 803.2bt, semua perangkat yang mendukung Internet dapat dihubungkan ke jaringan dan didukung oleh kabel yang sama. Hal ini menghilangkan kebutuhan untuk menyambungkan daya listrik ke komponen-komponen ini. Standar PoE asli dapat memberi daya pada sistem kontrol akses dan alarm sederhana, namun peningkatan keluaran daya sebesar 802.3bt menawarkan kepada pengelola gedung beragam aplikasi potensial.

Berikut ini ditunjukkan empat contoh aplikasi otomasi bangunan. Pertama, sistem kontrol akses cerdas, berupa jaringan Ethernet yang dapat memberi daya pada kunci cerdas berkemampuan Internet yang dapat dikontrol secara terpusat oleh keamanan gedung. Meskipun kuncinya sendiri memiliki daya yang cukup rendah dan dapat ditangani menggunakan sumber daya 802.3at, seperti sistem kontrol pengontrol pintu, *Ubiquiti UniFi Access Hub IP Networked Door Controller*, dapat menggunakan daya hingga 40W. Contoh kedua adalah Kamera Pengawasan IP. Teknologi PoE dapat digunakan untuk memberi daya pada kamera keamanan, sehingga memungkinkan pemasangan kamera di tempat yang tidak tersedia stopkontak. Kamera IP dengan pemanas internal dan motor PTZ dapat menggunakan ruang kepala daya ekstra. Kemudian contoh ketiga, titik akses Wi-Fi, merupakan kemampuan untuk memberi daya dan menghubungkan WAP menggunakan satu kabel dapat menyederhanakan proses perluasan jaringan nirkabel Kita secara signifikan. Wi-Fi 7 AP kelas atas seperti router TP-Link EAP780 Tri-Band dapat menggunakan daya hingga 60W, sehingga headroom output daya tambahan sebesar 802.3bt sangat membantu di sini. Terakhir, pencahayaan LED cerdas, merupakan Sistem pencahayaan LED jaringan dapat menarik banyak daya, sehingga batas daya PD 71,3W yang ditingkatkan juga berguna dalam hal ini. Gambar berikut ini menunjukkan contoh penerapan aplikasi otomasi gedung.



Sumber: (Emplus, 2023)  
Gambar 3. Contoh penerapan PoE



## Pengembangan Kota Cerdas

### Pengembangan Kota Cerdas: Jakarta Smart City (JSC)

Jakarta Smart City berfungsi sebagai katalisator untuk membangun ekosistem kota cerdas 4.0. Kami berfungsi sebagai laboratorium kreatif dan wadah kerja sama antara masyarakat dan pemerintah Provinsi DKI Jakarta. Sebagai salah satu kota terpadat di dunia, Jakarta menghadapi sejumlah kesulitan. Persyaratan Jakarta sebagai kota metropolitan juga mendorongnya untuk mengadopsi praktik-praktik baru. Salah satu cara untuk melakukan hal ini adalah dengan menampilkan ide-ide inventif untuk mengembangkan ekosistem perkotaan yang terintegrasi secara teknologi. Jakarta Smart City (JSC) mengupayakan hal ini sebagai penggerak kota cerdas untuk Jakarta. Untuk itu Unit Pengelola JSC mengoordinasikan dan memfasilitasi transformasi digital Jakarta. Artinya, perlu banyak diterapkan reformasi, seperti tata kelola digital, infrastruktur digital, masyarakat digital, dan ekonomi digital.

Segala upaya akan diarahkan pada optimalisasi pemanfaatan teknologi untuk meningkatkan efektivitas dan efisiensi pelayanan publik. JSC menerapkan tujuh metrik sebagai bagian penerapannya. dari konsep kota cerdas. Indikator pertama, *Smart Governance*, yaitu tata kelola yang bijaksana diperlukan untuk menciptakan pemerintahan yang secara efektif mendorong kemajuan dan transformasi sosial. Indikator kedua, *Smart Economy*, ekonomi cerdas juga akan membantu menciptakan prospek perusahaan baru untuk mempercepat pertumbuhan ekonomi. Indikator ketiga, *Smart Environment*, yaitu lingkungan cerdas, adalah indikator berikutnya yang mencakup berbagai inisiatif ramah lingkungan seperti pengelolaan air dan limbah serta sumber energi alternatif. Indikator keempat, *Smart People*, melalui keterlibatan masyarakat sebagai pelaku dan konsumen akhir smart city. Indikator kelima, *Smart Mobility*, yaitu mobilitas cerdas melalui peningkatan kualitas mobilitas. Indikator keenam adalah *Smart Living* yang mencakup fasilitas yang dapat diakses oleh penyandang disabilitas, literasi digital, dan kesehatan. Terakhir, Smart Branding. Untuk saat ini, slogan "Enjoy Jakarta" adalah branding yang telah melekat pada masyarakat di Jakarta. Logo sering terlihat di mana-mana. Pemerintah Provinsi DKI Jakarta telah memperkenalkan branding kota yang baru, yang lebih umum, untuk kota Jakarta, yaitu "Jakarta Kota Kolaborasi" atau logo "+Jakarta" (dibaca "Plus Jakarta").

Saat aplikasi Jakarta Kini (JAKI) dikembangkan, maka seluruh indikator tersebut akan diringkaskan. Proyek tersebut akan membentuk tata kelola kolaboratif dengan melibatkan sejumlah pemangku kepentingan, antara lain sektor publik dan komersial, masyarakat, akademisi, dan khusus untuk masyarakat, JAKI melakukan peningkatan pada sejumlah fitur dan penambahan fasilitas yang lebih lengkap. Diantaranya adalah cara masyarakat berinteraksi dengan pemerintah, dengan pemilik usaha atau pelaku, dan dengan masyarakat lainnya versi JAKI dapat diakses.

Selain itu, terdapat dua kolom dengan fitur transit, peta, dan registrasi kunjungan: "Sekitar Jakarta" untuk wisatawan yang ingin berjalan-jalan di sekitar Jakarta dan "Rekomendasi" untuk pengunjung yang baru mengenal kota tersebut. JAKI didirikan sebagai platform pengelolaan pelayanan publik, pertukaran informasi, dan transaksi berbasis elektronik. Ke depan, elemen tambahan ini akan membantu Jakarta mempertahankan statusnya sebagai kota metropolitan global. Melalui berbagai inisiatif yang JSC lakukan, direncanakan dan dilaksanakan, bertujuan untuk memperkenalkan Jakarta 4.0 dengan ekosistem digital yang mendukung.

Hasilnya, hingga bulan Juli 2023 telah tercatat prestasi JAKI antara lain sebagai berikut.

1. Aplikasi Super Jakarta yang melibatkan lebih dari 60 layanan Pemerintah terintegrasi, 12

ribu laporan diterima JAKI setiap hari, 96.4% Persentase penyelesaian laporan per bulannya, dan hampir 5 juta warga DKI Jakarta telah mengunduh aplikasi JAKI.

2. Mendapatkan penghargaan antara lain:

- a. *Gold Medal ASEAN ICT Awards (AICTA) 2021*: Kategori Public Sector
- b. Top 45 Inovasi Pelayanan Publik 2022: Kompetisi Inovasi Pelayanan Publik (KIPP) di Lingkungan Kementerian/Lembaga, Pemerintah Daerah, BUMN, dan BUMD
- c. *Champion pada World Summit of Information Society (WSIS) Prizes 2023*: JakLapor: Privacy-Preserving Online Public Complaint Application untuk Kategori Building Confidence and Security in the use of ICT

Dengan demikian JSC membantu Pemerintah Provinsi (Pemprov) DKI Jakarta dalam mencapai pembangunan manusia sipil yang berkeadilan, pertumbuhan ekonomi yang inklusif, regenerasi perkotaan yang berkelanjutan, reformasi pelayanan publik, dan administrasi pemerintahan yang efisien. JSC percaya bahwa melalui transformasi digital, Jakarta akan mampu bersaing dengan kota-kota besar global lainnya sebagai pusat perdagangan dan bisnis. JSC akan berkonsentrasi pada perencanaan lingkungan, ekonomi, manusia, dan ekonomi di bawah slogan “Kota Semua Orang” (Dwi, 2023)

## Pengembangan Kota Cerdas Yang Berkelanjutan

### Gambaran Umum

Kota cerdas yang berkelanjutan ditandai dengan fokusnya pada meminimalkan dampak lingkungan, meningkatkan efisiensi sumber daya, dan meningkatkan kualitas hidup penduduknya. Hal ini termasuk mengembangkan bangunan dengan potensi menghasilkan emisi gas rumah kaca (GRK) yang jauh lebih rendah sepanjang siklus hidupnya, dibandingkan dengan bangunan konvensional. Kota cerdas berkelanjutan ini mencapai tujuan tersebut melalui berbagai praktik dan teknologi. Mereka menargetkan dekarbonisasi dengan mengoptimalkan konsumsi energi melalui kemampuan teknologi baru. Hal ini melibatkan pengembangan bangunan dengan potensi menghasilkan emisi gas rumah kaca yang jauh lebih rendah sepanjang siklus hidupnya dibandingkan dengan bangunan konvensional.

Teknologi yang terlibat dalam kota cerdas berkelanjutan mencakup infrastruktur, sistem, metode, model, teknik, dan jaringan sebagai bagian dari ekosistem digital kota cerdas. Konsep kota cerdas telah menjadi faktor kunci dalam pembangunan perkotaan berkelanjutan, yang menggabungkan strategi perencanaan kota untuk mengatasi berbagai tantangan dan peluang. Kota cerdas yang berkelanjutan dibangun berdasarkan berbagai elemen, termasuk pemimpin dalam desain biofilik dan penyediaan Wi-Fi gratis di bus. Peran teknologi pendukung sangat penting dalam mewujudkan kota cerdas, dan deskripsi holistik serta signifikansinya dieksplorasi dalam literatur penelitian. Untuk mengevaluasi bangunan yang ada dan mengidentifikasi area yang perlu ditingkatkan dalam hal emisi gas rumah kaca, kita perlu menganalisis berbagai faktor yang berkaitan dengan konstruksi dan pengoperasiannya. Hal ini meliputi penilaian efisiensi energi bangunan, pertimbangan sumber energi yang digunakan, evaluasi penggunaan air, pertimbangan material yang digunakan dalam konstruksi, dan penilaian infrastruktur transportasi bangunan. Dengan menerapkan langkah-langkah ini, kita dapat mengidentifikasi area yang perlu ditingkatkan dan berkontribusi terhadap pengembangan kota cerdas yang berkelanjutan.

### Evaluasi bangunan dan Identifikasi Area Yang Perlu Ditingkatkan

Untuk mengevaluasi bangunan yang ada dan mengidentifikasi area yang perlu ditingkatkan

dalam hal emisi gas rumah kaca, kita perlu menganalisis berbagai faktor yang terkait dengan konstruksi dan pengoperasiannya.

Pertama, kita harus menilai efisiensi energi bangunan. Hal ini melibatkan evaluasi isolasi, jendela, dan pintu untuk menentukan apakah semuanya tertutup rapat dan membatasi kehilangan atau perolehan panas. Selain itu, kita harus memeriksa sistem pemanas, ventilasi, dan pendingin udara (HVAC) untuk memastikan sistem tersebut hemat energi dan terpelihara dengan baik. Meningkatkan sistem isolasi dan HVAC yang lebih efisien dapat mengurangi konsumsi energi dan emisi gas rumah kaca secara signifikan.

Selanjutnya, kita harus mempertimbangkan sumber energi yang digunakan di dalam gedung. Jika bangunan sangat bergantung pada bahan bakar fosil untuk listrik atau pemanas, penting untuk mencari sumber energi alternatif terbarukan seperti tenaga surya, angin, atau panas bumi. Transisi ke energi terbarukan dapat secara drastis mengurangi emisi gas rumah kaca yang terkait dengan konsumsi energi.

Penggunaan air juga harus dievaluasi. Menerapkan langkah-langkah penghematan air seperti perlengkapan aliran rendah dan sistem irigasi yang efisien dapat mengurangi energi yang dibutuhkan untuk pengolahan dan distribusi air, sehingga secara tidak langsung menurunkan emisi gas rumah kaca.

Aspek lain yang perlu diperhatikan adalah bahan yang digunakan dalam konstruksi dan pemeliharaan bangunan. Produksi dan transportasi bahan-bahan tertentu dapat berkontribusi terhadap emisi gas rumah kaca. Menggunakan bahan-bahan yang bersumber secara lokal dan berkelanjutan serta mendorong praktik daur ulang dan pengurangan limbah dapat membantu meminimalkan jejak karbon yang terkait dengan bahan bangunan.

Selain itu, infrastruktur transportasi gedung harus dievaluasi. Mendorong penggunaan transportasi umum, mendorong bersepeda dan berjalan kaki, serta menyediakan fasilitas kendaraan listrik dapat mengurangi emisi terkait transportasi.

Untuk mengidentifikasi area yang perlu ditingkatkan, melakukan audit energi atau bekerja sama dengan konsultan keberlanjutan dapat memberikan wawasan berharga mengenai pola konsumsi energi gedung dan area dimana efisiensi dapat ditingkatkan.

Kesimpulannya, evaluasi bangunan yang ada untuk mengetahui emisi gas rumah kaca mencakup penilaian efisiensi energi, evaluasi sumber energi, pengurangan konsumsi air, penggunaan bahan ramah lingkungan, dan promosi transportasi ramah lingkungan. Dengan menerapkan langkah-langkah ini, kita dapat mengidentifikasi area yang perlu ditingkatkan dan berkontribusi terhadap pengembangan kota cerdas yang berkelanjutan.

### **Strategi Meminimalkan Dampak Lingkungan dan Meningkatkan Efisiensi Sumber Daya dalam Bangunan**

Untuk mengembangkan dan menerapkan strategi guna meminimalkan dampak lingkungan dan meningkatkan efisiensi sumber daya pada bangunan, beberapa langkah dapat diambil:

1. **Efisiensi Energi:** Salah satu strateginya adalah fokus pada efisiensi energi pada bangunan. Hal ini dapat dicapai dengan menggunakan bahan hemat energi untuk insulasi, jendela, dan penerangan. Selain itu, menggabungkan sistem dan sensor cerdas dapat membantu mengoptimalkan penggunaan energi dan mengurangi pemborosan.
2. **Energi Terbarukan:** Strategi lainnya adalah mengintegrasikan sumber energi terbarukan

ke dalam bangunan. Memasang panel surya atau turbin angin dapat menghasilkan energi bersih dan mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil. Hal ini membantu meminimalkan emisi gas rumah kaca dan menjadikan bangunan lebih berkelanjutan.

3. **Konservasi Air:** Menerapkan langkah-langkah penghematan air sangat penting dalam meminimalkan dampak lingkungan. Hal ini dapat mencakup pemasangan perlengkapan aliran rendah, menampung air hujan untuk irigasi, dan memanfaatkan sistem air limbah ringan (*grey water*). Pengelolaan air yang efisien mengurangi konsumsi air dan melestarikan sumber daya yang berharga ini.
4. **Pengelolaan Limbah:** Pengelolaan limbah yang tepat sangat penting untuk meminimalkan dampak lingkungan. Mendorong daur ulang, pengomposan, dan menerapkan langkah-langkah pengurangan sampah dapat secara signifikan mengurangi jumlah sampah yang dihasilkan oleh bangunan. Selain itu, penerapan sistem pengelolaan sampah yang terdesentralisasi, seperti pengomposan di lokasi atau penguraian anaerobik, dapat lebih meningkatkan efisiensi sumber daya.
5. **Pemilihan Material yang Berkelanjutan:** Memilih material yang berkelanjutan untuk konstruksi sangatlah penting. Memilih material dengan energi yang rendah, seperti material daur ulang atau material lokal, dapat mengurangi dampak lingkungan yang terkait dengan siklus hidup bangunan. Selain itu, mempertimbangkan penggunaan bahan alami atau berbasah dasar bio dapat berkontribusi pada lingkungan dalam ruangan yang lebih sehat.
6. **Ruang Hijau dan Keanekaragaman Hayati:** Mengintegrasikan ruang hijau dalam desain bangunan akan meningkatkan kualitas hidup penghuni dan meningkatkan keanekaragaman hayati. Memasukkan taman atap, dinding hijau vertikal, dan taman komunitas dapat memberikan banyak manfaat, termasuk peningkatan kualitas udara, pengurangan efek pulau panas perkotaan, dan penciptaan habitat bagi satwa liar.
7. **Pendidikan dan Kesadaran:** Menciptakan kesadaran di kalangan penghuni gedung tentang praktik berkelanjutan dan menyediakan program pendidikan dapat menumbuhkan budaya keberlanjutan. Hal ini dapat mencakup tip penghematan energi, pedoman pengurangan limbah, dan informasi tentang fitur lingkungan bangunan. Mendidik warga tentang manfaat hidup berkelanjutan dapat mendorong partisipasi aktif dan dukungan dalam meminimalkan dampak lingkungan.

Dengan menerapkan strategi ini, bangunan dapat berkontribusi terhadap kota cerdas yang berkelanjutan dengan meminimalkan dampak lingkungan, meningkatkan efisiensi sumber daya, dan meningkatkan kualitas hidup penghuninya. Setiap ukuran memiliki manfaat uniknya sendiri dan dapat disesuaikan berdasarkan kebutuhan spesifik dan konteks bangunan.

### **Pemantauan dan Pengkajian Dampak Strategi terhadap Kualitas Hidup Warga**

Untuk memantau dan menilai dampak strategi berkelanjutan terhadap kualitas hidup penduduk di kota cerdas, beberapa langkah dapat diambil. Pertama, pengumpulan data sangat penting untuk memahami keadaan kota saat ini dan kualitas hidup penduduknya. Hal ini dapat dilakukan melalui survei, wawancara, dan analisis sumber data yang ada seperti catatan kesehatan, tingkat kejahatan, dan tingkat lapangan kerja.

Setelah data dikumpulkan, data tersebut perlu dianalisis untuk mengidentifikasi bidang-bidang spesifik di mana strategi berkelanjutan dapat memberikan dampak positif terhadap kualitas hidup. Misalnya, bangunan hemat energi dapat mengurangi tagihan utilitas penghuninya, sehingga meningkatkan pendapatan yang dapat dibelanjakan dan berpotensi meningkatkan

kesejahteraan mereka secara keseluruhan.

Untuk mengukur dampaknya, indikator kinerja utama (KPI) dapat ditetapkan. KPI ini dapat mencakup metrik seperti konsumsi energi, kualitas udara, efisiensi transportasi, akses terhadap ruang hijau, dan kepuasan penduduk. Dengan memantau indikator-indikator ini secara berkala, efektivitas strategi berkelanjutan dapat dinilai dan penyesuaian apa pun yang diperlukan dapat dilakukan.

Selain data kuantitatif, umpan balik kualitatif dari warga juga sangat penting. Hal ini dapat diperoleh melalui kelompok fokus, pertemuan balai kota, atau platform online di mana warga dapat berbagi pengalaman dan pendapat mereka. Masukan mereka dapat memberikan wawasan berharga mengenai keberhasilan dan tantangan penerapan strategi berkelanjutan serta dampaknya terhadap kualitas hidup.

Untuk memastikan penilaian yang menyeluruh, penting untuk melibatkan berbagai pemangku kepentingan, termasuk pejabat kota, perencana kota, pakar lingkungan hidup, dan perwakilan masyarakat. Upaya kolaboratif dapat membantu mengidentifikasi potensi trade-off dan memastikan bahwa strategi yang diterapkan memberikan manfaat bagi seluruh warga, terutama kelompok rentan yang mungkin terkena dampak besar dari permasalahan lingkungan. Pelaporan dan komunikasi rutin mengenai temuan-temuan tersebut sangat penting untuk menjaga agar warga tetap mendapat informasi dan terlibat. Transparansi ini dapat menumbuhkan rasa kepemilikan dan mendorong partisipasi lebih lanjut dalam inisiatif berkelanjutan.

Secara keseluruhan, pemantauan dan penilaian dampak strategi berkelanjutan terhadap kualitas hidup penduduk memerlukan pendekatan komprehensif yang menggabungkan data kuantitatif, umpan balik kualitatif, keterlibatan pemangku kepentingan, dan evaluasi berkelanjutan. Dengan secara aktif memantau dan menyesuaikan strategi-strategi ini, kota cerdas yang berkelanjutan dapat terus meningkatkan kesejahteraan dan kepuasan penduduknya sekaligus meminimalkan dampak terhadap lingkungan.

### **Pengembangan Kerangka Kerja Untuk Mengevaluasi Dampak Lingkungan dan Efisiensi Sumber Daya Dari Bangunan Yang Ada Di Kota Cerdas.**

Untuk mengembangkan kerangka kerja guna mengevaluasi dampak lingkungan dan efisiensi sumber daya dari bangunan yang ada di kota cerdas, beberapa langkah dapat diambil:

1. Tentukan Indikator Kinerja Utama (KPI): Identifikasi indikator spesifik yang akan digunakan untuk mengukur dampak lingkungan dan efisiensi sumber daya bangunan. KPI ini dapat mencakup metrik seperti konsumsi energi, penggunaan air, timbulan limbah, dan emisi gas rumah kaca.
2. Melakukan Penilaian Awal: Mengumpulkan data tentang bangunan yang ada di kota cerdas untuk menetapkan dasar evaluasi. Penilaian ini harus mencakup informasi tentang desain bangunan, bahan konstruksi, sistem energi, sistem air, dan praktik pengelolaan limbah.
3. Analisis Data dan Identifikasi Peluang: Analisis data yang dikumpulkan untuk mengidentifikasi bidang-bidang yang dapat dilakukan perbaikan untuk mengurangi dampak lingkungan dan meningkatkan efisiensi sumber daya. Hal ini dapat mencakup

penilaian kinerja energi bangunan, mengidentifikasi peluang integrasi energi terbarukan, mengevaluasi pola penggunaan air, dan mengeksplorasi strategi pengurangan limbah.

4. Kembangkan Metodologi Evaluasi: Buat metodologi untuk mengevaluasi dampak lingkungan dan efisiensi sumber daya bangunan berdasarkan KPI yang diidentifikasi. Metodologi ini harus menguraikan bagaimana data akan dikumpulkan, dianalisis, dan dibandingkan terhadap tolok ukur atau standar.
5. Menerapkan Kerangka Evaluasi: Menerapkan metodologi evaluasi pada bangunan yang ada di kota cerdas. Hal ini dapat dilakukan melalui penilaian di lokasi, pengumpulan data melalui sensor dan sistem pemantauan, serta melibatkan pemilik dan penghuni gedung untuk mengumpulkan informasi.
6. Menilai dan Menilai Bangunan: Evaluasi setiap bangunan berdasarkan KPI yang ditetapkan dan data yang dikumpulkan. Tetapkan peringkat atau skor yang menunjukkan dampak lingkungan dan kinerja efisiensi sumber daya setiap bangunan. Hal ini dapat dilakukan dengan menggunakan skala atau sistem penilaian, seperti sertifikasi LEED (Leadership in Energy and Environmental Design).
7. Memberikan Rekomendasi dan Rencana Aksi: Berdasarkan hasil evaluasi, kembangkan rekomendasi dan rencana aksi untuk meningkatkan dampak lingkungan dan efisiensi sumber daya bangunan. Hal ini dapat mencakup penyesuaian strategi, perubahan perilaku, penerapan teknologi baru, atau rekomendasi kebijakan untuk memberi insentif pada praktik berkelanjutan.
8. Monitor dan Tinjauan: Terus memantau kinerja bangunan dan meninjau efektivitas langkah-langkah yang diterapkan. Hal ini akan membantu mengidentifikasi bidang-bidang yang memerlukan perbaikan atau penyesuaian lebih lanjut terhadap kerangka evaluasi.

Dengan mengikuti langkah-langkah ini, kerangka kerja dapat dikembangkan untuk mengevaluasi dampak lingkungan dan efisiensi sumber daya dari bangunan yang ada di kota cerdas. Kerangka kerja ini akan memberikan dasar untuk pengambilan keputusan, menentukan prioritas bidang-bidang yang perlu diperbaiki, dan mendorong penerapan praktik-praktik berkelanjutan dalam lingkungan binaan kota.

### **Penerapan Plafon Digital Berbasis AI Untuk Pengembangan Kota Cerdas Yang Berkelanjutan**

Teknologi plafon digital berbasis AI semakin lazim dalam pengembangan kota cerdas yang berkelanjutan. Teknologi ini menawarkan solusi serbaguna dan efisien untuk lingkungan perkotaan dengan menggabungkan fungsionalitas berbagai teknologi terkini. Mereka dapat dipasang di plafon atau di bawah lantai yang ditinggikan, berkontribusi terhadap peningkatan efisiensi, komunikasi, dan produktivitas dalam proyek konstruksi, desain interior, aplikasi IoT industri, dan robotika. Setidaknya ada empat contoh penerapan plafon digital untuk pengembangan kota cerdas yang berkelanjutan. Pertama, industri konstruksi, yaitu plafon digital berbasis AI diterapkan dalam industri konstruksi untuk membangun rantai pasokan cerdas, platform kolaborasi, memungkinkan pengoperasian dan pemantauan jarak jauh, serta meningkatkan efisiensi, komunikasi, dan produktivitas. Teknologi ini selaras dengan tujuan pembangunan perkotaan berkelanjutan. Kedua, desain interior dan arsitektur. Plafon digital berbasis AI telah diterapkan dalam desain interior dan arsitektur. Alat seperti Interior AI memanfaatkan kecerdasan buatan untuk memberikan inspirasi desain dan pementasan virtual, membantu desainer dan arsitek memvisualisasikan dan menciptakan ruang yang estetik. Dengan mendeteksi detail interior ruangan secara akurat, teknologi ini membantu mengoptimalkan pilihan desain dan meningkatkan pengalaman pengguna secara keseluruhan. Contoh penerapan plafon digital yang ketiga adalah aplikasi IoT Industri. Plafon digital berbasis



AI dimanfaatkan dalam aplikasi IoT industri untuk memungkinkan konektivitas yang efisien dan cerdas dalam jaringan IoT. Perusahaan seperti Cisco mengintegrasikan teknologi plafon digital ke dalam lingkungan industri, merevolusi proses industri, meningkatkan efisiensi operasional, dan berkontribusi terhadap pembangunan perkotaan yang berkelanjutan. Kemudian terakhir adalah teknologi robotik dalam konstruksi. Teknologi robotik, yang sering kali diintegrasikan dengan plafon digital berbasis AI, sedang digunakan di berbagai bidang sektor konstruksi, termasuk perakitan di luar lokasi dan manajemen lokasi. Robot-robot ini mengotomatisasi dan menyederhanakan proses konstruksi, mengurangi tenaga kerja manual dan meningkatkan presisi, sehingga meningkatkan produktivitas dan keselamatan.

### **Persyaratan dan Tujuan Utama Pembangunan Kota Cerdas Berkelanjutan**

Untuk mencapai pembangunan kota cerdas yang berkelanjutan, beberapa faktor perlu dipertimbangkan. Berikut ini ditunjukkan tujuh persyaratan dan tujuan utama pembangunan kota cerdas berkelanjutan. Pertama, efisiensi energi, yaitu mengoptimalkan konsumsi energi dan mengurangi limbah dengan menerapkan teknologi dan infrastruktur hemat energi seperti jaringan listrik cerdas, sistem pencahayaan cerdas, dan sistem manajemen energi. Kedua, kelestarian lingkungan berupa memprioritaskan pelestarian dan peningkatan lingkungan melalui strategi untuk mengurangi polusi, mempromosikan sumber energi bersih, melindungi ruang hijau, mendorong pilihan transportasi berkelanjutan, dan menerapkan sistem pengelolaan limbah. Ketiga, mobilitas cerdas, yaitu meningkatkan mobilitas dalam kota cerdas dengan mengembangkan sistem transportasi cerdas, mengintegrasikan solusi manajemen lalu lintas yang cerdas, mempromosikan moda transportasi tidak bermotor, dan menerapkan sistem parkir cerdas untuk mengurangi kemacetan dan emisi. Keempat berupa konektivitas dan infrastruktur digital, yaitu memastikan konektivitas dan infrastruktur digital yang kuat untuk mendukung berbagai aplikasi dan layanan cerdas. Menyebarkan jaringan broadband berkecepatan tinggi, membangun pusat data untuk penyimpanan dan analisis data yang efisien, dan menyediakan platform dan aplikasi digital untuk pengelolaan sumber daya kota yang efisien.

Persyaratan dan tujuan utama berikutnya adalah yang bersifat non teknis. Persyaratan yang kelima, keterlibatan dan partisipasi adalah warga berupa melibatkan warga dalam proses pengambilan keputusan melalui platform partisipatif dan struktur tata kelola yang transparan untuk memastikan pembangunan kota sejalan dengan kebutuhan dan aspirasi mereka. Menumbuhkan rasa kepemilikan dan tanggung jawab warga terhadap pertumbuhan berkelanjutan. Kemudian persyaratan yang keenam, yaitu ketahanan dan kemampuan beradaptasi, adalah membangun ketahanan terhadap bencana alam, perubahan iklim, dan potensi risiko lainnya. Menerapkan infrastruktur cerdas yang tahan terhadap kejadian ekstrem, mengembangkan sistem peringatan dini, dan menerapkan strategi adaptif untuk mengatasi perubahan kondisi lingkungan. Selanjutnya yang terakhir berupa pertumbuhan ekonomi dan inovasi. Ini berupa dorongan pertumbuhan ekonomi dengan menarik investasi di industri berkelanjutan, mendukung perusahaan rintisan dan lembaga penelitian yang berfokus pada solusi kota cerdas, dan menciptakan lingkungan yang kondusif bagi kewirausahaan dan penciptaan lapangan kerja.

### **Evaluasi dan Pilihan Solusi Plafon Digital Berbasis AI**

Untuk memilih solusi plafon digital berbasis AI yang paling sesuai untuk sebuah proyek, penilaian menyeluruh terhadap opsi yang tersedia harus dilakukan. Langkah-langkah berikut dapat memandu proses evaluasi:

1. Meneliti dan Mengidentifikasi Solusi Plafon Digital Berbasis AI: Melakukan penelitian ekstensif untuk mengidentifikasi berbagai solusi plafon digital berbasis AI yang tersedia di pasar. Pertimbangkan fitur, kemampuan, kompatibilitas dengan pengembangan kota cerdas, dan aspek keberlanjutannya.
2. Evaluasi Fitur Solusi: Menilai setiap fitur dan fungsi solusi, dengan fokus pada aspek yang

relevan dengan tujuan proyek. Mempertimbangkan kemampuan solusi dalam memantau dan mengontrol faktor lingkungan, deteksi hunian, kemampuan pemeliharaan prediktif, dan integrasi dengan infrastruktur kota cerdas lainnya.

3. Menilai Skalabilitas dan Fleksibilitas: Analisis skalabilitas setiap solusi untuk memastikan solusi tersebut dapat memenuhi ukuran dan kompleksitas pengembangan kota cerdas. Pertimbangkan apakah solusi tersebut dapat dengan mudah diperluas atau disesuaikan untuk mengakomodasi kebutuhan dan kemajuan teknologi AI di masa depan.
4. Analisis Kemampuan Pemrosesan Data dan Analisis: Evaluasi kemampuan pemrosesan data solusi untuk menangani volume, kecepatan, dan variasi data yang dihasilkan oleh batas digital. Pertimbangkan analisis data real-time, wawasan yang dapat ditindaklanjuti, dan analisis prediktif untuk pengelolaan kota yang efisien.
5. Pertimbangkan Integrasi dan Interoperabilitas: Menilai kompatibilitas dan interoperabilitas setiap solusi dengan infrastruktur dan sistem yang ada dalam kerangka kota cerdas. Pertimbangkan integrasi yang lancar dengan aplikasi dan platform berbasis AI lainnya.
6. Tinjau Fitur Keberlanjutan: Evaluasi fitur efisiensi energi solusi dan potensinya untuk berkontribusi terhadap pembangunan berkelanjutan. Menilai apakah solusi tersebut menggabungkan sumber energi terbarukan, mengoptimalkan penggunaan sumber daya, dan mendukung praktik ramah lingkungan.
7. Analisis Biaya: Bandingkan biaya yang terkait dengan setiap solusi, termasuk pemasangan, pemeliharaan, dan potensi peningkatan di masa mendatang. Pertimbangkan laba atas investasi (ROI) jangka panjang dan nilai keseluruhan yang diberikan oleh setiap solusi.
8. Keputusan dan Seleksi: Berdasarkan evaluasi, pilih solusi plafon digital berbasis AI yang paling selaras dengan tujuan, persyaratan, dan anggaran proyek. Dokumentasikan alasan di balik keputusan tersebut, soroti faktor-faktor utama yang memengaruhi pemilihan.

### Integrasi Infrastruktur

Untuk menerapkan dan mengintegrasikan solusi plafon digital berbasis AI yang dipilih ke dalam infrastruktur kota cerdas, terdapat enam langkah yang harus dipertimbangkan, (1) identifikasi komponen infrastruktur kota cerdas yang akan terpengaruh oleh solusi plafon digital, seperti sistem pencahayaan, sensor, kamera, sistem HVAC, dll., (2) hubungkan dan konfigurasi solusi plafon digital dengan komponen infrastruktur yang ada, untuk memastikan pertukaran dan kontrol data yang lancar, (3) mengembangkan atau memodifikasi infrastruktur perangkat lunak untuk mendukung integrasi solusi plafon digital, termasuk API, middleware, atau adaptor, (4) memastikan langkah-langkah keamanan yang tepat diterapkan untuk melindungi infrastruktur terintegrasi dari ancaman dunia maya, termasuk mekanisme enkripsi, autentikasi, dan kontrol akses, (5) uji dan validasi integrasi untuk memastikan fungsionalitas dan kinerja yang tepat, dan terakhir (6) memantau dan memelihara infrastruktur terintegrasi untuk memastikan operasi dan kinerja berkelanjutan.

Dengan mengikuti langkah-langkah ini, solusi plafon digital berbasis AI yang sesuai dapat dipilih dan diintegrasikan secara efektif ke dalam infrastruktur kota cerdas.

### Hambatan

Penerapan Plafon Digital berbasis AI untuk pengembangan kota cerdas yang berkelanjutan menghadapi sejumlah kendala. Berikut ini ditunjukkan setidaknya delapan kendala. Pertama, investasi awal yang tinggi. Disini penerapan infrastruktur plafon digital berbasis AI memerlukan

investasi awal yang signifikan pada sensor, aktuator, peralatan jaringan, dan perangkat lunak AI. Hal ini dapat menjadi hambatan bagi kota-kota yang memiliki anggaran terbatas. Kedua masalah privasi dan keamanan data. Plafon digital menghasilkan data dalam jumlah besar, termasuk informasi sensitif tentang penghuni dan aktivitas mereka. Memastikan privasi dan keamanan data ini sangat penting dan dapat menimbulkan tantangan akibat potensi serangan siber atau penyalahgunaan. Hambatan ketiga adalah masalah interoperabilitas dan standardisasi. Vendor yang berbeda sering kali menggunakan protokol dan sistem berpemilik, sehingga sulit untuk mengintegrasikan berbagai komponen plafon digital secara mulus. Kurangnya standardisasi dapat menyebabkan masalah kompatibilitas dan menghambat adopsi plafon digital berbasis AI secara luas. Kemudian yang keempat adalah keahlian teknis dan kesenjangan keterampilan untuk merancang, memasang, dan memelihara sistem plafon digital berbasis AI memerlukan pengetahuan dan keterampilan teknis khusus yang mungkin tidak tersedia di semua kota. Hal ini dapat menimbulkan tantangan dalam menemukan personel yang memenuhi syarat dan menerapkan sistem ini secara efektif.

Hambatan selanjutnya bersifat non teknis. Hambatan kelima merupakan kerangka peraturan dan hukum. Penggunaan AI dan teknologi berbasis data di lingkungan perkotaan menimbulkan pertanyaan tentang pengawasan peraturan dan kerangka hukum. Ketidadaan pedoman yang jelas dapat menimbulkan ketidakpastian dan menghambat pengembangan plafon digital berbasis AI. Kemudian hambatan keenam adalah penerimaan dan kepercayaan publik. Penerapan teknologi berbasis AI di ruang publik mungkin menghadapi hambatan karena kekhawatiran mengenai pengawasan, privasi data, dan potensi penyalahgunaan. Membangun kepercayaan dan penerimaan masyarakat sangat penting untuk keberhasilan penerapan batas digital di kota cerdas. Selanjutnya, hambatan ketujuh berupa tantangan skalabilitas dan kemampuan beradaptasi. Seiring pertumbuhan dan perkembangan kota, sistem plafon digital harus dapat diperluas dan disesuaikan dengan perubahan kebutuhan. Memastikan bahwa sistem ini dapat mengakomodasi perkembangan dan teknologi di masa depan merupakan sebuah tantangan besar. Hambatan terakhir adalah pertimbangan etis. Penggunaan AI dan teknologi berbasis data menimbulkan kekhawatiran etis mengenai bias, diskriminasi, dan potensi penyalahgunaan kekuasaan. Mengatasi pertimbangan etis ini sangat penting untuk pengembangan dan penerapan plafon digital berbasis AI yang bertanggung jawab. Untuk mengatasi kendala-kendala ini diperlukan pendekatan multi-aspek yang melibatkan kolaborasi antara pemerintah, industri, akademisi, dan masyarakat sipil. Dengan mengatasi tantangan-tantangan ini, plafon digital berbasis AI dapat memainkan peran penting dalam menciptakan kota cerdas yang lebih berkelanjutan, efisien, dan layak huni.

### **Tren Masa Depan**

Tren masa depan dalam penerapan Plafon Digital berbasis AI untuk pengembangan kota cerdas yang berkelanjutan cukup menjanjikan dan transformatif. Tren ini dapat dikelompokkan menjadi dua bagian besar, yaitu yang berbasis manusia dan yang berbasis teknologi (NewMax, 2023).

Untuk yang berbasis manusia terdapat empat jenis tren. Pertama adalah peningkatan keselamatan dan keamanan. Plafon digital berbasis AI akan dilengkapi dengan sensor dan kamera canggih yang dapat mendeteksi potensi bahaya keselamatan, seperti kebakaran, kebocoran gas, atau akses tidak sah. Hal ini akan meningkatkan keselamatan dan keamanan publik di kota cerdas. Yang kedua, pengambilan keputusan berdasarkan data. Sejumlah besar data yang dihasilkan oleh plafon digital akan digunakan untuk menginformasikan pengambilan keputusan di berbagai bidang, seperti perencanaan kota, transportasi, dan kesehatan masyarakat. Hal ini akan mengarah pada kebijakan dan intervensi yang lebih berbasis bukti. Kemudian tren ketiga merupakan peningkatan personalisasi dan pengalaman pengguna. Plafon digital berbasis AI akan menawarkan pengalaman yang dipersonalisasi bagi penghuninya, menyesuaikan pencahayaan, suhu, dan faktor lingkungan lainnya sesuai preferensi individu. Hal ini akan meningkatkan kenyamanan, produktivitas, dan kesejahteraan secara keseluruhan. Terakhir, tren keempat adalah desain yang berpusat pada manusia: Solusi plafon digital masa depan akan memprioritaskan prinsip-prinsip desain yang berpusat pada

manusia, memastikan bahwa teknologi memenuhi kebutuhan dan preferensi pengguna. Hal ini akan melibatkan penggabungan umpan balik dan preferensi pengguna ke dalam desain dan pengoperasian sistem plafon digital.

Kemudian tren yang berbasis teknologi terdapat enam bentuk. Pertama, peningkatan integrasi dan interoperabilitas. Plafon digital akan menjadi lebih terintegrasi dengan sistem kota cerdas lainnya, seperti jaringan cerdas, jaringan transportasi, dan infrastruktur keselamatan publik. Hal ini akan memungkinkan pertukaran data dan kolaborasi yang lancar antar sistem yang berbeda, sehingga menghasilkan pengelolaan kota yang lebih efisien dan efektif. Kemudian kedua, algoritma AI dan pembelajaran mesin tingkat lanjut. Penggunaan algoritma AI dan pembelajaran mesin yang canggih akan memungkinkan plafon digital menganalisis sejumlah besar data secara real-time, memberikan wawasan berharga mengenai pola konsumsi energi, tren hunian, dan kondisi lingkungan. Hal ini akan memfasilitasi pengambilan keputusan yang lebih baik dan optimalisasi sumber daya kota. Tren ketiga adalah pemeliharaan prediktif dan deteksi kesalahan. Algoritma AI akan mampu memprediksi kegagalan peralatan dan mengidentifikasi potensi masalah pemeliharaan sebelum terjadi. Hal ini akan mengurangi waktu henti, meningkatkan efisiensi, dan memperpanjang umur infrastruktur plafon digital. Kemudian tren keempat merupakan optimalisasi energi dan respon permintaan. Plafon digital akan memainkan peran penting dalam mengoptimalkan konsumsi energi di kota cerdas. Dengan menganalisis data real-time dan pola hunian, algoritma AI dapat menyesuaikan sistem pencahayaan, pemanas, dan pendingin untuk meminimalkan pemborosan energi dan mengurangi permintaan puncak. Selanjutnya, tren kelima adalah integrasi sumber energi terbarukan. Plafon digital akan diintegrasikan dengan sumber energi terbarukan seperti panel surya dan turbin angin, sehingga memungkinkan pengelolaan pembangkitan dan penyimpanan energi yang lebih baik. Hal ini akan berkontribusi pada sistem energi yang lebih berkelanjutan dan berketahanan. Terakhir, edge computing dan desentralisasi. Penggunaan edge computing akan memungkinkan pemrosesan dan analisis data yang lebih cepat lebih dekat ke sumbernya, mengurangi latensi dan meningkatkan daya tanggap sistem plafon digital. Ini juga akan meningkatkan privasi dan keamanan data.

Kesimpulannya, masa depan batas digital berbasis AI dalam pengembangan kota cerdas yang berkelanjutan sangatlah cerah. Seiring dengan kemajuan teknologi, kita dapat melihat penerapan teknologi yang lebih inovatif dan transformatif, sehingga menghasilkan kota yang lebih berkelanjutan, efisien, dan layak huni.

## KESIMPULAN

### Rangkuman

Penerapan plafon digital berbasis AI untuk pengembangan kota cerdas yang berkelanjutan dipicu oleh tiga hal utama. Pertama adanya tren semakin maraknya transisi jaringan distribusi listrik dari arus bolak-balik bertegangan rendah (LVAC – *low voltage alternating current*) menjadi arus searah bertegangan rendah (LVDC – *low voltage direct current*). Manfaat penggunaan LVDC banyak di sisi pertimbangan keselamatan dan kebutuhan peningkatan infrastruktur energi perkotaan. Meski demikian jaringan lama, yaitu LVAC, tetap diterapkan dengan pola sistem hibrid. Disini dijelaskan opsi distribusi jaringan LVAC, LVDC, dan hibrid untuk penyaluran daya yang efisien. Di samping itu semakin banyaknya penerapan LVDC karena dipicu dengan diterbitkannya standar IEEE 802.3bt PoE yang memungkinkan pengendalian daya berarus DC hingga hampir 100 W. Hal ini karena teknologi PoE kini menawarkan beragam aplikasi di luar kontrol akses dasar dan alarm, seperti sistem kontrol akses cerdas.

Kedua, dengan diterapkannya PoE yang berdaya tinggi bisa menumbuhkan penerapan plafon digital berbasis AI. Langkah-langkahnya termasuk mengidentifikasi infrastruktur kota cerdas yang terkena dampak, mengonfigurasi solusi plafon digital, integrasi perangkat lunak, dan penilaian dampak lingkungan.

Ketiga, dengan adanya plafon digital dapat berkembangnya kota cerdas yang berkelanjutan. Hal ini dijelaskan pada implementasi Jakarta Smart City Initiatives yang sudah berjalan, yang fokus pada transformasi digital, tata kelola, dan pemanfaatan teknologi untuk optimalisasi pelayanan publik. Dengan penerapan LVDC maka dapat dikurangi emisi gas rumah kaca. Strategi seperti penerapan energi terbarukan dan penggunaan material lokal dapat mengurangi emisi operasional secara signifikan.

### **Pentingnya Topik Bahasan**

Penerapan Plafon Digital berbasis AI untuk pengembangan kota cerdas yang berkelanjutan menghadirkan beberapa masalah penting yang perlu diatasi agar implementasi berhasil:

1. **Privasi dan Keamanan Data:** Plafon digital mengumpulkan sejumlah besar data, termasuk informasi sensitif tentang penghuni dan aktivitas mereka. Memastikan privasi dan keamanan data ini sangat penting untuk mencegah akses tidak sah, penyalahgunaan, atau pelanggaran yang dapat merugikan individu atau membahayakan integritas sistem.
2. **Pertimbangan Etis dan Bias:** Algoritme AI yang digunakan dalam plafon digital mungkin secara tidak sengaja melanggengkan bias yang ada dalam data yang dilatih. Hal ini dapat mengakibatkan hasil yang diskriminatif, seperti alokasi sumber daya yang tidak setara atau perlakuan tidak adil terhadap kelompok tertentu. Mengatasi bias dan memastikan pengambilan keputusan yang etis dengan sistem AI sangatlah penting.
3. **Interoperabilitas dan Standardisasi:** Kurangnya interoperabilitas dan standardisasi di berbagai vendor dan sistem dapat menghambat integrasi batas digital dengan infrastruktur kota cerdas lainnya. Mengembangkan standar dan protokol umum sangat penting untuk memastikan kompatibilitas dan memungkinkan pertukaran data yang efisien antara berbagai komponen ekosistem kota cerdas.
4. **Biaya dan Aksesibilitas:** Penerapan plafon digital berbasis AI membutuhkan biaya yang mahal, sehingga menyulitkan kota-kota dengan sumber daya terbatas untuk mengadopsi teknologi ini. Memastikan bahwa manfaat plafon digital dapat diakses oleh semua komunitas, terlepas dari status ekonomi mereka, merupakan sebuah pertimbangan penting.
5. **Penerimaan dan Kepercayaan Publik:** Penerapan teknologi bertenaga AI di ruang publik dapat menimbulkan kekhawatiran mengenai pengawasan, privasi data, dan potensi penyalahgunaan informasi. Membangun kepercayaan publik dan memastikan transparansi dalam penggunaan batas digital berbasis AI sangat penting untuk penerimaan dan keberhasilan integrasi ke dalam lingkungan kota cerdas.
6. **Kesenjangan Keterampilan dan Pengembangan Tenaga Kerja:** Penerapan dan pemeliharaan batas atas digital berbasis AI memerlukan keterampilan dan keahlian khusus. Mengatasi kesenjangan keterampilan dan berinvestasi dalam program pengembangan tenaga kerja sangat penting untuk memastikan bahwa kota memiliki talenta yang diperlukan untuk mengelola dan mengoperasikan sistem yang kompleks ini secara efektif.
7. **Kerangka Peraturan:** Pesatnya kemajuan teknologi AI di kota cerdas memerlukan pengembangan kerangka peraturan yang tepat untuk mengatur penggunaannya. Kerangka kerja ini harus mengatasi permasalahan seperti privasi data, pertimbangan etis, dan akuntabilitas dalam pengambilan keputusan yang didorong oleh AI.
8. **Dampak Lingkungan:** Meskipun plafon digital dapat berkontribusi terhadap tujuan keberlanjutan, produksi dan pembuangan komponen elektronik dapat menimbulkan konsekuensi terhadap lingkungan. Mempertimbangkan dampak penuh dari teknologi



plafon digital dan menerapkan raktik berkelanjutan dalam pembuatan dan pembuangannya sangatlah penting.

Mengatasi masalah-masalah kritis ini sangat penting untuk memastikan bahwa penerapan plafon digital berbasis AI berkontribusi terhadap pembangunan kota cerdas yang berkelanjutan, adil, dan inklusif yang bermanfaat bagi semua penduduk.

### Rencana Tindak Yang Dapat Kita Lakukan

Untuk mendukung penerapan plafon digital untuk pengembangan kota cerdas yang berkelanjutan, dengan fokus pada transisi dari LVAC ke LVDC, terdapat tiga aspek penting yaitu pengembangan teknologi berkelanjutan, prioritaskan pada efisiensi energi, dan peningkatan partisipasi masyarakat.

Aspek pertama, yaitu pengembangan teknologi berkelanjutan terdapat tiga kerangka tindak lanjut. Pertama, membangun platform data terpadu bagi jaringan distribusi listrik. Di sini perlu diperhatikan integrasi data dari berbagai sumber, termasuk jaringan energi, sistem manajemen gedung, dan jaringan transportasi, ke dalam platform terpusat, dan penggunaan *platform* ini untuk memantau konsumsi energi, mengidentifikasi inefisiensi, dan mengoptimalkan distribusi daya selama transisi LVAC ke LVDC. Kerangka kedua adalah pengembangan kembaran digital (*digital twin*) kota. Ini dilakukan dengan cara membuat replika virtual infrastruktur energi kota, mensimulasikan dampak berbagai skenario penerapan LVDC, dan menggunakan kembaran digital ini untuk menguji dan memvalidasi teknologi baru, mengidentifikasi potensi risiko dan tantangan, serta mengoptimalkan proses transisi. Kemudian kerangka ketiga adalah menerapkan teknologi *smart grid*. Ini dilakukan dengan cara menyebarkan sensor, meteran, dan jaringan komunikasi canggih untuk memungkinkan pemantauan dan kontrol jaringan listrik secara *real-time*, dan menggunakan teknologi ini untuk mengoptimalkan aliran energi, mengelola permintaan puncak, dan mengintegrasikan sumber energi terbarukan dengan lancar selama masa transisi.

Aspek kedua adalah memprioritaskan efisiensi energi. Di sini terdapat dua cara yaitu mendorong penerapan peralatan dan desain bangunan hemat energi untuk mengurangi konsumsi energi secara keseluruhan, dan menggunakan batasan digital untuk memantau dan menganalisis pola penggunaan energi, mengidentifikasi area yang perlu ditingkatkan, dan mendorong praktik berkelanjutan.

Kemudian aspek terakhir adalah menumbuhkan keterlibatan masyarakat. Kegiatan yang dapat dikembangkan di sini antara lain adalah mengembangkan antarmuka dan alat yang mudah digunakan untuk memberdayakan masyarakat dalam memantau konsumsi energi mereka dan berpartisipasi dalam program respons permintaan, dan menggunakan plafon digital untuk memberikan informasi *real-time* mengenai penggunaan energi dan status jaringan listrik, sehingga mendorong transparansi dan kepercayaan.

Dengan memanfaatkan kekuatan teknologi digital, kita dapat menciptakan infrastruktur energi yang lebih tangguh, efisien, dan berkelanjutan yang mendukung transisi ke LVDC dan berkontribusi terhadap pengembangan kota cerdas secara keseluruhan.

### Pertanyaan Diskusi Lebih Lanjut

Di atas telah dirangkum sejumlah poin utama yang dibahas pada bab ini termasuk poin penting dan tindakan yang dapat diterapkan untuk masa depan. Berikut adalah sejumlah pertanyaan untuk memandu diskusi mengenai potensi transisi dari LVAC ke LVDC, yang melibatkan penerimaan masyarakat, tantangan implementasi, dan peran industri:

Pertama, dari sisi penerimaan dan pemahaman masyarakat perlu diajukan pertanyaan sebagai berikut:

1. Bagaimana kita dapat mengkomunikasikan manfaat LVDC secara efektif kepada masyarakat dengan cara yang dapat dimengerti dan relevan dengan kehidupan mereka sehari-hari? (Fokus pada penghematan energi, keselamatan, kompatibilitas peralatan, dll.);
2. Apa kekhawatiran utama atau kesalahpahaman yang mungkin dimiliki masyarakat tentang LVDC? Bagaimana kita dapat mengatasi permasalahan tersebut melalui pendidikan dan



penjangkauan? (Masalah keamanan, kompleksitas yang dirasakan, implikasi biaya);

3. Bagaimana kita dapat melibatkan masyarakat dalam proses pengambilan keputusan terkait penerapan LVDC? Metode apa yang paling efektif untuk mengumpulkan masukan dan umpan balik masyarakat? (Survei, forum komunitas, proyek percontohan).

Kedua, dari sisi tantangan teknis dan Implementasi perlu diajukan pertanyaan sebagai berikut:

1. Apa saja hambatan teknis utama yang harus diatasi agar penerapan LVDC dapat dilakukan secara luas? (Standarisasi, stabilitas jaringan, mekanisme perlindungan, aliran daya dua arah);
2. Bagaimana kita dapat memastikan keamanan sistem LVDC bagi konsumen dan pekerja listrik? Standar dan peraturan keselamatan apa yang perlu ditetapkan? (Bahaya arc flash, sengatan listrik, keselamatan peralatan);
3. Apa implikasi biaya dari peralihan ke LVDC? Bagaimana kita dapat membuat transisi ini layak secara ekonomi bagi perusahaan utilitas dan konsumen? (Peningkatan infrastruktur, penggantian peralatan, manfaat biaya jangka panjang)

Ketiga, dari sisi peran dan tanggung jawab industri perlu diajukan pertanyaan sebagai berikut:

1. Apa peran industri kelistrikan dalam mengembangkan dan mempromosikan teknologi LVDC? Bagaimana kolaborasi industri dapat mempercepat penerapan LVDC? (Penelitian dan pengembangan, proyek percontohan, transfer teknologi);
2. Bagaimana produsen dapat memastikan kompatibilitas antara peralatan LVDC baru dan infrastruktur LVAC yang ada selama masa transisi? (Adaptor, sistem hybrid, pelabelan dan komunikasi yang jelas);
3. Apa insentif ekonomi bagi industri untuk berinvestasi pada teknologi LVDC? Bagaimana pemerintah dan badan pengawas dapat mendorong partisipasi industri? (Subsidi, insentif pajak, hibah, mekanisme berbasis pasar)

Terakhir, pertanyaan tambahan untuk diskusi lebih dalam perlu diajukan pertanyaan sebagai berikut:

1. Bagaimana kita dapat menciptakan pendekatan bertahap terhadap penerapan LVDC yang meminimalkan gangguan terhadap infrastruktur yang ada dan memaksimalkan manfaat bagi pengguna awal?
2. Apa dampak lingkungan dari LVDC dalam hal efisiensi energi dan pengurangan emisi karbon? Bagaimana kita dapat memanfaatkan LVDC untuk mendukung integrasi energi terbarukan?
3. Apa potensi implikasi geopolitik dari peralihan global menuju LVDC? Bagaimana kita bisa memastikan kerja sama dan standarisasi internasional?

## REKOMENDASI KEBIJAKAN (POLICY BRIEF)

Pemerintah Provinsi Daerah Khusus Jakarta, yang baru dibentuk sesuai Undang-Undang Nomor 2 Tahun 2024, sebaiknya mempertimbangkan penerapan plafon digital berbasis AI sebagai kerangka strategis untuk memandu dan mempercepat pembangunan kota cerdas yang berkelanjutan. Pendekatan ini melibatkan pengintegrasian kecerdasan buatan (AI) dengan pengumpulan data, analisis, dan proses pengambilan keputusan di berbagai sektor perkotaan. Setidaknya terdapat empat rekomendasi yang dapat dikembangkan. Pertama,

memprioritaskan pengumpulan dan integrasi data. Berinvestasi dalam mekanisme pengumpulan data yang kuat untuk mengumpulkan informasi real-time mengenai pola lalu lintas, konsumsi energi, kualitas udara, keselamatan publik, dan parameter perkotaan penting lainnya. Integrasikan data ini ke dalam platform terpadu yang dapat diakses oleh lembaga terkait dan pengambil keputusan.

Kedua pengembangan sistem cerdas berkelanjutan. Di sini terdapat tiga pola pengembangan. Pertama membangun Sentra AI Terpadu. Pola ini dilakukan dengan menciptakan Sentra AI Terpadu (*Centralized AI Hub*) di dalam struktur pemerintahan untuk mengoordinasikan dan mengawasi pengembangan dan penerapan solusi berbasis AI. Sentra ini harus berkolaborasi dengan pemangku kepentingan terkait, termasuk penyedia teknologi, lembaga penelitian, dan perwakilan masyarakat. Pola kedua adalah mengembangkan Model Prediktif Berbasis AI: Memanfaatkan algoritma AI untuk menganalisis data historis dan real-time guna mengembangkan model prediktif yang dapat mengantisipasi tren dan tantangan di masa depan. Model-model ini dapat memberikan informasi dalam pengambilan keputusan di berbagai bidang seperti manajemen lalu lintas, alokasi sumber daya, dan tanggap darurat. Kemudian pola ketiga, menerapkan Otomatisasi Cerdas: Dengan memanfaatkan AI untuk mengotomatiskan tugas dan proses rutin, sehingga membebaskan sumber daya manusia untuk aktivitas yang lebih kompleks dan strategis. Hal ini dapat mengarah pada peningkatan efisiensi, pengurangan biaya, dan peningkatan penyampaian layanan.

Kemudian rekomendasi ketiga adalah agar memastikan transparansi dan akuntabilitas. Di sini perlu ditetapkan pedoman yang jelas dan kerangka etika untuk penggunaan AI dalam tata kelola. Memastikan transparansi dalam pengumpulan data dan pengembangan algoritme, serta menyediakan mekanisme pengawasan dan umpan balik publik.

Rekomendasi terakhir adalah menerapkan skema pendanaan untuk mengembangkan kota cerdas yang berkelanjutan berupa Kerjasama Pemerintah dan Badan Usaha (KPBU – *Public Private Partnership/PPP*): Berkolaborasi dengan sektor badan usaha untuk memanfaatkan keahlian dan sumber daya mereka dalam mengembangkan dan menerapkan solusi berbasis AI. Mendorong inovasi dan kewirausahaan di ranah kota cerdas.

Dengan mengadopsi plafon digital berbasis AI, Pemprov DKI Jakarta dapat mempercepat perjalanannya menuju kota cerdas yang berkelanjutan, meningkatkan kualitas hidup penduduknya, dan memposisikan diri sebagai pemimpin dalam inovasi perkotaan.

## DAFTAR PUSTAKA

- Almatar, K. M. (2023, Mar 1). Towards sustainable green mobility in the future of Saudi Arabia cities: Implication for reducing carbon emissions and increasing renewable energy capacity. *Heliyon*, 9(3). doi:<https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e13977>
- Anugrah, N. (. (2021, Mar 19). Perkembangan NDC dan Strategi Jangka Panjang Indonesia dalam Pengendalian Perubahan Iklim. Siaran Pers Nomor: SP.084/HUMAS/PP/HMS.3/3/2021. Jakarta: Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan PPID / Biro Hubungan Masyarakat. Retrieved May 12, 2024, from <https://ppid.menlhk.go.id/berita/siaran-pers/5870/%20perkembangan-ndc-dan-strategi->
- Asterfusion. (2022, Sep 22). What is POE Switch? Retrieved MJay 15, 2024, from Medium: <https://medium.com/@Asterfusion/what-is-poe-switch-aa9e94cab2f6>
- Bais-Moleman, A. L., Sikkema, R., Vis, M., Reumerman, P., Theurl, M. C., & Erb, K. H. (2018, Jan 20). Assessing wood use efficiency and greenhouse gas emissions of wood product cascading in the European Union. *Journal of Cleaner Production*, 172, pp. 3942-3954. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.04.153>
- Castillo-Calzadilla, T., Cuesta, M. A., Olivares-Rodriguez, C., Macarulla, A. M., Legarda, J., & Borges, C. E. (2022, Mar). Is it feasible a massive deployment of low voltage direct current microgrids renewable-based? A technical and social sight. *Renewable and Sustainable*

- Energy Reviews, 161(1112198). doi:10.1016/j.rser.2022.112198
- Diaz, E. R., Chen, F., Quintero, J. C., Guerrero, J. M., Burgos, R., & Boroyevich, D. (2016). Voltage-Level Selection of Future Two-Level LVdc Distribution Grids. *IEEE Electrification Magazine*, 4(2), pp. 20-28. doi:10.1109/MELE.2016.2543979
- Dwi, A. (2023, Oct 7). Dorong Jakarta Jadi Kota Pintar, Jakarta Smart City Terus Berinovasi. Retrieved May 15, 2024, from Kompas.com: [https://megapolitan.kompas.com/read/2023/10/07/13491201/dorong-jakarta-jadi-kota-pintar-jakarta-smart-city-terus-berinovasi?page=all#google\\_vignette](https://megapolitan.kompas.com/read/2023/10/07/13491201/dorong-jakarta-jadi-kota-pintar-jakarta-smart-city-terus-berinovasi?page=all#google_vignette)
- Emplus. (2023, Feb). IEEE 802.3bt: Everything you need to know about Power-over-Ethernet. Retrieved from Emplus Technologies, Inc.: [https://www.emplustech.com/blog\\_post\\_6.html](https://www.emplustech.com/blog_post_6.html)
- Equatorial. (2024, Apr 1). Pemanfaatan bahan bangunan rendah emisi karbon untuk mengurangi pemanasan global. Ekuatorial. Retrieved May 12, 2024, from <https://www.ekuatorial.com/2024/04/pemanfaatan-bahan-bangunan-rendah-emisi-karbon-untuk-mengurangi-pemanasan-global/>
- Graillet, O., G.-C. D., Lucas de Peslouan, P. O., Bernard, F., Alicalapa, F., Lemaitre, L., & Chabriat, J. P. (2024, Mar 6). Optimizing Energy Consumption: A Case Study of LVDC Nanogrid Implementation in Tertiary Buildings on La Réunion Island. *Energies*, 17(5). doi:<https://doi.org/10.3390/en17051247>
- Greer, F., Raftery, P., & Horvath, A. (2024, Mar 11). Considerations for estimating operational greenhouse gas emissions in whole building life-cycle assessments. *Building and Environment*, 254(111383), pp. 1-14. doi:<https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2024.111383>
- Hertwich, E., Ali, S., Ciacci, L., Fishman, T., Heeren, N., Masanet, E., . . . Wolfram, P. (2019). Material efficiency strategies to reducing greenhouse gas emissions associated with buildings, vehicles, and electronics – A review. *Environmental Research Letters*, 14(4), p. 043004.
- Hirose, K. (2017). LVDC: electricity for the 21st century.. Technology Report. Geneva, Switzerland: IEC.
- Huang, Z., Zhou, H., Miao, Z., Tang, H., Lin, B., & Zhuang, W. (2024). (2024). Life-Cycle Carbon Emissions (LCCE) of Buildings: Implications, Calculations, and Reductions. *Engineering*. doi:<https://doi.org/10.1016/j.eng.2023.08.019>
- Kilbane, K. (2022). Understanding the IEEE 802.3bt PoE Standard. Skyworks Solutions, Inc. Retrieved from [www.skyworksinc.com/-/media/SkyWorks/SL/documents/public/white-papers/understanding-the-ieee-8023bt-poe-standard.pdf](http://www.skyworksinc.com/-/media/SkyWorks/SL/documents/public/white-papers/understanding-the-ieee-8023bt-poe-standard.pdf)
- Levine, M., Ürge-Vorsatz, D., Blok, K., Geng, L., Harvey, D., Lang, S., . . . Yoshino, H. (2007). Residential and commercial buildings. In B. Metz, O. Davidson, P. Bosch, R. Dave, & L. Meyer, *Climate Change 2007: Mitigation. Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (pp. 387-446). Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA. : Cambridge University Press. Retrieved from <https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/ar4-wg3-chapter6-1.pdf>
- Migas, D. (2022, Nov 14). Tekan Emisi Karbon, Indonesia Naikkan Target E-NDC Jadi 32 Persen. Direktorat Jenderal Minyak dan Gas Bumi, Kementerian ESDM. Retrieved May 12, 2024, from <https://migas.esdm.go.id/post/read/tekan-emisi-karbon-indonesia-naikkan-target-e-ndc-jadi-32-persen>
- Migelle. (2020, Dec 16). What Is Power over Ethernet and How to Add PoE to Your Network? Retrieved from FS.com: <https://community.fs.com/article/what-is-power-over-ethernet-and-how-to-add-poe-in-network.html>
- Mikulčić, H., Klemeš, J. J., Vujanović, M., Urbaniec, K., & Duić, N. (2016). Reducing greenhouse gasses emissions by fostering the deployment of alternative raw materials and energy sources in the cleaner cement manufacturing process. *Journal of cleaner production*. doi:10.1016/j.jclepro.2016.04.145
- NewMax. (2023, May 8). Editors Note: India's Expansion on AI and Machine Learning and Its Potential Impacts and Concerns. Retrieved May 15, 2024, from NewMax India: <https://www.newsmax.in/newsfront/artificial-intelligence-machine-learning-technology-information-technology/2023/05/08/id/965991/>
- Peng, J. L., & Yang, H. (2013). Review on life cycle assessment of energy payback and

- greenhouse gas emission of solar photovoltaic systems. *Renewable and sustainable energy reviews*, 19, pp. 255-274. doi:<https://doi.org/10.1016/j.rser.2012.11.035>
- Primantoro, A. Y. (2023, Maret 23). Kurangi Emisi Karbon dengan Material Konstruksi Hijau. Jakarta: Kompas.id. Retrieved May 12, 2024, from <https://www.kompas.id/baca/humaniora/2023/03/15/kurangi-emisi-karbon-dengan-material-konstruksi-hijau>
- Ritchie, H., Rosado, P., & Roser, M. (2024, Jan). Breakdown of carbon dioxide, methane and nitrous oxide emissions by sector. Retrieved May 15, 2024, from OurWorldInData.org: <https://ourworldindata.org/emissions-by-sector>
- Röck, M., Saade, M., Balouktsi, M., Rasmussen, F., Birgisdottir, H., Frischknecht, R., . . . Passer, A. (2020). Embodied GHG emissions of buildings—The hidden challenge for effective climate change mitigation. *Applied Energy*, 258, p. 114107. doi:<https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2019.114107>
- Sabry, A. H. (2021, Aug). Compatibility of household appliances with DC microgrid for PV systems. *Heliyon*, 7(8), pp. 1-12. doi:<https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e07744>
- Satola, D., Röck, M., Houlihan-Wiberg, A., & Gustavsen, A. (2021). Life cycle GHG emissions of residential buildings in humid subtropical and tropical climates: Systematic review and analysis. , 11(1), 6. *Buildings*, 1, p. 6. doi:<https://dx.doi.org/10.3390/buildings11010006>
- Shen, L. (2019). Power Over Ethernet (PoE) Technical Overview. Center for Energy and Energy.
- Souaid, C., ten Caat, P. N., Meijer, A., & Visscher, H. (2024, Feb 16). Downsizing and the use of timber as embodied carbon reduction strategies for new-build housing: A partial life cycle assessment. *Building and Environment*, p. 111285. doi:<https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2024.111285>

# Penerbit Gunadarma



## TEKNOLOGI HAND SENSOR DI HALTE UNTUK EFISIENSI WAKTU TUNGGU PENUMPANG DI HALTE BUS JAKARTA

Ida Deliyarti Agustina<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Program Studi Arsitektur, Fakultas Teknik, Universitas Borobudur,  
Jakarta 13620, Indonesia

\*Penulis Korespondensi, e-mail: [ida\\_deliyarti@borobudur.ac.id](mailto:ida_deliyarti@borobudur.ac.id)

### ABSTRAK

Sistem transportasi berkelanjutan merupakan paradigma baru yang dikembangkan dalam kawasan perkotaan. Berbagai permasalahan dapat diselesaikan terhadap sistem transportasi yang terarah dan sistematis. Sistem pergerakan merupakan salah satu sistem mikro dari Sistem transportasi. yang berelaborasi menjadi sistem yang terarah berbasis teknologi Artificial Intelligence (AI). Teknologi Artificial Intelligence (AI) merupakan teknologi kecerdasan buatan untuk membantu aktifitas manusia dalam seluruh aktifitasnya. Kota Jakarta membutuhkan teknologi Artificial Intelligence (AI) dalam menerapkan smart city dibidang transportasi, dimana penerapan sistem pergerakannya dipengaruhi oleh kinerja pelayanan angkutan umum, dan waktu tunggu adalah salah satu elemennya. Waktu tunggu bus dihalte yang efektif akan menghemat efisiensi waktu bagi calon penumpang. Semakin lama waktu tunggu akan mengurangi efektifitas waktu calon penumpang. AI menawarkan teknologi kecerdasan untuk mengatasi waktu tunggu (*Waiting Time*) yang panjang dihalte bus Transjakarta. Keuntungan dari penerapan teknologi ini akan memberi manfaat bagi pelayanan angkutan umum kepada warga Jakarta. Lamanya waktu kedatangan bus akan berdampak pada semakin lamanya waktu tunggu yang akan dialami penumpang. Sehingga waktu antara (*headway*) bus berperan mengatur kecepatannya untuk menjemput calon penumpang. Gagasan ini bertujuan untuk efisiensi waktu tunggu dihalte dan meningkatkan kinerja angkutan umum. Teknologi yang diharapkan melalui Artificial Intelligence yaitu menerapkan teknologi sensor sentuhan tangan (*hand sensor*) yang diletakkan pada semua gate koridor bus dalam setiap halte, sehingga diperoleh angka pasti jumlah calon penumpang yang menunggu di setiap jalur bus. Kemudahan yang diperoleh dari *hand sensor* ini adalah memperkecil *headway* bus di setiap rute, sehingga calon penumpang tidak menunggu terlalu lama dihalte. *Hand Sensor* akan terhubung dengan waktu kedatangan bus dihalte. Kepintaran yang diharapkan berupa informasi yang menghubungkan *hand sensor* dengan waktu antara bus (*headway*) dan kecepatan yang ideal untuk mempercepat laju kendaraan, memperkecil *headway*, agar penumpang dapat terlayani dan tidak menumpuk dihalte. Seluruh sistem yang dibuat tersebut merupakan kerja pintar teknologi informasi berbasis komputasi yang mengatur kinerja angkutan bus secara sistematis dan berkelanjutan

Kata Kunci : smart, city, transportasi, waktu, tunggu

### PENDAHULUAN

Teknologi informasi berbasis Artificial Intelligence (AI) dalam bidang transportasi khususnya sistem pergerakan dengan kinerja angkutan umum, dan seluruh operasionalnya. Sistem Jaringan jalan yang mendukung infrastruktur perkotaan dilengkapi dengan pelayanan angkutan umum. Dalam hal ini pergerakan bus trans Jakarta masih mengalami kendala dalam waktu tunggu (*waiting time*) dihalte bus. Penggunaan AI sangat dibutuhkan untuk mempermudah aktifitas pengguna angkutan umum, terutama Bus Trans Jakarta. Kemudahan yang dimaksud merupakan hasil kerja pintar sensor sentuh tangan yang dinamakan Handsensor, berupa alat yang diletakkan di tiap pintu jalur tiap tujuan bus. Cara kerja alat deteksi ini adalah hasil sensor tangan yang dilakukan calon penumpang akan menjumlah kapasitas calon penumpang yang menunggu di pintu tiap bus. Teknologi sensor ini terhubung dengan operator pintar yang akan menyampaikan pesan pada pengemudi bus jurusan tersebut. Kinerja yang diharapkan dari teknologi AI merupakan pengaturan kedatangan bus jika penumpang sudah menumpuk dihalte, hal ini menyebabkan performa halte makin berkurang. Alat yang digunakan berupa *hand sensor* yang diletakkan di pintu tiap koridor dihalte, semua penumpang wajib menyentuh dengan telapak tangan pada sensor tersebut agar jumlah calon penumpang terdeteksi oleh



hand sensor. Cara kerja hand sensor yaitu menyampaikan pesan kepada operator secara sistematis mengenai jumlah calon penumpang yang ada sedang menunggu di halte. Banyak atau sedikitnya menyebabkan Tingkat urgensi bagi operator untuk memberi informasi kepada pengemudi bus trans untuk jurusan tersebut. Jika jumlah calon penumpang sudah melampaui ambang batas, maka pengemudi wajib memperkecil *headway*nya, sehingga sampai di halte secepatnya. Namun karena kecepatan bus Trans sudah dikunci kekecepatannya, bus masih dapat melaju dengan kecepatan maksimal yang ditentukan tersebut. Dan bus lain yang sama rutenya diarahkan untuk melaju mempercepat kendaraannya untuk memperkecil *headway*, dan mengangkut kelebihan calon penumpang yang tidak terangkut oleh bus di depan. Demikian skenario perencanaan dari konsep AI oleh hand sensor di halte Trans Jakarta.



**Gambar 1.** Headway (jarak antara) Bus di halte



**Gambar 2.** Kerapatan Bus di halte



**Gambar 3.** Kepadatan di halte bus Trans Jakarta



## STATE OF THE ART

Handsensensor merupakan ide berupa teknologi berbasis Artificial Intelligence (AI) dengan cara kerja pintar, menghubungkan sensor tangan calon penumpang dihalte bus untuk mengindikasikan jumlah penumpang yang sedang menunggu kedatangan angkutan bus. Informasi jumlah calon penumpang yang terdeteksi oleh handsensensor disampaikan melalui sistem kepada pengemudi bus di tiap rute bus yang dituju, agar pengemudi bus mengantisipasi (bila terjadi lonjakan penumpang) dengan menambah laju kecepatan (tetap dibawah ambang batas kecepatan yang ditetapkan). Atau operator menginformasikan pengemudi lain di jalur rute tersebut untuk menyusul menuju halte yang dimaksud, dan memperkecil headwaynya dengan bus yang ada didepan.

Dalam artikel ini akan dibahas pentingnya penggunaan teknologi handsensensor ini untuk menyelesaikan permasalahan waktu tunggu di halte bus, yaitu:

1. Menghindari penumpukan calon penumpang dihalte
2. Kinerja halte menjadi lebih kondusif dan sistematis
3. Kinerja angkutan umum lebih optimal

Berbagai cara ditempuh guna meningkatkan kinerja angkutan umum berbasis bus, salah satunya mempersingkat waktu tunggu bus (Waiting Time) dihalte. Institute for Transportation and Development Policy (ITDP), integrasi antarmoda dapat memberi banyak keuntungan bagi pengguna angkutan umum. Dengan integrasi, waktu tunggu dan waktu perpindahan antarmoda dapat dilakukan lebih cepat. Dengan demikian, waktu perjalanan masyarakat dari titik keberangkatan ke titik tujuan juga akan lebih singkat. Waktu tunggu bermanfaat sebagai efisiensi waktu, dan itu menjadi dasar pertimbangan penumpang untuk tidak ingin berlama – lama dihalte dan segera mendapatkan angkutan bus yang dituju.

Waktu tunggu merupakan salah satu faktor yang mempengaruhi kualitas pelayanan sistem bus, Semakin lama waktu tunggu yang dialami oleh penumpang, maka semakin rendah tingkat kepuasan penumpang (Raden Hudrian Rahmadiensyah (2014). Waktu tunggu adalah waktu diantara kedatangan penumpang di tempat pemberhentian dengan waktu keberangkatan penumpang setiap unit angkutan (Vuchic, 2005). Di negara maju, waktu tunggu rata-rata harus dalam rentang 5 menit hingga 10 menit atau

maksimal 10 menit hingga 20 menit (Meakin, 2001). Waktu tunggu dipengaruhi oleh banyak hal, diantaranya adalah headway atau waktu antara (Ceder, 2007). Dapat difahami begitu pentingnya waktu tunggu bus karena menyangkut efisiensi waktu dan kepuasan penumpang terhadap pelayanan angkutan umum. Bus Trans Jakarta sebagai pelopor kendaraan massal yang terintegrasi dengan moda angkutan lain membutuhkan halte dan shelter sebagai tempat menunggu pergantian moda dan pergantian rute. Halte juga merupakan titik simpul yang mendistribusi penumpang ke arah tujuannya. Suasana dan kondisi halte yang padat oleh calon penumpang yang menunggu angkutan bus akan menurunkan kinerja pelayanan halte dan angkutan umum itu sendiri.

Persepsi waktu tunggu penumpang dihalte pernah diteliti oleh Mishalani dan McCord (2006) pada sistem angkutan bus di kota Chicago, menurut mereka waktu tunggu merupakan hasil empiris dan dampak dari informasi waktu kedatangan. Waktu kedatangan bus terkadang tidak terjadwal atau bahkan tidak memiliki data apapun tentang calon penumpangnya yang sedang

menunggu di halte. Artinya pada kondisi arus normal, bus akan datang sesuai headway yang sudah ditentukan. Namun pada kondisi arus lalu lintas tinggi, cuaca hujan, *trafficlight* yang dilalui, jam sibuk (*peak hour*) pagi dan sore, semuanya akan memperpanjang waktu tunggu penumpang di halte. Sesungguhnya kebutuhan informasi penumpang yang menunggu di halte tersebut sangat dibutuhkan pengemudi bus untuk menjemput penumpang di halte. Informasi tersebut diperoleh dari teknologi berbasis AI yaitu *handsensor*. Ohmori et al. (2001) membuat penelitian terkait lamanya masa waktu tunggu dan kegiatan yang dilakukan selama menunggu di halte lalu digunakan untuk mengetahui hubungan antara perilaku penumpang dan waktu tunggu yang dialami di Tokyo. Hal ini karena “parahnya” kondisi tersebut, sehingga aspek kepuasan pelayanan angkutan umum, sehingga memunculkan persepsi penumpang terhadap kinerja halte dan angkutan umum.

## PEMBAHASAN

### Paradigma Transportasi Perkotaan di Kota Jakarta

Konsep Transit Oriented Development (TOD) merupakan paradigma baru perkotaan, yaitu pembangunan berorientasi transit yang mengintegrasikan desain ruang kota untuk menyatukan orang, kegiatan, bangunan, dan ruang publik melalui konektivitas yang mudah serta dekat dengan pelayanan angkutan umum ke seluruh kota (ITDP, 2017). Penggunaan moda angkutan umum menjadi prioritas untuk mobilitas yang paling efisien dan sehat dengan biaya murah dan dampak baik bagi kualitas kesehatan lingkungan.

Rapid public transit yang perannya dijalankan oleh Bus Trans Jakarta, berupa angkutan umum bus berbadan besar, yang menyediakan perjalanan yang cepat dan efisien sepanjang jalurnya, sebagai tulang punggung bagi pilihan angkutan lain yang melayani seluruh kebutuhan transportasi perkotaan di Jakarta. Karena pelayanan angkutan umum harus disesuaikan dengan kebutuhan penggunaannya (Mazin Abdelmagid, 2023) “*sistem transportasi dilihat dari sudut pandang seutuhnya (ekuitas) dapat dicapai dengan memahami kebutuhan populasi yang rentan, untuk mengurangi kekhawatiran*”. Kebutuhan pengguna pelayanan angkutan umum adalah waktu tunggu tidak lebih dari 20 menit, pergantian moda tidak lebih dari dua kali, dan waktu tempuh tidak lebih dari dua jam, “*Waktu tunggu di pemberhentian rata-rata 5 - 10 menit dan maksimum 10 - 20 menit* (Dishub, 2002). Kegiatan menunggu angkutan umum yang datang merupakan kebutuhan dasar pengguna angkutan umum, dan waktu tunggu lebih dari dua puluh menit akan mengganggu ketahanan pengguna. Pelayanan angkutan umum yang layak (*realible*) menjadi issue penting sebagai indikator kinerja sistem transportasi di kota – kota yang mulai menerapkan konsep Transit Oriented Development (TOD)

Banyak faktor yang mempengaruhi keandalan suatu sistem Bus Rapid Transit, diantaranya adalah biaya, keamanan, kenyamanan dan waktu perjalanan (Skinner et al., 1999). Waktu perjalanan, termasuk waktu tunggu penumpang di stasiun bus (Raden Hudrian Rahmadiensyah, 2014). Waktu Tunggu adalah waktu yang dibutuhkan calon penumpang mulai dari awal menunggu angkutan disuatu titik tunggu, untuk membawanya ke tempat tujuan. Waktu tunggu dipengaruhi oleh waktu antara angkutan bus (*headway*), jumlah angkutan yang tersedia, dan perilaku calon penumpang. Waktu tunggu merupakan salah satu faktor yang mempengaruhi kualitas pelayanan sistem bus. Semakin lama waktu tunggu yang dialami oleh penumpang, maka semakin rendah tingkat kepuasan penumpang. Tingkat kepuasan masyarakat sebuah kota berbeda pada tiap kota, Hal ini yang menyebabkan tingkat kejenuhan terhadap kinerja halte dan angkutan umum juga berbeda – beda di tiap kota. Kajian ini dilatar belakangi kultur masyarakat urban di Jakarta yang “*workaholic*”, sehingga lebih mengutamakan efisiensi waktu.

Waktu tunggu yang panjang menimbulkan derajat kejenuhan, harus disiasati dengan metode baru berbasis Teknologi Artificial Intelligence (AI) yang diaplikasikan di halte tiap jurusan/koridor dengan menggunakan hand sensor. Aplikasi hand sensor ini terhubung dengan “operator pintar” yang akan menyampaikan pesan kepada bus yang sedang melaju, dan diikuti oleh bus lain dibelakangnya atau angkutan yang masih stay. Hal yang Tengah dibahas adalah headway, yaitu waktu antara bus yang tengah melaju didepan dengan bus dibelakangnya. Informasi yang disampaikan adalah jumlah calon penumpang yang menunggu bus dihalte, Dimana jumlah tersebut didapat dari sensor tangan (hand sensor) calon penumpang yang akan menunggu di tiap gate tiap jurusan. Jumlah ini menggerakkan kecepatan dan jumlah bus diatur sedemikian rupa dengan program yang sistematis sebagai metode pintar dengan kerja pintar Artificial Intelligence (AI).

Waktu akses penumpang dari tempat asal ketujuan termasuk waktu tunggu penumpang di halte bus dan waktu perjalanan ke dan dari stasiun atau waktu berhenti (Salek dan Machemehl, 1999). Waktu tunggu penumpang dapat diartikan sebagai fungsi dari waktu antara (headway) dan keandalan (Ceder, 2007).

Handsensor ini bekerja dengan system sentuhan (touch) telapak tangan menggunakan alat sensor RFID (Radio Frequency Identification), Sensor RFID (Radio Frequency Identification) sebagai media sensor yang dapat mengidentifikasi sentuhan telapak tangan dan melakukan proses pembacaan terhadap sentuhan telapak tangan calon penumpang. Touch sensor dilakukan untuk mengetahui kondisi dan nilai tegangan pada touch sensor saat disentuh dan tidak disentuh. Pada saat touch sensor disentuh oleh jari maka touch sensor akan mendeteksi sebuah aliran listrik. Sehingga data akan berlogika 1 (*high*). Sedangkan jika touch sensor tidak disentuh maka akan berlogika 0 (*low*) karena tidak ada aliran listrik. Uji sensor ini terkonfirmasi dengan tangkapan layer diLCD, bahwa telah mendeteksi sensor telapak tangan dan dan mengakumulasi jumlah telapak tangan yang telah terdeteksi keseluruhannya selama satu periode waktu tertentu.

### **Tantangan dan Potensi Hambatan Teknologi Handsensor**

Setiap tantangan permasalahan akan berpotensi menjadi hambatan, dan sumber dari tantangan permasalahan adalah kerentanan (Nelson, 2007). Orang – orang sibuk di kota memiliki kerentanan pada penggunaan angkutan umum berbasis bus, yaitu penggunaan waktu yang efektif. Jika waktu terbuang lama dihalte saat menunggu angkutan, inilah Waktu tunggu penumpang merupakan salah satu variabel penting untuk menentukan kualitas dari pelayanan sistem bus (Raden Hudrian Rahmadiensyah, 2014). Setiap teknologi memiliki hambatan dalam pelaksanaannya, Hambatan yang mungkin dapat terjadi:

1. Kalibrasi alat
2. Keengganan calon penumpang melakukan handsensor
3. Jumlah armada bus yang tidak mendukung jumlah penumpang

Kalibrasi alat berguna untuk menjaga akurasi alat sehingga hasil kerjanya tetap stabil dan akurat. Kendala yang dihadapi antara lain: kurangnya sumber daya manusia (SDM) yang dapat menangani teknologi handsensor tersebut. Kecukupan alat handsensor juga menjadi hambatan paling krusial saat model tersebut diberlakukan. maka uji kompetensi dan uji kalibrasi harus terus dievaluasi secara periodic oleh tenaga – tenaga ahli yang berkompeten dibidang teknologi tersebut.

Keengganan calon penumpang melakukan handsensor merupakan bagian dari perilaku, yang mana pola ini bagian dari kebiasaan (*habbit*) yang sulit menerima pola baru dalam perilakunya. Demikian juga penumpang yang enggan melakukan *handsensor* secara tidak langsung memutus rantai Upaya penguatan teknologi sebagai inovasi pengembangan AI, khususnya

dalam bidang sistem transportasi. Peristiwa Covid 19 beberapa tahun yang lalu mengingatkan kita bahwa sentuhan dapat berpotensi penularan virus penyakit tersebut, maka sangat dapat dimaklumi mengapa orang – orang enggan melakukan touching pada handsensor. Sehingga perlu disiasati dengan menyediakan handclean di spot handsensor tersebut. Tetapi perlu dikembangkan juga oleh tenaga ahli Informatika dimasa – masa mendatang tentang metode sensor tangan tanpa sentuhan, cukup mendekatkan telapak tangan beberapa centimeter saja dari layar sensor namun menghasilkan data yang akurat. Hal ini mungkin dapat lebih menenangkan penumpang dalam menggunakan handsensor tersebut.

Kendala penyediaan jumlah armada menyesuaikan situasi dan kondisi kebutuhan permintaan (*demand*) penumpang angkutan umum merupakan “pekerjaan rumah” dari pemerintahan Kota Jakarta. Hal ini merupakan fasilitas yang harus disediakan pemerintah kota, agar kelancaran perjalanan angkutan umum lancar tanpa kendala, memperkecil jarak *headway* sehingga waktu tunggu lebih ringkas, dan dapat mendistribusikan penumpang pada rute-rute yang tidak terlayani selama ini. Jumlah armada bus juga mempengaruhi pelayanan angkutan umum kepada penumpang. Ini terkait dengan kapasitas bus dengan tingkat kepadatan penumpang yang tinggi.

Untuk mengatasi hambatan dan kendala tersebut diatas perlu dilakukan beberapa Langkah antara lain:

1. Pelatihan SDM sebagai tenaga ahli dibidang teknologi AI handsensor.
2. Kalibrasi mesin handsensor secara berkala.
3. Pemerintah Kota Jakarta segera membenahi fasilitas dan jumlah armada untuk rute-rute perjalanan yang padat.
3. Perlu dilakukan penelitian dan pengamatan lanjutan dari pihak Pemerintah Kota Jakarta, terkait analisis kebutuhan armada dan manajemen rute yang potensial dan efektif.
- 4.

### **Trend Masa Depan di Bidang Transportasi**

Trend masa depan dibidang transportasi sebagai issue yang sangat krusial dan erat kaitannya dengan aktifitas didalam aktifitas perkotaan adalah makin familiarnya penggunaan angkutan umum bus, yang terintegrasi dengan moda angkutan umum lain seperti kereta api, LRT, MRT, jalur pejalan kaki dan sepeda. Kecendrungan ini tidak terlepas dari semakin baiknya kondisi moda transportasi di Kota Jakarta. Kondisi dan keandalan (*reability*) bus dan moda lain turut mendukung semakin trend integrasi angkutan umum ini. Transportasi merupakan paradigma perkotaan yang saling mendukung dengan sistem transportasi.

Pertumbuhan penduduk dan tingginya jumlah tempat bekerja disuatu tempat mempengaruhi pergerakan kenderaan umum dan pribadi, hal ini menjadi salah satu penyebab tinggi pula mobilitas tarikan dan bangkitan lalu lintas (Tamin, 2008) dari dan ke Kota Jakarta. Kepadatan penduduk dan fungsi lahan yang beragam menyebabkan angka perjalanan semakin tinggi pula. Dengan demikian trend penggunaan angkutan umum semakin populer dimasa depan, karena beberapa keunggulan, yaitu mengurangi penggunaan kendaraan pribadi sehingga memperkecil angka kemacetan kota, menurunkan Tingkat polusi dari emisi bahan bakar kendaraan sehingga meningkatkan kualitas Kesehatan warga kota, penghematan bahan bakar, dan mengurangi kesemrawutan kota.

### **Handsensor Membutuhkan Teknologi Inovasi di Masa Depan**

Sebagaimana trend penggunaan angkutan umum terintegrasi dengan moda lain didalam wilayah Kota Jakarta. Dan potensi kepadatan penduduk yang kian tinggi karena urbanisasi menjadikan paradigma Kota Jakarta sebagai kota padat dan macet. Maka teknologi mengambil peran dalam pengelolaan sistem transportasi untuk mempermudah kesemrawutan dan memperbaiki kondisi yang ada. Kemudahan waktu tunggu berpeluang pada efektifitas waktu, sehingga segala metode yang dapat menyelesaikan permasalahan waktu tunggu dihalte bus akan memperbaiki sistem transportasi. Termasuk metode handsensor yang tengah menjadi topik bahasan dalam bab ini.

Handsensor merupakan teknologi berbasis AI yang turut mengambil peran dalam dinamika transportasi di Kota Jakarta. Teknologi ini bertujuan membantu warga kota Jakarta lebih efisien dalam waktu tunggu. Sensor sentuh merupakan sensor elektronik yang bisa mendeteksi adanya sentuhan. Teknologi sensor ini bertujuan mendeteksi sentuhan telapak tangan atau jari (stylus) pada layar kapasitif. Proses kerja sensor dimulai dengan deteksi parameter sentuhan. Perubahan yang terdeteksi oleh sensor kemudian diubah menjadi sinyal listrik melalui komponen transduser. Sinyal listrik ini biasanya lemah dan perlu diperkuat oleh amplifier sebelum dapat dianalisis lebih lanjut. Setelah penguatan, sinyal sering kali mengalami kondisioning untuk meningkatkan kualitas atau menghilangkan gangguan. Ketika jari menyentuh layar, maka akan terjadi perubahan medan listrik pada layar sentuh tersebut dan direspon oleh prosesor untuk membaca pergerakan jari tangan tersebut.

Aplikasi sensor menghasilkan sinyal analog yang dihasilkan dan dikonversi menjadi data digital menggunakan konverter *Analog-to-Digital* (ADC). Data digital diproses oleh sistem kontrol atau komputer untuk menghasilkan informasi yang berguna atau mengendalikan perangkat lain. Hasil akhir dari pemrosesan data sensor dapat ditampilkan kepada pengguna atau digunakan untuk mengotomatiskan tindakan tertentu, seperti mengaktifkan kondisi lingkungan secara real-time, termasuk counting quantity. sehingga menimbulkan aliran listrik pada titik koordinat tertentu pada layar tersebut dan memberikan signal ke prosesor untuk melakukan proses selanjutnya. Adanya perubahan berupa gelombang yang dipancarkan disebabkan oleh sentuhan ini. Perubahan gelombang ultrasonik yang sudah terjadi akan diterima oleh receiver dan diterjemahkan langsung dalam bentuk pulsa listrik. Kemudian informasi sentuhan ini akan mengalami perubahan menjadi suatu data yang akan diteruskan ke controller untuk diproses lebih lanjut (Elga Aris Prastyo, Arduino Indonesia, 2024)

Ini berguna merubah data sensor menjadi jumlah (quantity) pengguna dan menghasilkan standar indikator jumlah calon penumpang yang terdata. Ada indikator jumlah penumpang yang menunggu dihalte, yang memerlukan tindakan penjemputan dengan skala tindakan : segera ditindak lanjuti (dijemput segera) atau masih bisa menunggu, maka driver bus akan berjalan sesuai ecepatan yang telah ditentukan.,



**Gambar 4.** Teknologi Hansensor





**Gambar 5.** Sistem kerja Hand sensor

Perbedaan sensor ini dengan konter sensor, konter sensor menggunakan Proximity sensor yaitu sensor ini digunakan untuk mendeteksi keberadaan objek di dekatnya. Perangkat ini sering digunakan dalam teknologi otomotif, elektronik konsumen, dan peralatan industri. *Proximity sensor yang dimiliki konter sensor* atau akrab disebut dengan sensor jarak merupakan sebuah perangkat yang digunakan untuk mendeteksi objek tanpa adanya sentuhan langsung. Sensor jarak ini hanya mengandalkan informasi gerakan atau medan elektromagnetik dari objek yang bisa dijadikan sinyal Listrik. sementara handsensor menggunakan metode sentuh (touch) dan banyak dipergunakan untuk bidang – bidang permukaan yang kecil (Misel).

Perbedaan Handsensor dengan Sensor Cahaya LDR (*Light Dependent Resistor*) terletak pada metode sensornya. Sensor LDR adalah salah satu jenis resistor yang dapat mengalami perubahan resistansinya apabila mengalami perubahan penerimaan cahaya. Modul sensor cahaya bekerja menghasilkan output yang mendeteksi nilai intensitas cahaya. Perangkat ini sangat cocok digunakan untuk project yang berhubungan dengan cahaya seperti nyala matilampu (Elga Aris Prastyo, Arduino Indonesia, 2024). Sedangkan handsensor menggunakan metode sentuh (touch) dan banyak dipergunakan untuk bidang – bidang permukaan yang kecil (Misel) Modul sentuhan tangan menghasilkan output yang mendeteksi sentuhan tangan atau jari.

Namun teknologi handsensor ini dapat saja tergerus oleh zaman yang makin berkembang,



jika teknologinya tidak “update” terhadap teknologi dimasa depan. Seperti halnya touch sensor telapak tangan dapat diinovasi dengan tanpa sentuhan yang banyak membuat keraguan orang – orang. Berbagai penyakit dapat tertular melalui sentuhan pada media yang banyak digunakan orang, seperti halnya handle pintu bangunan dan ruang public, begitu juga dengan handsensor yang banyak disentuh tangan orang dihalte. Teknologi akan sangat mendukung handsensor, bahkan akan semakin baik dengan sentuhan inovasi.

## KESIMPULAN

1. Penggunaan teknologi handsensor berbasis AI perlu diterapkan dan dikembangkan dalam sistem transportasi, guna mempermudah jalannya sistem transportasi yang bermanfaat bagi masyarakat umum.
2. Teknologi handsensor berbasis AI penting dan urgen diterapkan dihalte – halte bus untuk efisiensi waktu calon penumpang, dimana waktu sangat berharga terutama bagi pekerja dan tenaga profesional.
3. Teknologi harus didukung oleh sumber daya manusia yang kompeten dibidang teknologi sensor, untuk itu pendidikan dan pelatihan SDM harus dilakukan oleh pemerintah Kota Jakarta
4. Penyediaan sarana angkutan umum bus rapid transit (BRT), dalam hal ini Trans Jakarta harus disediakan untuk memfasilitasi jumlah perjalanan warga Kota Jakarta yang semakin tinggi, disebabkan angka pertumbuhan penduduk yang melonjak dari tahun ke tahun.
5. Perilaku warga kota juga mendukung partisipasi terhadap kemajuan teknologi dalam sistem transportasi di Kota Jakarta khususnya, dengan adanya teknologi handsensor berbasis AI, sebagai kemudahan perjalanan menggunakan angkutan umum Bus Trans Jakarta.
6. Dalam konteks perkotaan, teknologi handsensor berbasis AI mengambil peran penting untuk mempermudah mobilisasi antar moda, menjaga efisiensi waktu tunggu, dan mempersingkat waktu perjalanan (Travel Time)

## REKOMENDASI KEBIJAKAN (*POLICY BRIEF*)

Penggunaan teknologi Handsensor berbasis AI begitu urgen untuk mengantisipasi penumpukan penumpang dihalte – halte di Kota Jakarta terutama pada jam – jam sibuk (peak hour pagi dan sore). Untuk itu diharapkan partisipasi Pemerintah Provinsi DKI Jakarta untuk menyediakan unit Handsensor, dan memfasilitasi pengadaannya, baik perangkat, sistem, dan sumber daya manusia (SDM).

Melakukan analisis terkait kebutuhan armada bus pada rute – rute padat sesuai kebutuhan distribusi pengguna angkutan umum, kemudian menyediakan armada bus sesuai analisis dan kebutuhan pengguna angkutan umum agar legalitas aturan ini jelas dan tegas untuk diterapkan, maka Pemerintah Provinsi DKI Jakarta menjadikan ketetapan penggunaan handsensor ini menjadi bagian dari kebijakan, agar payung hukumnya lebih kuat dan dipatuhi oleh seluruh masyarakat Kota Jakarta.

## DAFTAR PUSTAKA

- Ceder, 2007) Public Transit Planning and Operation Theory, modelling and practice. Civil and Environmental Faculty, Transportation Research Institute, Technion –Israel Institute of Technology, Haifa.
- Donald R. Nelson, , 2007, Adaptation to Environmental Change: Contributions of a Resilience Framework, *Journal Annual Review of Environment and Resources*, Vol. 32:395-419 (Volume publication date 21 November)
- Fachri Muhamad dkk, Rancang Bangun Sistem Keamanan Pintu Rumah menggunakan Sensor Rfid (Radio Frequency Identification) Dantouch Sensor Berbasis Arduino *Uno Jurnal Ilmiah Teknik (JUIT)*. Vol 1 No. 3 September 2022| P-ISSN: 2828-6936E ISSN: 2828-6901, Page 75-83
- Mazin Abdelmagid, 2023. Mazin Abdelmagid et al, “Transportation system performance capabilities for vulnerable populations”, *Journal International Journal of Disaster Risk Reduction*, Volume 96, 1 October 2023
- McCord, M.M. dan Mishalani, R. G. 2006, Passenger Wait Time Perceptions at Bus Stop: Empirical Result and Impact on Evaluating Real-Time Bus Arrival Information. *Journal of Public Transportation*, vol. 9, no.2
- Ohmori, N., Hirano, T., Harata, N., dan Ohta, K. 2001, Passenger's Waiting Behavior at Bus Stop. The University of Tokyo, Tokyo
- S Raden Hudrian Rahmadiensyah, 2014. Waktu Tunggu Penumpang Bus Trans Metro Bandung, The 17th FSTPT International Symposium, Jember University, 22-24 August 2014
- Skinner et al., 1999). Zhang J. 2022b. Porcine deltacoronavirus: Overview of infection dynamics, diagnostic methods, prevalence and genetic evolution. *Virus Res* 226:71-84.
- Salek, M. dan Machemehl, R. B. 1997, Characterizing Bus Transit Passenger Waiting Time. Center for Transportation Research University of Texas, Austin
- Vuchic, V. R. 2005, Urban Transit: Operations, Planning, and Economics. John Wiley & Sons, Inc., New Jersey
- Book with institutional author*
- Institute for Transportation and Development Policy (ITDP), 3rd ed. New York: ITDP, 2017. [www.itdp.org](http://www.itdp.org)
- Ofyar Z. Tamin. 2008. Perencanaan dan Pemodelan Transportasi. Edisi Kedua. Penerbit ITB Jl. Ganesa 10 Bandung, Telp/Fax. (022) 2504257 e-mail: [itbpress@bdg.centrin.net.id](mailto:itbpress@bdg.centrin.net.id). ISBN 979-9299-10-1
- Elga Aris Prastyo, Arduino Indonesia, 2024, Pengertian dan Penjelasan tentang Sensor Sentuh (Touch Sensor)



## MODEL PREDIKSI TINGKAT KEAUSAN KOMPONEN MOBIL BUS DAN TRUK MENGGUNAKAN MACHINE LEARNING

Ilvico Sonata<sup>1\*</sup>, Cuk Tho<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Computer Science Department, Binus Graduate Program, Doctor of Computer Science, Binus University, Jakarta 11480, Indonesia

<sup>2</sup>Computer Science Department, School of Computer Science, Binus University, Jakarta 11480, Indonesia.

\*Penulis Koresponden, e-mail: [ilvico@binus.ac.id](mailto:ilvico@binus.ac.id)

### ABSTRAK

Tingkat kepadatan kendaraan yang sangat tinggi di jalan raya sekitar Jakarta menuntut keandalan mobil yang melintasinya. Tujuannya tak lain untuk memastikan tidak ada mobil yang mogok di jalan raya Jakarta. Mobil mogok di jalan raya Jakarta dapat menimbulkan kemacetan yang luar biasa panjang, apalagi jika kejadian mogok tersebut dialami oleh bus dan truk. Penyebab umum kerusakan pada bus dan truk adalah keausan pada komponen mekanik yang dimilikinya. Untuk itu diperlukan suatu sistem *monitoring* untuk memprediksi kerusakan yang akan terjadi akibat tingkat keausan agar operator bus dan truk dapat segera langsung melakukan penggantian komponen tersebut. Sistem prediksi ini akan dikembangkan menggunakan model *machine learning*. Dengan menggunakan model *machine learning*, model yang dikembangkan belajar dari data historis tingkat keausan yang dialami oleh mobil sejenis sebelumnya sehingga model ini diharapkan dapat memiliki tingkat akurasi yang cukup tinggi. Sistem ini dapat diterapkan pada angkutan umum khususnya bus dan truk. Dengan diterapkannya sistem ini diharapkan tidak ada lagi mobil bus dan truk yang mogok di jalan-jalan di Jakarta sehingga tingkat kelancaran lalu lintas di Jakarta semakin meningkat dan tingkat kemacetan semakin menurun.

Kata Kunci: Bus, truk, *machine learning*, prediksi kerusakan, mogok, kemacetan

### PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi saat ini mendorong Industri transportasi untuk melakukan banyak perubahan, khususnya untuk meningkatkan tingkat kenyamanan pengguna kendaraan. Hal yang sering terjadi adalah kendaraan berhenti di tengah jalan sehingga dapat mengakibatkan kemacetan yang panjang terutama apabila dialami oleh bus atau truk. Ada banyak faktor terkait kendaraan yang mogok ataupun berhenti di tengah jalan diantaranya adalah komponen kendaraan yang mungkin saja tidak dalam kondisi baik, ataupun kondisi jalan yang mengakibatkan kendaraan harus berhenti.

Perawatan terhadap komponen kendaraan menjadi hal yang penting agar kendaraan selalu dalam kondisi prima. Kendaraan yang digunakan sebagai pengangkut seperti bus maupun truk tentunya mempunyai jenis perawatan yang berbeda dengan mobil dan sejenisnya. Salah satu penelitian yang dilakukan oleh Nowaczyk, dkk (2013), menyatakan bahwa saat ini perusahaan produsen kendaraan bermotor semakin tertarik untuk melakukan prediksi terhadap siklus perawatan dari kendaraan yang diproduksi. Salah satu yang menjadi perhatian dalam perawatan kendaraan adalah keausan komponen kendaraan. Apabila dapat dilakukan prediksi kapan sebuah komponen kendaraan perlu dilakukan perawatan, maka tentunya akan menambah umur kendaraan tersebut.

Untuk kendaraan umum tentunya hal ini sangat penting baik bagi pemilik atau operator kendaraan, pengguna maupun pihak regulator yang memberikan ijin sebuah kendaraan dapat beroperasi.

Beberapa contoh model disampaikan oleh Theissler, dkk (2021) terkait dengan *maintenance predictive*. Namun demikian, untuk mengetahui kapan sebuah kendaraan khususnya bus dan truk sudah mengalami keausan tidaklah mudah. Walaupun saat ini sudah dilakukan uji berkala kendaraan bermotor / KIR untuk menentukan kelayakan sebuah kendaraan, namun uji berkala kendaraan bermotor tersebut tidak dapat memprediksi tingkat keausan kendaraan. Untuk memprediksi keausan secara manual sulit dilakukan mengingat jumlah bus dan truk yang banyak. Beberapa data yang dibutuhkan untuk memprediksi diantaranya adalah perjalanan yang dilakukan oleh bus maupun truk, kondisi jalan yang dilalui, beban muatan, usia kendaraan, serta tingkat kemacetan jalan. Data tersebut dapat diperoleh melalui laporan perjalanan bus atau truk dari pihak operator ke pihak regulator. Tambahan data bisa juga didapatkan dari laporan faktual baik dari berita maupun situs resmi penyelenggara jalan raya.

Berdasarkan data yang ada tersebut, maka akan dibuatkan model prediksi untuk mengetahui tingkat keausan komponen kendaraan. Hal ini tentunya akan membantu pemilik kendaraan dalam hal ini bus dan truk untuk dapat melakukan perawatan ataupun penggantian komponen dengan waktu yang tepat sehingga dapat mengurangi potensi kendaraan mogok yang pada akhirnya menyebabkan kemacetan dan kecelakaan lainnya.

## Penerbit **STATE OF THE ART** Gunadarma

Salah satu penelitian yang dilakukan terkait keausan mesin dilakukan oleh Tessaro, dkk (2020) melakukan prediksi terhadap perawatan komponen mesin. Namun demikian data yang digunakan merupakan data hasil simulasi dan bukan merupakan data sebenarnya. Selain itu data yang digunakan hanya berdasarkan data dari komponen mesin saja tanpa memperhitungkan data eksternal lain.

Penelitian untuk memprediksi tingkat keausan dan kerusakan mesin truk juga dilakukan oleh Christy (2022). Christy (2022) dalam penelitiannya melakukan analisa terhadap kandungan oli yang telah dipakai oleh truk untuk memprediksi tingkat keausan mesin truk. Dalam penelitiannya Christy (2022) menemukan bahwa terdapat korelasi antara kandungan yang terdapat dalam oli dengan kerusakan komponen yang terdapat di dalam mesin seperti *rod bearing*, *gear bearing*, *rocker arm bushing* dll. Hasil penelitian ini sangat sulit diimplementasikan secara praktis karena memerlukan uji laboratorium terhadap *sample* oli yang telah digunakan untuk menentukan tingkat keausan mesin.

Penggunaan *artificial intelligent* untuk memprediksi tingkat keausan dan kerusakan mesin telah dilakukan oleh beberapa peneliti terdahulu. Peneliti tersebut antara lain dilakukan oleh Mohanty, dkk (2020). Dalam penelitiannya mereka melakukan analisa prediksi tingkat kerusakan mesin berdasarkan partikel yang terdapat pada mesin. Proses prediksi ini dilakukan dengan menggunakan *artificial neural network* (ANN) berdasarkan gambar yang diambil pada mesin. Implementasi dari metode ini tidak praktis karena diperlukan proses pengambilan gambar terhadap komponen mesin yang akan dianalisis tingkat keausannya. Penggunaan ANN dalam memprediksi

keausan dan kerusakan mesin juga telah dilakukan oleh Liu, dkk (2020). Mereka memprediksi tingkat keausan dari mesin berdasarkan perubahan posisi dari silinder mesin. Penerapan metode ini juga sangat sulit karena diperlukan pemasangan sensor untuk memonitor posisi silinder pada blok mesin.

Penggunaan faktor eksternal dalam memprediksi keausan dan kerusakan mesin truk telah dilakukan oleh Lagerblad, dkk (2021). Mereka menggunakan faktor eksternal seperti jumlah muatan yang diangkut, kecepatan dan laju kendaraan serta kondisi jalan. Solusi yang diberikan berupa perhitungan secara matematika yang rumit dengan berbagai syarat dan keterbatasan yang harus dipenuhi seperti pemasangan berbagai posisi sensor yang harus dipenuhi untuk mengukur tingkat guncangan dari kendaraan. Pengukuran yang dilakukan sensor dapat mengalami kesalahan karena adanya gangguan terhadap sensor seperti gangguan dari getaran mesin dan *noise* dari kendaraan sekitarnya.

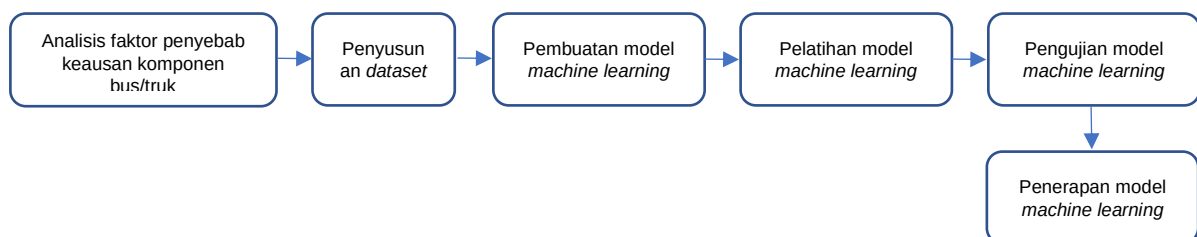
Model yang diusulkan pada tulisan ini adalah model prediksi keausan komponen yang dikhususkan pada kendaraan bus dan truk yang memperhitungkan variabel eksternal seperti kondisi jalan dan tingkat kemacetan sebagai tambahan atas data internal komponen mobil tersebut. Model prediksi ini akan menggunakan model *machine learning*. Model *machine learning* ini didapat dari proses pelatihan menggunakan *dataset* untuk memprediksi tingkat keausan komponen bus dan truk. Model yang dihasilkan dapat diimplementasikan dengan mudah tanpa harus dilakukan pengukuran dan tindakan teknis lainnya seperti pemasangan sensor dan pengambilan gambar dalam memprediksi tingkat keausan komponen mobil bus dan truk.

Pada bab selanjutnya akan dilakukan pembahasan terkait kerangka kerja dalam membuat model *machine learning*, persiapan *dataset* yang diperlukan dan model yang diusulkan serta kesimpulan dan rekomendasi kebijakan.

## PEMBAHASAN

### Kerangka Kerja

Gambar 1 memperlihatkan kerangka kerja dari model *machine learning* untuk memprediksi tingkat keausan mesin bus atau truk.



**Gambar 1.** Kerangka kerja.

Tahap pertama adalah analisa faktor apa saja yang menyebabkan terjadinya keausan komponen mesin bus dan truk. Seperti dikutip dari Thiruvengadam (2014), pada umumnya

kendaraan untuk penggunaan kendaraan berat seperti truk dan bus menggunakan mesin diesel. Faktor-faktor eksternal yang menyebabkan terjadinya keausan untuk mesin diesel antara lain adalah tingkat kemacetan jalan raya. Seperti dikutip dari Kesuma, dkk (2019), beberapa komponen mobil dari kendaraan berat dapat mengalami keausan lebih cepat bila kendaraan sering mengalami kondisi kemacetan lalu lintas. Komponen mesin tersebut antara lain ban, sistem transmisi, sistem pengereman, bantalan roda dan baterai aki. Tingkat kemacetan lalu lintas dapat dikategorikan dalam persentase dimana 0% dinyatakan sebagai kondisi tidak terjadi kemacetan dan 100% dinyatakan sebagai kondisi terjadi kemacetan sangat parah sampai tidak bergerak.

Selain tingkat kemacetan jalan raya, faktor eksternal yang mempengaruhi tingkat keausan yang lebih cepat bagi kendaraan berat adalah tingkat kerusakan jalan raya dan muatan berlebih (Kesuma, dkk. 2020). Tingkat kerusakan jalan raya dapat dibagi menjadi lima bagian yaitu sangat baik, baik, sedang, jelek, dan sangat jelek. Kondisi ini akan menyebabkan kerusakan pada komponen kendaraan seperti ban, sistem transmisi, dan per daun. Terakhir, faktor usia juga menjadi faktor yang mempengaruhi tingkat keausan komponen mesin mobil. Faktor usia dapat ditunjukkan melalui usia kendaraan dan pencapaian jarak tempuh kendaraan.

Setelah diketahui faktor apa saja yang mempengaruhi keausan komponen mesin kendaraan berat seperti bus dan truk, selanjutnya dibentuk suatu *dataset* yang berisi data-data penyebab kerusakan. *Dataset* ini akan digunakan untuk melatih model *machine learning*. Pembuatan model *machine learning* dilakukan melalui proses iterasi pelatihan menggunakan *dataset* yang telah dipersiapkan sampai didapat tingkat akurasi yang terbaik dari beberapa model *machine learning* seperti *Random Forest*, *Support Vector Machine* (SVM), *XGBoost* dan *Naive Bayes*. Model prediksi yang dihasilkan dari proses pelatihan *machine learning* ini kemudian diuji akurasi sebelum diterapkan untuk memprediksi tingkat keausan komponen mobil bus dan truk.

### **Dataset**

*Dataset* berguna untuk melatih model *machine learning* yang akan digunakan untuk memprediksi tingkat keausan komponen mobil bus dan truk. Untuk itu *dataset* yang digunakan harus berisi data-data penyebab keausan sehingga dapat melatih model *machine learning* dengan akurat. Dari pembahasan di atas terlihat bahwa penyebab keausan dipengaruhi oleh faktor kemacetan lalu lintas, tingkat kerusakan jalan, dan muatan berlebih. Faktor usia kendaraan dan jarak tempuh yang telah dicapai turut mempengaruhi tingkat keausan komponen mesin mobil.

Dari sisi komponen mobil yang paling banyak mengalami keausan seperti telah dijelaskan diatas adalah ban, sistem transmisi, sistem pengereman, bantalan roda, dan sistem per daun. *Dataset* dibuat dalam bentuk tabular seperti terlihat pada Tabel 1. *Dataset* tabular secara teknis sangat mudah untuk digunakan sebagai data pelatihan model *machine learning* (Truda,



2023).

Tabel 1. *Dataset* tabular.

| Faktor Penyebab Keausan Komponen Mobil Bus / Truk |                         |                 |                   | Tingkat Keausan Komponen Mobil Bus / Truk |                  |                   |               |                 |
|---------------------------------------------------|-------------------------|-----------------|-------------------|-------------------------------------------|------------------|-------------------|---------------|-----------------|
| Tingkat kemacetan                                 | Tingkat kerusakan jalan | Muatan berlebih | Jarak tempuh (KM) | Ban                                       | Sistem Transmisi | Sistem Pengereman | Bantalan Roda | Sistem Per Daun |
| 0-30%                                             | Sangat baik             | Tidak           | 0-10.000          | 10%                                       | 10%              | 10%               | 10%           | 10%             |
| 30-60%                                            | Baik                    | Tidak           | 10.000-20.000     | 20%                                       | 20%              | 20%               | 20%           | 20%             |
| 60-100%                                           | Sedang                  | Tidak           | 20.000-30.000     | 30%                                       | 30%              | 60%               | 30%           | 30%             |
| 0-30%                                             | Jelek                   | Tidak           | 30.000-40.000     | 40%                                       | 40%              | 70%               | 50%           | 40%             |
| 30-60%                                            | Sangat jelek            | Tidak           | 40.000-50.000     | 50%                                       | 60%              | 90%               | 70%           | 60%             |
| 60-100%                                           | Sedang                  | Tidak           | 50.000-60.000     | 60%                                       | 70%              | 100% (Ganti)      | 80%           | 80%             |
| 0-30%                                             | Sangat jelek            | Tidak           | 60.0000-70.000    | 70%                                       | 90%              | 10%               | 100% (Ganti)  | 100% (ganti)    |
| 30-60%                                            | Jelek                   | Tidak           | 70.000-80.000     | 80%                                       | 100% (Ganti)     | 30%               | 20%           | 30%             |
| 60-100%                                           | Baik                    | Tidak           | 80.000-90.000     | 90%                                       | 20%              | 40%               | 30%           | 40%             |
| 30-60%                                            | Sangat baik             | Tidak           | 90.000-100.000    | 100% (Ganti)                              | 30%              | 50%               | 40%           | 50%             |
| 0-30%                                             | Sedang                  | Tidak           | 0-10.000          | 20%                                       | 20%              | 20%               | 10%           | 10%             |
| 30-60%                                            | Sangat jelek            | Tidak           | 10.000-20.000     | 30%                                       | 30%              | 30%               | 30%           | 40%             |
| 60-100%                                           | Sangat jelek            | Tidak           | 20.000-30.000     | 50%                                       | 60%              | 50%               | 40%           | 50%             |
| 0-30%                                             | Baik                    | Tidak           | 30.000-40.000     | 60%                                       | 70%              | 60%               | 50%           | 60%             |

*Dataset* diatas merupakan *sample* dari *dataset* yang dapat digunakan untuk melatih model *machine learning* yang akan digunakan. *Dataset* ini terdiri dari empat fitur atau *variable* prediksi penyebab terjadinya keausan komponen mobil bus dan truk, serta lima jenis komponen yang sering mengalami keausan. Prediksi tingkat keausan ditunjukkan melalui persentase keausan dari komponen tersebut dimana semakin besar persentase maka semakin besar tingkat keausannya. Angka 100% merekomendasikan agar dilakukan penggantian pada komponen tersebut. Setelah dilakukan penggantian maka tingkat keausan akan dimulai dari awal kembali. *Dataset* ini diambil dari data pemakaian Minibus kapasitas 16-20 penumpang milik PT. Griya Damai Kita. PT. Griya Damai Kita merupakan operator penyelenggara angkutan pariwisata yang memiliki ijin resmi dari Kementerian Perhubungan.

Untuk meningkatkan akurasi dari hasil pembelajaran *machine learning*, dapat dilakukan penambahan *dataset* yang berasal dari berbagai jenis dan merek bus dan truk yang banyak digunakan di Jakarta dan masukan dari para ahli dibidang mekanik komponen mobil. Semakin banyak *dataset* yang digunakan untuk pembelajaran model *machine learning*, diharapkan hasil prediksi *machine learning* akan semakin akurat dalam memprediksi tingkat keausan komponen mobil bus dan truk.

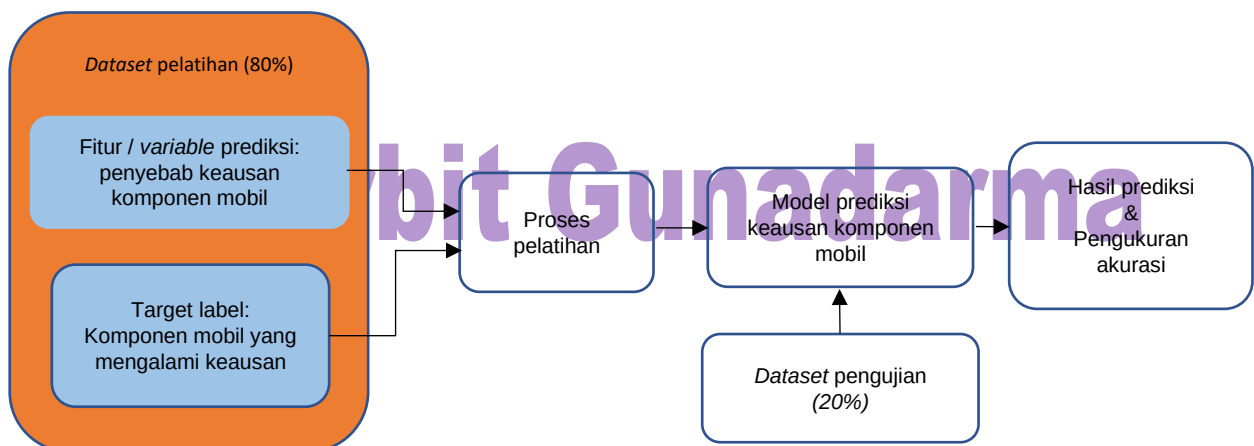
### Model Machine Learning

Model *machine learning* yang digunakan untuk memprediksi tingkat keausan komponen mobil

menggunakan model klasifikasi. Model klasifikasi merupakan model *supervised machine learning*. Ciri khas dari *supervised machine learning* adalah model ini belajar dari data fitur atau *variable* prediksi yang diberikan target *label* (Hu, dkk. 2020).

Dari Tabel 1 dapat dilihat *dataset* yang digunakan memiliki fitur atau *variable* prediksi yang menjadi penyebab terjadinya keausan komponen mobil bus dan truk. Data fitur atau variabel prediksi tersebut diberikan target *label* berupa persentase tingkat keausan dari komponen mobil apa saja yang akan mengalami keausan. Target *label* ini memiliki sepuluh kelas yaitu berupa tingkat keausan masing-masing komponen mobil dari 10% sampai 100%. Target label ini nantinya akan diprediksi oleh *machine learning* dengan masukan data baru berupa fitur atau *variable* prediksi penyebab keausan.

Untuk proses pengukuran akurasi dari model klasifikasi yang telah selesai dilatih, dilakukan proses pengujian menggunakan sebagian dari *dataset* yang sebelumnya telah dipisahkan dan tidak dipakai untuk proses pelatihan. Pada umumnya dilakukan pemisahan sebesar 80% dari *dataset* untuk proses pelatihan dan 20% untuk proses pengujian. Untuk lebih jelasnya dari proses ini dapat dilihat pada Gambar 2.



**Gambar 2.** Proses pelatihan dan pengujian model *machine learning*.

Pembuatan model prediksi keausan komponen mobil ini akan menggunakan beberapa algoritma model klasifikasi *machine learning* antara lain *Random Forest*, *SVM*, *XGBoost* dan *Naive Bayes*. Tujuan dari penggunaan beberapa algoritma ini adalah untuk mendapatkan algoritma klasifikasi dengan tingkat akurasi paling tinggi.

### Eksperimen awal

Eksperimen awal dilakukan dengan menggunakan *dataset* yang diambil dari PT. Griya Damai Kita seperti terlihat pada Tabel 1. *Dataset* tersebut terdiri dari 200 baris dengan berbagai kombinasi fitur atau variabel prediksi dan target label. Proses pelatihan menggunakan fasilitas Google Colaboratory dengan mode GPU.

Hasil eksperimen menggunakan algoritma *Random Forest*, *SVM*, *XGBoost* dan *Naive Bayes* menghasilkan berbagai kombinasi tingkat akurasi seperti terlihat pada Tabel 2.

Tabel 2. skor akurasi hasil eksperimen.

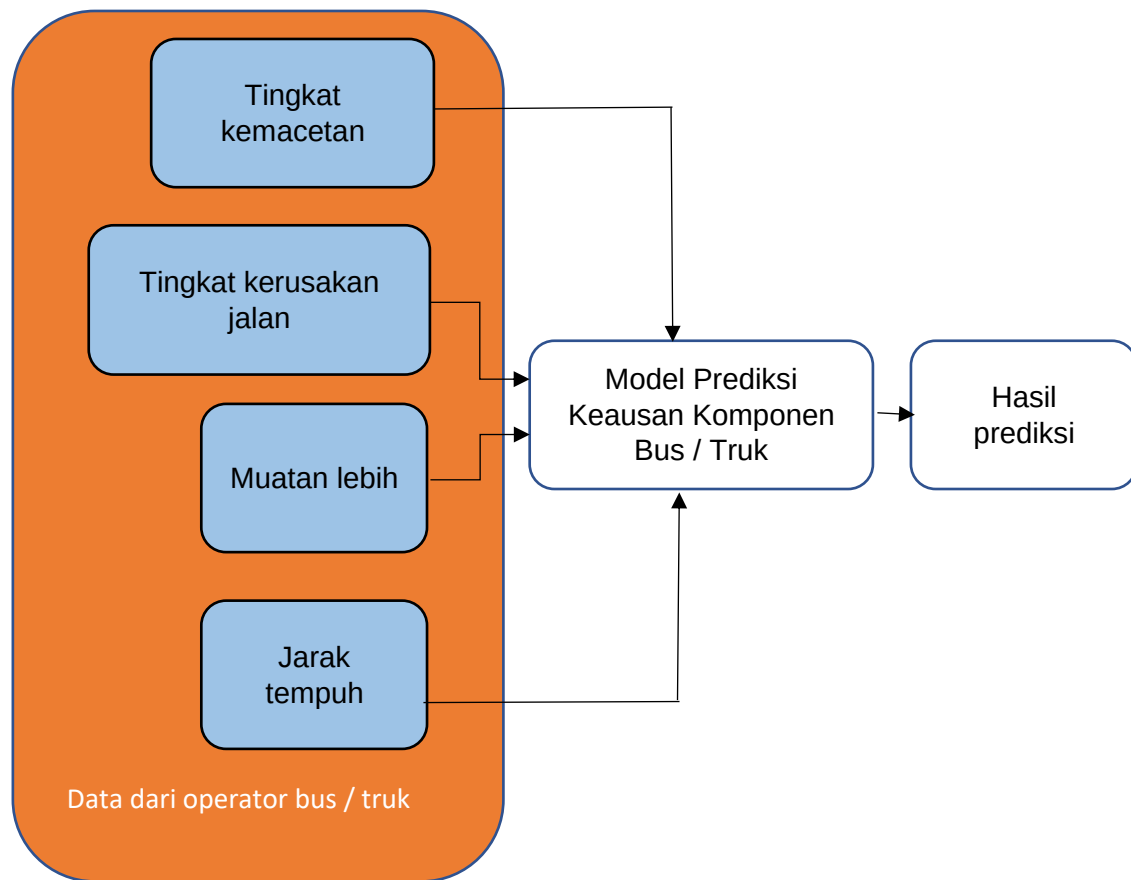
| Model                 | Akurasi Prediksi Komponen Yang Akan Mengalami Keausan |                  |                   |               |                 |
|-----------------------|-------------------------------------------------------|------------------|-------------------|---------------|-----------------|
|                       | Ban                                                   | Sistem transmisi | Sistem Pengereman | Bantalan Roda | Sistem Per Daun |
| <i>Random Forest</i>  | 91,3%                                                 | 90,3%            | 91,1%             | 90,6%         | 89,9%           |
| <i>SVM</i>            | 90,4%                                                 | 89,6%            | 90,1%             | 90,3%         | 90,1%           |
| <b><i>XGBoost</i></b> | <b>91,6%</b>                                          | <b>90,5%</b>     | <b>91,4%</b>      | <b>90,9%</b>  | <b>90,3%</b>    |
| <i>Naive Bayes</i>    | 90,5%                                                 | 90,1%            | 90,2%             | 90,0%         | 89,6%           |

Dari hasil eksperimen terlihat akurasi paling tinggi didapat melalui model *XGBoost*. Kondisi ini dapat dipahami karena *XGBoost* merupakan model klasifikasi dari *machine learning* yang menggabungkan beberapa model *decision tree* sehingga menghasilkan tingkat *error* yang lebih rendah (Sinaga dan Agustian, 2022).

### **Penerapan Model *Machine Learning***

Hasil pelatihan yang telah dilakukan pada model *machine learning* akan menghasilkan suatu model yang dapat memprediksi tingkat keausan komponen mobil bus dan truk. Tingkat keausan ini ditandai dengan keluaran dari hasil prediksi berupa persentase keausan masing-masing komponen mobil antara lain ban, sistem transmisi, sistem pengereman, bantalan roda dan sistem per daun.

Data-data yang dibutuhkan untuk melakukan prediksi tersebut berupa data faktor penyebab keausan komponen bus dan truk yaitu tingkat kemacetan jalan, tingkat kerusakan jalan, muatan berlebih dan jarak tempuh didapat dari operator bus dan truk. Secara garis besar, usulan penerapan model prediksi ini dapat dilihat pada Gambar 3. Model prediksi ini dapat diintegrasikan pada sistem yang sudah ada seperti sistem uji berkala kendaraan bermotor / KIR atau sistem pemantauan lainnya yang dimiliki oleh Pemerintah Provinsi DKI Jakarta.



**Penerbit Gunadarma**  
 Gambar 3. Penerapan model prediksi keausan komponen mobil.

Secara praktis, model prediksi keausan komponen mobil ini juga dapat diintegrasikan ke dalam data historis perawatan kendaraan oleh bengkel mobil khusus kendaraan berat seperti bus dan truk atau bengkel *internal* dari operator bus dan truk dalam melakukan perawatan berkala kendaraan yang dioperasikannya.

## KESIMPULAN

Berdasarkan eksperimen yang telah dijalankan maka dapat disimpulkan bahwa :

1. Prediksi keausan komponen kendaraan dapat dilakukan dengan menggunakan *machine learning* sehingga dapat mengurangi tingkat kemacetan yang diakibatkan oleh kendaraan bus atau truk yang mengalami kondisi mogok di jalan raya.
2. Hasil prediksi ini juga dapat digunakan sebagai acuan untuk melakukan perawatan terhadap komponen kendaraan tersebut.
3. Dari empat algoritma yang digunakan yaitu *Random Forest*, *SVM*, *XGBoost* dan *Naive Bayes*, sebagian besar memiliki tingkat akurasi diatas 90%. Akurasi tertinggi dicapai oleh model prediksi menggunakan *XGBoost* baik untuk memprediksi tingkat keausan ban, sistem transmisi, sistem pengeraman, bantalan roda dan sistem per daun.
4. *XGBoost* memiliki akurasi yang lebih tinggi dikarenakan *XGBoost* merupakan model klasifikasi yang menggabungkan beberapa model *decision tree* sehingga memberikan tingkat akurasi yang tinggi.
5. Faktor penyebab keausan dan jenis komponen mobil dalam *dataset* yang digunakan

pada eksperimen awal ini dapat ditambah atau dikurangi sesuai dengan kebutuhan dan disarankan untuk dilakukan konsultasi dengan ahli mekanik bus dan truk untuk meningkatkan akurasi hasil prediksi.

6. Penelitian lanjutan perlu dilakukan untuk mengetahui kondisi jalan di luar wilayah DKI Jakarta yang tentunya sangat berbeda dan menjadi salah satu faktor yang menentukan dalam model prediksi ini.

## **REKOMENDASI KEBIJAKAN (*POLICY BRIEF*)**

Salah satu cara mengatasi kemacetan adalah dengan memastikan kendaraan besar seperti truk ataupun bus dapat berfungsi dengan baik di jalan raya. Salah satu hal yang mempengaruhi adalah kondisi kendaraan diantaranya adalah keausan dari komponen-komponen kendaraan tersebut. Prediksi menggunakan *machine learning* dapat dilakukan untuk mencegah adanya kendaraan yang mogok di tengah jalan. Namun demikian untuk dapat melakukan prediksi tersebut dibutuhkan data-data seperti contoh data yang sudah disampaikan pada penelitian ini. Data-data tersebut dapat ditunjang melalui kebijakan dari Pemerintah Provinsi DKI Jakarta. Adapun rekomendasi tersebut adalah :

1. Kebijakan agar operator kendaraan dapat mengirimkan data perjalanan kendaraan tersebut secara berkala sebagai salah satu syarat dalam uji berkala kendaraan bermotor / KIR.
2. Untuk memudahkan pelaporan data tersebut, Pemerintah provinsi DKI Jakarta dapat membuat pelaporan secara *online*, sehingga memudahkan pihak operator dalam operasionalnya.
3. Pengambilan data juga dapat dilakukan secara faktual melalui data satelit, GPS, ataupun data dari pihak ketiga.
4. Integrasi model prediksi ini dengan sistem yang ada seperti sistem uji berkala kendaraan bermotor yang diselenggarakan oleh Pemerintah Provinsi DKI Jakarta, sehingga dapat digunakan pada saat uji berkala kendaraan bermotor / KIR bagi kendaraan bus dan truk.

Diharapkan melalui empat rekomendasi di atas, salah satu permasalahan kemacetan yang diakibatkan oleh kendaraan besar dapat dikurangi secara signifikan.

## DAFTAR PUSTAKA

- Christy N. (2022). ANALISIS KERUSAKAN MESIN 3516 B PADA TRUK 793 C BERDASARKAN OLI MENGGUNAKAN DATA KEAUSAN UJI LABORATORIUM SCHEDULE OIL SAMPLING (SOS) DENGAN METODE FAILURE MODE EFFECT ANALYSIS (FMEA). Jurnal Teknik Mesin, 11(2), 85-92. DOI:<http://dx.doi.org/10.22441/jtm.v11i2.14758>.
- Hu L, Chen J, Vaughan J, Aramideh S, Yang H, Wang K, Sudjianto A, Nair V N. 2021. Supervised Machine Learning Techniques: An Overview with Applications to Banking. International Statistical Review, 89: 573–604. DOI: <https://doi.org/10.1111/insr.12448>.
- Kesuma PA, Rohman MA, Prastyanto CA. 2019. IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng. 650 012011. DOI: 10.1088/1757-899X/650/1/012011.
- Kesuma PA, Rohman MA, Prastyanto CA. 2020. Analysing the root cause of the damage risk in heavy vehicles to reduce traffic congestion. International Journal of Construction Management. DOI: 10.1080/15623599.2020.1742639.
- Lagerblad U, Wentzel H, Kulachenko A. 2021. Vehicle fatigue damage prediction based on estimated strains and road measurements. Retrieved from <https://urn.kb.se/resolve?urn=urn:nbn:se:kth:diva-293413>.
- Liu W, Gan J, Chen N, Wang Z. 2020. J. Phys.: Conf. Ser. 1654 012072. DOI: 10.1088/1742-6596/1654/1/012072.
- Mohanty S, Hazra S, Paul S. 2020. Intelligent prediction of engine failure through computational image analysis of wear particle. Engineering Failure Analysis. Volume 116. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2020.104731>.
- Nowaczyk S, Prytz R, Rognvaldssn T, Byttner S. 2013. Towards a machine learning algorithm for predicting truck compressor failures using looged vehicle data. 12<sup>th</sup> Scandinavian Conference on Artificial Intelligence, Vol 257. DOI: 10.3233/978-1-61499-330-8-205.
- Sinaga HH, Agustian S. 2022. Pebandingan Metode Decision Tree dan XGBoost untuk Klasifikasi Sentimen Vaksin Covid-19 di Twitter. Jurnal Nasional Teknologi dan Sistem Informasi. Vol. 8. No.3:107-114.
- Tessaro I, Mariani V, Coelho L. 2020. Machine learning models applied to predictive maintenance in automotive engine components. Proceeding of 1<sup>st</sup> International Electronic Conference on Acuator Technology: Materials, Devices and Applications. DOI: 10.3390/iecat2020-08508.
- Theissler A, Velázquez JP, Kettelgerdes M, Elger G. 2021. Predictive Maintenance enabled by machine learning: use cases and challenges in the automotive industry. Reliability Engineering & System Safety. Vol 215. [cited 2024 May 12]; Available from: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0951832021003835>. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ress.2021.107864>.
- Thiruvengadam A. 2014. Heavy-Duty Vehicle Diesel Engine - Efficiency Evaluation and Energy Audit. Center for Alternative Fuels, Engines & Emissions. West Virginia University
- Truda G. 2023. Generating tabular datasets under differential privacy. arXiv. DOI: <https://doi.org/10.48550/arXiv.2308.14784>.





## **MACHINE VISION UNTUK INTELLIGENT TRANSPORT SYSTEM: PRAKTIK, TANTANGAN, DAN PELUANG UNTUK KOTA JAKARTA**

**Indra Setiawan<sup>1\*</sup>, Neilinda Novita Aisa<sup>2</sup>, Pramana Sidik<sup>3</sup>, Deni Nur Faizin<sup>4</sup>**  
<sup>1,2,3,4</sup> Program Studi Teknik Produksi dan Proses Manufaktur, Jurusan Teknik Mesin  
dan Industri, Politeknik Astra, Jakarta 14330, Indonesia

\*Penulis Korespondensi, e-mail: [indra.setiawan@polytechnic.astra.ac.id](mailto:indra.setiawan@polytechnic.astra.ac.id)

### **ABSTRAK**

Kemacetan merupakan salah satu fenomena masalah terbesar di perkotaan, khususnya Kota Jakarta. Kemacetan merupakan kondisi dimana kendaraan tidak dapat berjalan dengan lancar atau dapat disebut laju kendaraan mengalami perlambatan. Soal kemacetan, Jakarta merupakan juaranya. Berbagai macam strategi dilakukan pemerintah Jakarta untuk mengurangi kemacetan, mulai dari menjalankan *traffic light*, menerapkan sistem ganjil genap, tarif progresif, dan penyediaan berbagai bentuk angkutan umum sebagai alternatif meringankan kemacetan. Namun, strategi tersebut belum mampu mengurangi kemacetan di Jakarta. Diperlukan suatu *improvement* untuk mengatasi masalah tersebut. Kondisi aktual di penjurukota Jakarta sudah hampir menjalankan *traffic light*, namun fungsinya masih belum optimal. Sistem *traffic light* yang digunakan masih manual, yaitu berdasarkan durasi waktu sehingga jika terdapat penumpukan kendaraan maka macet tidak dapat dihindarkan. Solusi yang ditawarkan adalah menerapkan *Machine Vision* di setiap simpang jalan. Hal ini bertujuan untuk menghitung dan memonitoring jumlah kendaraan yang berhenti di simpang jalan secara *real time*. *Machine vision* telah diterapkan secara luas di bidang manufaktur dan aplikasinya, seperti robot dan layanan serta gerakan ergonomis dalam menghubungkan antar proses. Secara garis besar *Machine Vision* dibagi menjadi empat kategori utama: *automated visual inspection* (AVI), kontrol proses, identifikasi part, *robotic guidance* dan pengendalian. Kategori yang paling banyak digunakan adalah AVI. Beberapa peneliti mendokumentasikan bahwa sistem AVI dapat diulang, dan bisa juga diterapkan pada kecepatan yang sangat tinggi untuk mengevaluasi objek yang terdeteksi. Contoh kasus lain *machine vision* digunakan di industri manufaktur untuk mencegah produk dalam kondisi *Not Good* (NG). Kamera bekerja sebagai *Machine Vision* pada kondisi produk yang tidak sesuai spesifikasi. Teknologi ini menggunakan *machine learning* yang merupakan bagian dari kecerdasan buatan (*Artificial Intelligence*). Teknologi ini dapat diterapkan pada *traffic light*. Kondisi yang semula menggunakan durasi waktu untuk pergantian lampu, kini dapat digantikan dengan sistem volume kendaraan. Teknologi ini dapat mengatur durasi warna di lampu lalu lintas, yaitu merah, kuning dan hijau saat menyala. Harapannya dengan *Machine Vision* kemacetan dapat terpantau dan efisiensi lalu lintas meningkat.

Kata Kunci: *Intelligent Transport System*, *Machine Vision*, Kemacetan, *Smart City*

### **PENDAHULUAN**

Kemacetan lalu lintas merupakan fenomena khas perkotaan yang disebabkan oleh peningkatan jumlah kendaraan, peningkatan produktivitas pergerakan penduduk, dan fasilitas yang tidak memadai (Utami et al., 2023). Penyebab tersebut sesuai dengan definisi kemacetan yaitu kondisi dimana volume lalu lintas lebih besar dibandingkan kapasitas jalan (Prasetyo et al., 2022). Kondisi ini menyebabkan adanya antrian kendaraan sehingga pergerakan kendaraan menjadi tidak lancar atau mengalami perlambatan. Sementara itu, menurut Farda & Balijepalli (2018) wilayah Asia Tenggara diprediksi akan mengalami peningkatan jumlah penduduk hingga 50% pada tahun 2025 dari kondisi saat ini yaitu sekitar 42% dari 245 juta penduduk di Asia Tenggara. Kota Jakarta yang termasuk dalam wilayah Asia Tenggara

menduduki peringkat ke-46 dari 404 kota dalam daftar kota dengan lalu lintas terbanyak dan terpadat. Hal tersebut disebabkan karena volume penduduk pada kota Jakarta sangat tinggi yaitu sebesar 16.704 jiwa per kilometer persegi (Afilia & Ginting, 2023). Berdasarkan BPS (2022) mengenai jumlah kendaraan bermotor di DKI Jakarta pun menunjukkan adanya peningkatan dari tahun 2020 hingga 2022 sebesar 8,08% atau sebesar 1.634.260 kendaraan. Apabila volume terus meningkat dengan fasilitas yang tetap sama saat ini, maka antrian kendaraan akan semakin parah dan menimbulkan kerugian. Berdasarkan hasil penelitian yang dipublikasikan oleh Fakultas Ekonomi dan Bisnis Universitas Indonesia, kerugian tahunan akibat kemacetan yang terjadi di Jakarta diperkirakan mencapai Rp50,2 triliun per tahun (Harry et al., 2015). Padahal berbagai upaya telah dilakukan untuk mengatasi kemacetan seperti penggunaan *traffic light*, kebijakan ganjil genap, tarif progresif, dan penyediaan berbagai bentuk angkutan umum sebagai alternatif meringankan kemacetan. Namun, upaya tersebut belum mampu mengatasinya. Menurut penelitian yang telah dilakukan, faktor utama penyebab kemacetan di Kota Jakarta yaitu terdapatnya celah melakukan pelanggaran dalam setiap kebijakan yang telah diterapkan pemerintah Kota Jakarta. Tingginya angka kepemilikan kendaraan pribadi untuk menunjukkan kelas sosial di masyarakat, dan Pemerintah Provinsi DKI Jakarta yang belum bisa menawarkan transportasi umum yang mengintegrasikan semua moda transportasi dengan aksesibilitas sederhana dan kemampuan mengirimkan penumpang ke tujuan akhir mereka (Girsang, 2023; Sitanggang & Saribanon, 2018). Solusi yang dapat menyelesaikan permasalahan tersebut yaitu masalah kemacetan lalu lintas di negara-negara berkembang (salah satunya Kota Jakarta) tidak dapat diselesaikan sepenuhnya dengan membangun infrastruktur baru, namun juga memerlukan pengelolaan cerdas terhadap infrastruktur jalan yang ada (Bhardwaj et al., 2023).

Bersumber pada peraturan Gubernur Provinsi DKI Jakarta No 280 tahun 2014 tentang pembentukan organisasi serta tata kerja unit pengelola Jakarta *Smart City* dinyatakan bahwa pengelolaan Kota Jakarta dengan mengembangkan dan mengintegrasikan segala aspek serta seluruh elemen sumber daya secara terintegrasi dengan menggunakan teknologi informasi modern. Tujuannya untuk mewujudkan kota Jakarta menuju *Smart City* dengan tata kelola yang bersih dan rapi, membudayakan masyarakat yang peduli terhadap tata kelola wilayah dan membangun sistem pemerintahan yang bersih dan transparan serta berorientasi pada pelayanan publik dengan mengedepankan kesejahteraan dan keselamatan (Sangaji et al., 2021). Oleh karena itu, tujuan dari *book chapter* ini adalah memperkenalkan pengaplikasian teknologi *Machine Vision* untuk *Intelligent Transport System* dengan menyajikan praktik, tantangan yang dihadapi serta potensi penerapannya di Kota Jakarta.

## STATE OF THE ART

*Smart City* adalah sebuah konsep perencanaan wilayah kota yang menintegrasikan antara pemanfaatan teknologi dan kebijakan pemerintah sebagai bentuk dukungan dalam implementasinya di lapangan (Belaïd & Arora, 2017; Sofiyah et al., 2022). Salah satu konsep yang telah dikembangkan oleh mahasiswa dari Universiti Teknologi MARA yaitu pemanfaatan kamera untuk menghitung jumlah kendaraan pada setiap ruas jalan pada suatu persimpangan. Jumlah kendaraan tersebut dapat digunakan sebagai input sinyal yang dikirimkan pada lampu lalu lintas untuk menentukan kapan dan lamanya suatu lampu menyala (Meng et al., 2021). Sementara di Jakarta, sistem pengaturan arus lintas mayoritas masih menggunakan sistem manual meskipun pada beberapa lokasi sudah mulai dikembangkan *Artificial Intelligence* tapi

belum optimal. Harapannya sistem tersebut terus dikembangkan sehingga kedepan dapat menggantikan sistem yang ada saat ini dan meningkatkan efisiensi pengaturan arus lalu lintas pada persimpangan guna mengurangi kemacetan. Secara garis besar *Artificial Intelligence* yang dijalankan adalah *Machine Vision* yang dibagi menjadi empat kategori utama: *Automated Visual Inspection* (AVI), kontrol proses, identifikasi *part*, *Robotic Guidance* dan pengendalian. Kategori yang paling banyak digunakan adalah AVI (Herlambang et al., 2023). Beberapa peneliti mendokumentasikan bahwa sistem AVI dapat diulang, dan bisa juga diterapkan pada kecepatan yang sangat tinggi untuk mengevaluasi objek yang terdeteksi (Ikatinasari et al., 2023). Contoh kasus lain *Machine Vision* digunakan di industri manufaktur untuk mencegah produk dalam kondisi *Not Good* (NG). Kamera bekerja sebagai *Machine Vision* pada kondisi produk yang tidak sesuai spesifikasi (Herlambang et al., 2021). AVI adalah serangkaian teknik yang digunakan untuk mendeteksi dan mengklasifikasikan cacat pada produk manufaktur. Inspeksi visual modern menggunakan pembelajaran mesin dan algoritma pembelajaran mendalam untuk membantu dan meningkatkan proses penjaminan kualitas. Model ini dapat diterapkan pada *Intelligent Transportation System* untuk mengurangi kemacetan (Mariappan et al., 2016).

*Intelligent Transportation System* adalah penerapan teknologi maju di bidang elektronika, komputer dan telekomunikasi yang dipadu dengan prinsip manajemen strategi untuk meningkatkan fungsi transportasi secara keseluruhan seperti efektifitas jaringan transportasi, manajemen lalu lintas, pengoperasian kendaraan, keamanan dan dampak yang ramah lingkungan (Khalid et al., 2019). Munculnya teknologi *Internet of Things* (IoT) dan 5G mempercepat adopsi dari penerapan teknologi ini (Barba et al., 2012). Jaringan Ad-hoc Kendaraan (VANET), Lampu Lalu Lintas Cerdas, Lampu Lalu Lintas Virtual, dan Prediksi Mobilitas adalah perangkat utama yang dapat digunakan untuk mewujudkan terciptanya *Smart City* dalam hal transportasi karena dapat membantu meminimalkan dampak buruk kemacetan, mengutamakan kendaraan darurat, mempersingkat waktu respons keadaan darurat, meningkatkan efisiensi lalu lintas, mencegah tabrakan tak terduga, dan mengurangi emisi karbon (Elassy et al., 2024).

## PEMBAHASAN

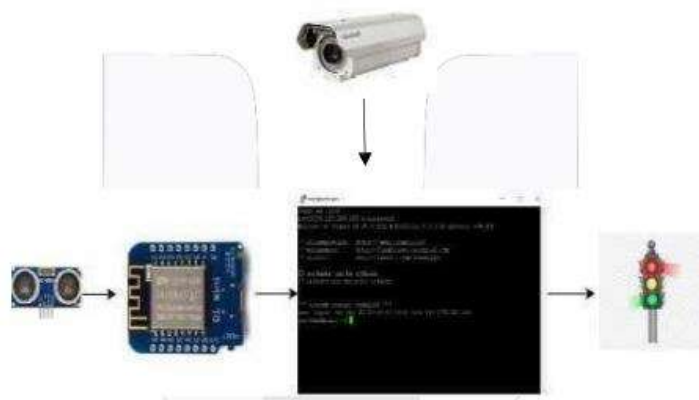
### Praktik Lalu Lintas Jakarta Saat Ini

Manajemen lalu lintas Kota Jakarta saat ini mayoritas masih menggunakan *Traffic Light* yang pengoperasian secara manual. Berdasarkan UU No. 22 tahun 2009 tentang Lalu Lintas dan Angkutan Jalan: alat pemberi isyarat lalu lintas atau APILL bahwa *Traffict Light* atau lampu lalu lintas adalah lampu yang mengendalikan arus lalu lintas yang terpasang di persimpangan jalan, tempat penyeberangan pejalan kaki (*zebra cross*), dan tempat arus lalu lintas lainnya. *Traffic Light* terdiri dari 3 warna lampu yaitu merah, kuning, dan hijau. Ketiga warna tersebut memiliki fungsi yang berbeda yaitu merah yang berarti berhenti, kuning yang berarti jalan dengan hati-hati, dan hijau yang berarti jalan. Lokasi lampu tersebut biasanya terdapat di persimpangan jalan yang sering dijadikan sebagai rambu utama menuju suatu lokasi. Sistem yang digunakan pada *Traffic Light* yaitu adanya pengaturan awal mengenai lamanya waktu suatu lampu menyala. Kekurangan pada sistem ini yaitu tidak mempunyai lampu dalam menyesuaikan kondisi aktual. Ketidakmampuan ini menimbulkan kurangnya efektivitas pemanfaatan kondisi lampu hijau pada suatu arus tertentu karena rasio yang kurang tepat antara menyalanya lampu hijau dengan kepadatan suatu ruas jalan. Misalnya ketika pagi hari pada bundaran HI, dominan

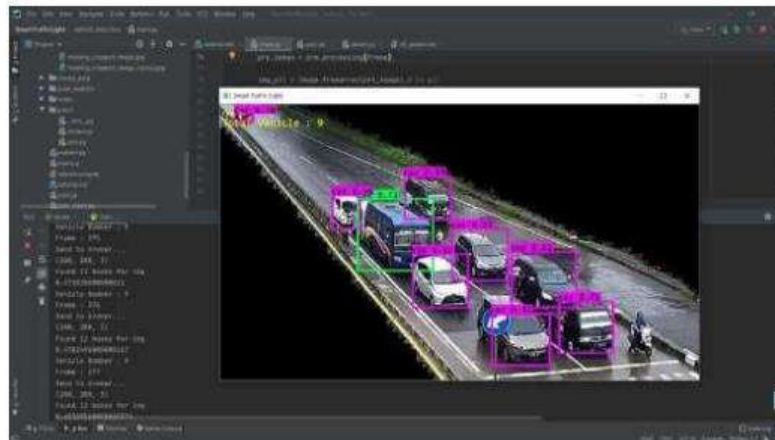
kendaraan akan mengarah ke Jakarta dan sedikit kendaraan yang akan mengarah ke Bogor. Kondisi seperti ini dengan pengaturan lampu yang sama, maka kendaraan yang ke arah Jakarta akan lebih padat dibandingkan ke arah Bogor, begitupun sebaliknya apabila di sore hari. Jadi, perlu adanya penyesuaian waktu dengan kebutuhan kondisi aktual di lapangan. Selain itu, kondisi antar satu persimpangan dengan persimpangan yang lain menunjukkan adanya perbedaan. Hasil penelitian yang telah dilakukan oleh mahasiswa Sekolah Tinggi Teknik PLN di beberapa lokasi persimpangan jalan Jakarta Pusat menyatakan bahwa setiap perempatan memiliki pengaturan waktu yang berbeda antara lampu merah, kuning, dan hijau serta terjadi perbedaan juga antara kondisi pagi hari dan sore menjelang malam hari (Hartanti & Martono, 2016). Cara manual ini belum mampu menyelesaikan masalah kemacetan di Kota Jakarta.

### Konsep Sistem Baru

*Intelligence Transport System* atau Sistem Transportasi Cerdas merupakan adopsi dan penerapan informasi dan komunikasi modern di sektor transportasi. Salah satu yang banyak diterapkan saat ini adalah *Machine Vision*. *Machine Vision* adalah salah satu dari teknologi AI yang mana dapat menyajikan data visual dari media digital dengan bantuan sensor gambar (Tzampazaki et al., 2024). Salah satu jenis dari *Machine Vision* yaitu *Automated Visual Inspection* (AVI) dimana dalam bidang lain seperti manufaktur digunakan sebagai alat bantu yang dapat dengan cepat memeriksa objek dengan cerdas, fleksibel, biaya rendah, presisi tinggi, dan dengan sistem yang *real time* (Hartanti & Martono, 2016). AVI menggunakan kamera untuk mengambil data berupa gambar yang selanjutnya menjadi signal untuk dikirimkan ke perangkat lain sebagai bahan dalam pengambilan keputusan. Penerapan AVI di sistem transportasi cerdas menggunakan prinsip yang sama yaitu dengan memanfaatkan kamera yang digunakan untuk menangkap kondisi aktual di suatu ruas jalan. Salah satu kondisi aktual yang dapat dilaporkan adalah menghitung panjang antrian kendaraan pada suatu jalur. Panjang antrian dihitung dengan mengalikan jumlah kendaraan yang terdeteksi dengan rata-rata panjang kendaraan kurang lebih 5 meter (Umair et al., 2021). Estimasi ini dilakukan dengan mempertimbangkan berbagai jenis kendaraan seperti mobil, truk, bus, dll. Selanjutnya data tersebut dapat dijadikan bahan keputusan lamanya waktu lampu lalu lintas dalam suatu ruas jalan perlu menyala. Hal ini memungkinkan kemacetan pada jalur manapun dapat diminimalisir. Sistem tersebut juga telah diteliti oleh mahasiswa Universitas Telkom dengan hasil pemodelan yang dapat dilihat pada Gambar 1 dan hasil pengujian jumlah kendaraan dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 1. Pemodelan Sistem  
Sumber: (Musti et al., 2020)



Gambar 2. Hasil Pengujian Jumlah Kendaraan  
Sumber: (Musti et al., 2020)

Penelitian Musti et al. (2020) menghasilkan suatu sistem yang berpotensi menurunkan kemacetan di Kota Jakarta. Jarak kamera yang digunakan pada sistem ini adalah kurang lebih sepanjang 20 m.

### Tantangan yang Sedang Dihadapi

Terdapat beberapa tantangan yang dihadapi ketika sistem tersebut ingin terealisasi di Kota Jakarta yaitu sebagai berikut:

#### 1. Kekuatan Ekonomi

Proyek transformasi berbasis teknologi memerlukan investasi yang besar mulai dari riset kondisi dilapangan, riset produk di lapangan, pemasangan secara teknis dilapangan, dan *maintenance* selama proses operasional jika teknologi benar-benar diimplementasikan dengan sempurna.

#### 2. Peraturan Pemerintah

Otoritas pemerintah sangat terlibat dalam pengembangan transportasi karena mereka mempunyai kekuasaan dalam pembuatan kebijakan yang berlaku.

### Peluang Perbaikan untuk Menurunkan Kemacetan

Apabila sistem kamera dapat diaplikasikan dan dapat berjalan secara *real-time* tentu akan menurunkan tingkat kemacetan di Kota Jakarta. Kota Jakarta memiliki peluang untuk menerapkan hal ini karena banyaknya lulusan informatika dan elektro yang seharusnya dapat dimanfaatkan oleh pemerintah dalam pengembangan sistem pemerintahan menuju *Smart City*.

### Pembahasan *Intelligence Transport System*

#### Jaringan *Ad-hoc* Kendaraan atau *Vehicular Ad-hoc Networks* (VANET)

VANET merupakan cikal bakal dari *Intelligent Transport System* yang dikembangkan dengan mengacu pada standar *Institute of Electrical and Electronics Engineers* (IEEE) 802.11p dan IEEE 1609, maupun standar yang telah ada sebelumnya (Aziza, 2016). VANET dibagi menjadi beberapa sub kategori seperti *Vehicle to Vehicle* (V2V), *Vehicle to Infrastructure* (V2I), *Vehicle to Server* (V2S), *Vehicle to House* (V2H), *Vehicle to Cloud* (V2C), *Vehicle to Network* (V2N), *Vehicle to Pedestrian* (V2P), dan V2X yang mengkombinasikan tipe-tipe penting VANET seperti V2V, V2I, V2P dan V2N (Sharma et al., 2024). V2V membuat kendaraan berkomunikasi satu sama lain secara langsung untuk bertukar informasi seperti lokasi, kecepatan, dan arah. Data ini penting untuk mengembangkan aplikasi keselamatan kooperatif untuk membantu menghindari kecelakaan dan meminimalkan kemacetan lalu lintas. V2I membuat kendaraan berkomunikasi dengan lampu lalu lintas, sensor, dan kamera untuk meningkatkan keselamatan dan lalu lintas. Pengemudi mendapatkan informasi *real time* mengenai kondisi jalan, kemacetan lalu lintas, dan kecelakaan. V2S adalah bagian dari V2I yang melibatkan



komunikasi antara kendaraan dan server jarak jauh dan biasanya digunakan untuk pemantauan lalu lintas *real time* untuk mengoptimalkan rute. V2H menghubungkan mobil dengan stasiun pengisian daya dan peralatan cerdas. Bisa juga untuk mengisi daya listrik kendaraan, menghangatkan atau mendinginkannya, dan mengoperasikan tugas-tugas otomatisasi rumah seperti menyalakan lampu atau membuka pintu depan. V2C menghubungkan antara kendaraan dan layanan berbasis *cloud* dengan bertukar data yang dikumpulkan dari sensor kendaraan, navigasi dan peralatan pintar lainnya tentang status mobil, jalan kondisi dikirim ke *cloud* untuk dianalisis dan kemudian dikirim kembali ke kendaraan berupa informasi waktu akurat yang berharga sesuai kondisi lalu lintas dan perencanaan rute yang dipersonalisasi. V2N digunakan untuk menghubungkan kendaraan dengan jaringan eksternal sebagai jaringan seluler untuk mengakses fitur-fitur layanan berbasis *cloud* dan terhubung dengan lampu lalu lintas cerdas serta sistem manajemen lalu lintas. V2N juga digunakan untuk menerima pembaruan waktu nyata tentang lalu lintas, navigasi, dan kondisi cuaca. V2P beroperasi secara efektif ketika kendaraan mendekati persimpangan atau perempatan, dan seorang pejalan kaki tiba-tiba muncul di jalan tanpa memperhatikan kendaraan mendekat yang melaju dengan kecepatan tinggi. Dengan memfasilitasi peringatan tepat waktu tersebut, komunikasi V2P secara signifikan mengurangi risiko kecelakaan pada kendaraan.

### 1. Intelligent Traffic Lights

*Intelligent Traffic Lights* sangat penting karena mampu mengatur pergerakan lalu lintas dan meningkatkan keselamatan di jalan. *Intelligent Traffic Lights* adalah lampu lalu lintas yang meningkatkan pergerakan lalu lintas dan mengurangi kemacetan dengan menggunakan data lalu lintas yang *real time* dan penerapan algoritma (Odeh, 2013). Ide utama penggunaan *Intelligent Traffic Lights* adalah data *real time* dari berbagai sumber untuk membuat pilihan yang lebih tepat (Kaiwartya et al., 2013). *Intelligent Traffic Lights* dapat menyesuaikan waktu lampu lalu lintas dengan mendeteksi jumlah mobil di suatu persimpangan. Apabila diketahui bahwa salah satu persimpangan memiliki jumlah kendaraan lebih banyak maka waktu lalu lintas akan menjadi lebih lama begitupun sebaliknya sehingga mengurangi waktu tunggu kendaraan (Bani Younes & Boukerche, 2016). Hal ini mampu mengurai kemacetan dan mengurangi emisi CO<sub>2</sub>. *Intelligent Traffic Lights* juga mampu mendeteksi bentuk menggunakan *Machine Vision* sehingga mampu membuat kendaraan-kendaraan *emergency* untuk lewat tanpa harus tertunda. Dengan adanya *Machine Vision* yang mampu mendeteksi bentuk seperti sepeda dan alat bantu jalan maka waktu penyeberangan yang aman dapat diatur sehingga mampu mengurangi kecelakaan (Bani Younes & Boukerche, 2014).

### 2. Virtual Traffic Lights

*Virtual Traffic Lights* adalah perkembangan dari *Intelligent Traffic Lights* dengan menggunakan teknologi 5G dan infrastruktur jalan dengan bantuan kamera, sensor dan lainnya untuk mendeteksi kendaraan dan memproyeksikan sinyal virtual ke jalan yang dideteksi oleh *On Board Unit* (OBU) kendaraan untuk menginformasikan pengemudi tentang kondisi jalan (Liu et al., 2018). OBU adalah komponen yang sangat penting untuk keberhasilan *Virtual Traffic Lights*. Sebagai contoh, misalnya ada mobil yang bergerak lurus di persimpangan, dan ada mobil lain datang dari kiri atau kanan dengan kecepatan lebih tinggi, *Virtual Traffic Lights* mendeteksi situasi ini dan mengirimkan pesan peringatan berhenti secara *real time* ke OBU yang diterapkan di dalam kendaraan. Jika kendaraan lambat atau gagal berhenti, sistem *Virtual Traffic Lights* dapat mengingatkan pengemudi melalui OBU atau langsung ke sistem otomatis kendaraan dan memicu sistem



pengereman otomatis mencegah terjadinya tabrakan. Hal serupa juga terjadi pada pejalan kaki yang menyeberang jalan di persimpangan. *Virtual Traffic Lights* juga dapat memprioritaskan kendaraan darurat, sehingga mampu mengurangi waktu tanggap darurat (Ferreira & d'Orey, 2012).

### 3. Prediksi Mobilitas

Prediksi mobilitas memainkan peran penting dalam mengembangkan kota pintar dan VANET. Hal ini karena dapat mempercepat pengembangan kendaraan otonom, meningkatkan manajemen lalu lintas, dan meningkatkan keselamatan serta memajukan pengembangan kota pintar. Kemajuan teknologi ini akan membuat jalan menjadi lebih aman dan lebih nyaman, ramah pengguna dan akan berdampak luar biasa pada masa depan transportasi (Chavhan & Venkataram, 2020). Tujuan penting dari teknik prediksi mobilitas adalah untuk memprediksi pola pergerakan kendaraan dalam suatu jaringan. Sistem ini juga dapat mengurai kemacetan dengan memprediksi terjadinya *bottleneck* pada saat *real time*. Sistem ini dapat mengingatkan pengemudi akan potensi risiko tabrakan, memungkinkan mereka untuk mengambil tindakan korektif ketika berpindah dari satu jalur ke jalur lainnya.

## KESIMPULAN

Jakarta merupakan kota dengan jumlah penduduk yang tinggi dan diprediksi akan naik di tahun 2025 sehingga menyebabkan adanya kemacetan yang panjang (dengan jarak tertentu). Kondisi terkini yang hanya menerapkan *Traffic Light*, sistem ganjil genap, tarif progresif, dan penyediaan berbagai bentuk angkutan umum sebagai alternatif meringankan kemacetan belum mampu mengurai kemacetan. Terdapat potensi untuk menerapkan *Machine Vision* berbasis *Artificial Intelligence* untuk merealisasikan *Intelligence Transportation System*. Topik ini sangat penting sebagai bahan pengetahuan dan proses realisasi karena dapat dijadikan pembelajaran dengan teknologi yang sama atau mirip dapat diterapkan dalam objek yang berbeda. Bagian ini hanya membahas sekilas mengenai praktik, tantangan, dan peluang *Machine Vision*. Diperlukan penelitian lebih lanjut dengan teknis yang relevan agar konsep ini dapat terealisasi untuk mendukung Jakarta menuju *Smart City*. Pertanyaannya, bisakah pihak swasta dan pemerintah bersinergi untuk membuat tata kelola pemerintahan Jakarta menjadi Kota yang cerdas dan terbebas dari kemacetan?

## REKOMENDASI KEBIJAKAN (POLICY BRIEF)

Berdasarkan uraian pada bab sebelumnya, maka ada beberapa rekomendasi kebijakan untuk Pemerintah Provinsi DKI Jakarta di bidang Transportasi, diantaranya sebagai berikut:

1. Pemerintah Kota Jakarta seharusnya memiliki program inkubasi yang berisikan mahasiswa ataupun praktisi profesional yang berfokus dalam pengembangan Artificial Intelligence di Indonesia khususnya Kota Jakarta. Program ini dapat dirancang dengan cara pembinaan dan pengembangan suatu tata kelola yang dirancang khusus untuk membantu pemerintahan dalam segala aspek Smart City terutama bidang transportasi.
2. Perlu adanya dukungan pemerintah dalam bentuk kebijakan penerapan hasil riset di lapangan secara berkelanjutan karena pemerintah mempunyai kekuasaan dalam pembuatan kebijakan yang berlaku di sistem pemerintahan.

## DAFTAR PUSTAKA

- Afilia, V. I., & Ginting, J. M. (2023). Analysis of Traffic Congestion Impact Based on Road User Perception: A Case Jalan Gajah Mada, Batam-Indonesia. *LEADER: Civil Engineering and Architecture Journal*, 1, 103–113. <https://doi.org/10.37253/leader.v1i2.7890>
- Aziza, R. N. (2016). Jaringan Ad Hoc Vehicular (Vanet): Tinjauan Tentang Arsitektur, Karakteristik, Aplikasi, dan Protokol Medium Access Control (MAC). *Jurnal PETIR*, Volume 9(No 1), 28–37. <https://doi.org/10.33322/petir.v9i1.188>
- Bani Younes, M., & Boukerche, A. (2014). An Intelligent Traffic Light scheduling algorithm through VANETs. *39th Annual IEEE Conference on Local Computer Networks Workshops*, 637–642. <https://doi.org/10.1109/LCNW.2014.6927714>
- Bani Younes, M., & Boukerche, A. (2016). Intelligent Traffic Light Controlling Algorithms Using Vehicular Networks. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 65(8), 5887–5899. <https://doi.org/10.1109/TVT.2015.2472367>
- Barba, C. T., Mateos, M. Á., Soto, P. R., Mezher, A. M., & Igartua, M. A. (2012). Smart city for VANETs using warning messages, traffic statistics and intelligent traffic lights. *2012 IEEE Intelligent Vehicles Symposium*, 902–907. <https://doi.org/10.1109/IVS.2012.6232229>
- Belaïd, F., & Arora, A. (2017). Smart Cities - Social and Environmental Challenges and Opportunities for Local Authorities. In *Research Gate*. Springer. <https://bibliotecadigital.fgv.br/dspace/handle/10438/18386>
- Bhardwaj, A., Iyer, S. R., Ramesh, S., White, J., & Subramanian, L. (2023). Understanding sudden traffic jams: From emergence to impact. *Development Engineering*, 8(December 2022), 100105. <https://doi.org/10.1016/j.deveng.2022.100105>
- BPS. (2022). Jumlah Kendaraan Bermotor Menurut Jenis Kendaraan (unit) di Provinsi DKI Jakarta 2020-2022. Badan Pusat Statistik. <https://jakarta.bps.go.id/indicator/17/786/1/jumlah-kendaraan-bermotor-menurut-jenis-kendaraan-unit-di-provinsi-dki-jakarta.html> (Accessed: 04-04-2024)
- Chavhan, S., & Venkataram, P. (2020). Prediction based traffic management in a metropolitan area. *Journal of Traffic and Transportation Engineering*, 7(4), 447–466. <https://doi.org/10.1016/j.jtte.2018.05.003>
- Elassy, M., Al-Hattab, M., Takruri, M., & Badawi, S. (2024). Intelligent transportation systems for sustainable smart cities. *Transportation Engineering*, 16(December 2023), 100252. <https://doi.org/10.1016/j.treng.2024.100252>
- Farda, M., & Balijepalli, C. (2018). Exploring the effectiveness of demand management policy in reducing traffic congestion and environmental pollution: Car-free day and odd-even plate measures for Bandung city in Indonesia. *Case Studies on Transport Policy*, 6(4), 577–590. <https://doi.org/10.1016/j.cstp.2018.07.008>
- Ferreira, M., & d'Orey, P. M. (2012). On the Impact of Virtual Traffic Lights on Carbon Emissions Mitigation. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 13(1), 284–295. <https://doi.org/10.1109/TITS.2011.2169791>
- Girsang, L. W. P. (2023). Analysis of The Factors That Contribute To The High Rate of Private Vehicle Ownership In DKI Jakarta. *Mahadi: Indonesia Journal of Law*, 2(2), 105–114. <https://doi.org/10.32734/mah.v2i2.12348>
- Harry, S., Harmadi, B., & Yudhistira, M. H. (2015). How Does Congestion Matter for Jakarta ' S Citizens ? *Journal of Indonesian Economy and Business*, 30(3), 220–239.
- Hartanti, D., & Martono, W. H. (2016). Penetapan Titik Pendeteksi Antrian Kendaraan Pada Perempatan Lampu Lalu Lintas. *Jurnal Kajian Ilmu Dan Teknologi*, 5(2), 79–87. <https://doi.org/10.33322/kilat.v5i2.684>
- Herlambang, H., Purba, H. H., & Jaqin, C. (2021). Development of machine vision to increase the level of automation in indonesia electronic component industry. *Journal Europeen Des Systemes Automatises*, 54(2), 253–262. <https://doi.org/10.18280/JESA.540207>
- Herlambang, H., Semnasti, H. H. P., & Semnasti, K. (2023). Terminals and Connector Inspection Innovation using Machine Vision. *Waluyo Jatmiko Proceeding*, 16(1), 581–590. <https://doi.org/10.33005/wj.v16i1.27>
- Ikatinasari, Z. F., Herlambang, H., & Kosasih, K. (2023). Design and implementation of

- intelligent electronic component inspection based on PLC and vision system. *Jurnal Sistem Dan Manajemen Industri*, 7(2), 155–168. <https://doi.org/10.30656/jsmi.v7i2.6511>
- Kaiwartya, O., Kumar, S., & Kasana, R. (2013). Traffic light based time stable geocast (T-TSG) routing for urban VANETs. 2013 Sixth International Conference on Contemporary Computing (IC3), 113–117. <https://doi.org/10.1109/IC3.2013.6612173>
- Khalid, T., Khan, A. N., Ali, M., Adeel, A., Rehman Khan, A., & Shuja, J. (2019). A fog-based security framework for intelligent traffic light control system. *Multimedia Tools and Applications*, 78(17), 24595–24615. <https://doi.org/10.1007/s11042-018-7008-z>
- Liu, J., Li, J., Zhang, L., Dai, F., Zhang, Y., Meng, X., & Shen, J. (2018). Secure intelligent traffic light control using fog computing. *Future Generation Computer Systems*, 78, 817–824. <https://doi.org/10.1016/j.future.2017.02.017>
- Meng, B. C. C., Damanhuri, N. S., & Othman, N. A. (2021). Smart traffic light control system using image processing. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 1088(1), 012021. <https://doi.org/10.1088/1757-899x/1088/1/012021>
- Musti, M. H. F., Rendy, M., & Ibrahim, N. (2020). Design of Traffic Setting By Detecting Length of Queue and Calculating the Number of Vehicles. *E-Proceeding of Engineering*, 7(3), 9135–9144.
- Odeh, S. M. (2013). Management of An Intelligent Traffic Light System by Using Genetic Algorithm. *Journal of Image and Graphics*, 1(2), 90–93. <https://doi.org/10.12720/joig.1.2.90-93>
- Prasetyo, H. E., Setiawan, A., Trijetti, T., Rahayu, T., & Ramadhona, A. (2022). The Performance Of Queue Length Of Vehicle On The Roundabout At Selamat Datang Monument Using PTV Vissim. *International Journal of Civil Engineering and Infrastructure*, 1(2), 10. <https://doi.org/10.24853/ijcei.1.2.10-16>
- Sangaji, M. S. J., Noor, P. Z. P., & Navasari, S. (2021). Analisis Kebijakan Jakarta Smart City Menuju Masyarakat Madani. *Journal of Government Insight*, 1(2), 62–75. <https://doi.org/10.47030/jgi.v1i2.306>
- Sharma, S., Kumar, S., & Awasthi, S. K. (2024). VANETs: Introduction, Communication Protocols, and Challenges. In *Distributed Intelligent Circuits and Systems* (pp. 217–248). [https://doi.org/10.1142/9789811279539\\_0007](https://doi.org/10.1142/9789811279539_0007)
- Sitanggang, R., & Saribanon, E. (2018). Faktor-Faktor Penyebab Kemacetan di DKI Jakarta. *Jurnal Manajemen Bisnis Transportasi & Logistik*, 4(3), 289–296. <https://journal.itltrisakti.ac.id/index.php/jmbtl/article/view/823>
- Sofiyah, U., Lestari, E. K., & Yunitasari, D. (2022). Perencanaan wilayah perkotaan melalui konsep smart city di Kabupaten Jember. *Region: Jurnal Pembangunan Wilayah Dan Perencanaan Partisipatif*, 17(1), 104. <https://doi.org/10.20961/region.v17i1.43001>
- Tzampazaki, M., Zografos, C., Vrochidou, E., & Papakostas, G. A. (2024). Machine Vision - Moving from Industry 4.0 to Industry 5.0. *Applied Science*, 14(1471), 3. <https://www.mdpi.com/2076-3417/14/4/1471>
- Umair, M., Farooq, M. U., Raza, R. H., Chen, Q., & Abdulhai, B. (2021). Efficient video-based vehicle queue length estimation using computer vision and deep learning for an urban traffic scenario. *Processes*, 9(10), 1–19. <https://doi.org/10.3390/pr9101786>
- Utami, A., Zulfa, C. L., & Nurhidayat, A. Y. (2023). Congestion Cost Analysis and Potential Loss of Private Vehicle on Jalan Jenderal Sudirman, Jakarta. *Majalah Ilmiah Pengkajian Industri*, 16(3), 121–128. <https://doi.org/10.29122/mipi.v16i3.5533>



## STRATEGI DATA MINING UNTUK KETAHANAN ENERGI DAN AIR DI JAKARTA

**Luky Fabrianto<sup>1\*</sup>, Novianti Madhona Faizah<sup>2</sup>, Johan Hendri Prasetyo<sup>3</sup>,  
Gani Wiharso<sup>4</sup>**

<sup>1,3,4</sup>Program Studi Bisnis Digital, Fakultas Ekonomi dan Bisnis, Universitas  
Nusamandiri, Jakarta 13620, Indonesia

<sup>2</sup> Program Studi Ilmu Komputer, Fakultas Teknik, Universitas Tama Jagakarsa,  
Jakarta 12530, Indonesia

\*Penulis Korespondensi, e-mail: [luky.lfb@nusamandiri.ac.id](mailto:luky.lfb@nusamandiri.ac.id)

### ABSTRAK

Gemerlapnya gedung-gedung tinggi di Jakarta telah menjadi pemandangan yang biasa dan menghiasi lanskap perkotaan dengan keindahan arsitektur yang mengagumkan. Tak hanya sebagai pusat bisnis, gedung-gedung ini juga menjadi saksi bisu pertumbuhan dan dinamika kota Jakarta. Pertumbuhan vertikal yang pesat membawa konsekuensi yang tak dapat diabaikan. Semakin tinggi sebuah gedung, semakin besar pula kebutuhan akan sumber daya seperti listrik dan air. Gedung-gedung perkantoran, pusat perbelanjaan, hotel, rumah sakit, bahkan tempat ibadah, kampus, dan sekolah, semua memerlukan infrastruktur yang memadai untuk memenuhi kebutuhan mereka. Dalam menghadapi tantangan ini, pemerintah Daerah Khusus Ibukota Jakarta (DKI Jakarta) dapat mengusulkan penggunaan akses Application Programming Interfaces (API) dari perusahaan listrik (PLN) dan penyedia air bersih (PAM/PDAM) di wilayah Jakarta. Melalui kolaborasi ini, pemerintah dapat mengakses dan memperbaharui database secara real-time, terutama fokus pada gedung-gedung bertingkat empat atau lebih. Dengan akses terhadap database yang komprehensif maka metode-metode data mining dan machine learning dapat diterapkan, seperti misalnya : Metode clustering untuk mengelompokkan gedung-gedung berdasarkan karakteristiknya, klasifikasi untuk mengidentifikasi pola konsumsi energi dan air, hingga prediksi untuk memahami perilaku dan kebutuhan masa depan gedung-gedung tersebut. Dari pemahaman yang mendalam terhadap perilaku gedung-gedung di wilayah DKI Jakarta, pemerintah dapat merumuskan kebijakan yang lebih efektif. Mulai dari peringatan bagi pengelola gedung yang tidak efisien dalam penggunaan sumber daya, hingga insentif bagi mereka yang berperan aktif dalam menjaga ketahanan energi dan air. Langkah ini bukan hanya sekadar upaya untuk menjaga ketahanan energi Jakarta, namun juga sebagai langkah konkret menuju kota yang lebih hijau dan berkelanjutan. Dengan pengurangan konsumsi air tanah yang lambat, Jakarta dapat menjadi contoh bagi kota-kota lain dalam menjaga keseimbangan lingkungan dan menjaga keberlanjutan perkotaan yang dinamis.

Kata kunci : API, data mining, energy, lingkungan hijau

### PENDAHULUAN

Jakarta sebagai ibu kota Indonesia terus mengalami pertumbuhan pesat yang terpampang dari tinggi dan padatnya gedung-gedung yang semakin banyak. Dengan pertumbuhan vertikal yang masif, kebutuhan akan sumber daya seperti listrik dan air menjadi semakin krusial, terutama untuk gedung-gedung bertingkat empat atau lebih yang meliputi perkantoran, pusat perbelanjaan, hotel, rumah sakit, dan institusi pendidikan bahkan rumah ibadah. Kesadaran

akan pentingnya pengelolaan sumber daya yang efisien menjadi kunci dalam menjawab tantangan perkotaan modern. Pemerintah Daerah Khusus Ibukota Jakarta (Pemda DKI) selayaknya memahami kebutuhan solusi yang inovatif untuk mendukung keberlanjutan kota. Penelitian ini mengusulkan penggunaan *Application Programming Interfaces* (API) dari Perusahaan Listrik Negara (PLN) dan Perusahaan Air Minum (PAM/PDAM) sebagai langkah awal untuk mengintegrasikan dan menganalisis *data real-time* gedung-gedung tinggi di Jakarta. Melalui pendekatan ini diharapkan Pemda DKI dapat memahami lebih dalam tentang perilaku penggunaan sumber daya oleh gedung-gedung tersebut, langkah ini memungkinkan formulasi kebijakan yang tidak hanya meningkatkan ketahanan energi dan air tetapi juga mendorong praktek berkesinambungan pada lingkungan perkotaan.

## STATE OF THE ART

Dalam menghadapi tantangan pertumbuhan vertikal yang pesat di Jakarta, teknologi informasi khususnya *big data* dan aplikasi yang berkaitan dapat dijadikan instrumen penting untuk pengelolaan sumber daya perkotaan yang efisien. Pemanfaatan *Application Programming Interfaces* (API's) untuk mengintegrasikan data dari berbagai sumber seperti PLN (Perusahaan Listrik Negara) dan PAM/PDAM (Perusahaan Air Minum/Pemerintah Daerah Air Minum) dapat dijadikan upaya memperkuat ketahanan infrastruktur kota. *State of the art* mencakup beberapa aspek :

1. Penggunaan *Big Data* dan AI: Kota-kota global telah menerapkan solusi *big data* dan kecerdasan buatan untuk menganalisis konsumsi energi dan air secara *real-time*, memungkinkan pendeteksian pola kebiasaan dan memprediksi kebutuhan agar lebih akurat.
2. Otomasi sistem manajemen gedung: Implementasi teknologi gedung cerdas yang memanfaatkan IoT (Internet of Things) dan AI untuk memantau dan mengelola operasi gedung sehari-hari secara otomatis.
3. Kebijakan insentif: Pemerintah di berbagai negara telah mengintegrasikan kebijakan yang mempromosikan desain dan konstruksi gedung hijau. Melalui insentif dan dukungan regulasi, pengembang dan pemilik gedung didorong untuk mengadopsi praktik yang lebih ramah lingkungan.
4. Kolaborasi pihak swasta: Kolaborasi antara pemerintah dan perusahaan swasta dapat efektif dalam mengembangkan solusi yang inovatif untuk pengelolaan sumber daya kota.
5. Edukasi ke masyarakat: Meningkatkan kesadaran masyarakat tentang pentingnya efisiensi energi dan konservasi air melalui kampanye untuk perubahan perilaku pada tingkat individu.

## PEMBAHASAN

Kota Jakarta mengalami pertumbuhan gedung bertingkat tinggi yang memerlukan manajemen sumber daya yang efektif. Urbanisasi yang cepat dan meningkatnya kebutuhan akan infrastruktur yang terus menerus, teknologi seperti data mining dan machine learning menjadi sangat penting. Integrasi data dari PLN dan PAM/PDAM melalui API memungkinkan Pemda DKI dan pengelola gedung untuk mengambil keputusan berbasis data yang lebih baik dan efisien guna mendukung keberlanjutan kota.



## 1. Definisi

Dengan memahami konsep dan teori yang akan digunakan, tentu dapat mempermudah kompleksitas dan usulan solusi yang mau dipaparkan dalam bab yang membahas tentang pengelolaan sumber daya gedung bertingkat tinggi dengan memanfaatkan teknologi canggih.

- A. **Data Mining** : Proses mengeksplorasi dan menganalisis Big Data untuk menemukan pola dan aturan yang berguna. Data mining digunakan untuk memahami pola konsumsi energi dan air di gedung-gedung tinggi.
- B. **Machine Learning** : Cabang dari kecerdasan buatan yang menggunakan algoritma agar memungkinkan komputer dapat belajar berdasarkan data dan membuat prediksi atau keputusan. Digunakan untuk prediksi kebutuhan sumber daya dan mengidentifikasi potensi penghematan atau efisiensi.
- C. **Application Programming Interface (API)** : Sebuah set peraturan untuk mengintegrasikan suatu aplikasi ke aplikasi lain. API memudahkan integrasi dan akses data real-time dari PLN dan PAM/PDAM untuk dianalisis.
- D. **PLN dan PAM/PDAM** : PLN (Perusahaan Listrik Negara) adalah perusahaan pemerintah yang bertanggung jawab atas penyediaan listrik di Indonesia. PAM/PDAM (Perusahaan Air Minum/Perusahaan Daerah Air Minum) adalah perusahaan yang mengatur penyediaan dan manajemen air bersih.
- E. **Pengelolaan Sumber Daya** : Menekankan pada optimalisasi sumber daya (penggunaan energi dan air) untuk mencapai efisiensi maksimal yang dapat dikontrol dan diperbaiki melalui teknologi informasi.
- F. **Sistem Informasi Geografis (SIG)** : SIG membantu dalam analisis spasial (lokasi) dalam pengelolaan sumber daya perkotaan yang kompleks dengan memanfaatkan API untuk informasi lebih detail dan *real time*.
- G. **Pembelajaran Statistik** : Konsep dasar dalam machine learning maupun data mining, seperti *supervised learning* dan *unsupervised learning* yang digunakan dalam menganalisis data gedung. *Supervised learning* dapat digunakan untuk klasifikasi dan prediksi konsumsi sumber daya, sedangkan *unsupervised learning* bermanfaat dalam *clustering* gedung berdasarkan karakteristik konsumsinya.

## 2. Strategi

Berikut ini adalah beberapa contoh dan studi kasus yang mengilustrasikan penerapan yang efektif:

### Aplikasi Praktis

- A. **Optimalisasi Energi Menggunakan Data Mining**:  
Aplikasi praktis data mining dalam pengelolaan energi termasuk analisis pola konsumsi energi untuk penghematan. Misalnya, algoritma *clustering* dapat digunakan untuk mengelompokkan gedung berdasarkan profil konsumsi energinya yang memungkinkan pengelolaan agar sesuai dengan kebutuhan setiap *cluster* nya.
- B. **Penerapan Machine Learning untuk Prediksi Konsumsi Air**:  
Model prediktif dengan teknik supervised learning dapat membantu memprediksi kebutuhan air di gedung bertingkat tinggi, memungkinkan pengelola untuk mengoptimalkan sistem penyediaan air dan meminimalkan pemborosan.
- C. **Sistem Manajemen Gedung Berbasis IoT/Real time**:  
Penggunaan API untuk mengintegrasikan data dari sensor IoT maupun data real-time memungkinkan pembuatan dashboard operasional yang memberikan pandangan



langsung terhadap penggunaan sumber daya gedung. Sistem ini dapat secara otomatis menyesuaikan penggunaan energi dan air berdasarkan data yang diterima, seperti mengurangi pemanasan atau pendinginan dalam area yang tidak digunakan.

### Studi Kasus

#### A. Empire State Building, New York:

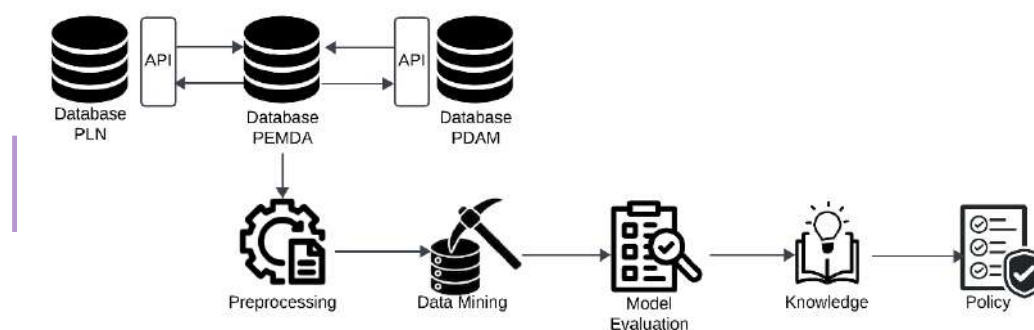
Proyek retrofit Empire State Building memanfaatkan penggunaan analisis data untuk mengidentifikasi dan menerapkan strategi efisiensi energi. Gedung ini berhasil mengurangi konsumsi energi secara signifikan, membuktikan bahwa *data-driven approach* dapat menghasilkan penghematan yang besar.

#### B. Sidewalk Labs, Toronto:

Proyek ini mengembangkan model prediktif untuk mengoptimalkan semua aspek penggunaan sumber daya kota, termasuk gedung bertingkat tinggi. Solusi mereka mencakup sistem pengelolaan energi dan air yang dinamis juga adaptif dengan perubahan kondisi dan kebutuhan.

### Rancangan Strategi

Berikut adalah model diagram dari sistem yang diusulkan:



**Gambar 1.** Rancangan Strategi

Alur Detail Pemanfaatan Data Penggunaan Pelanggan untuk Implementasi Data Mining oleh Pemda DKI

#### 1. Permintaan Akses API dari PLN dan PDAM

Pemda DKI mengirimkan permintaan resmi kepada PLN dan PDAM untuk memberikan akses API (Application Programming Interface) yang memungkinkan pemda untuk mengakses data penggunaan listrik dan air dari pelanggan, khususnya untuk gedung bertingkat 4 atau lebih.

#### 2. Penyediaan Akses API oleh PLN dan PDAM

PLN dan PDAM merespons permintaan dengan menyediakan akses API yang aman dan sesuai dengan regulasi privasi data. Mereka memberikan dokumentasi API yang menjelaskan bagaimana data dapat diakses, termasuk endpoint, metode request, dan format data yang disediakan.

#### 3. Pengambilan Data Menggunakan API

Pemda DKI menggunakan API tersebut untuk mengakses dan mengambil data penggunaan listrik dan air secara real-time atau dalam interval tertentu. Pengambilan data ini dapat diotomatisasi menggunakan skrip atau aplikasi yang berfungsi untuk menarik data dari API dan menyimpannya ke dalam server database pemda.

#### 4. Penyimpanan Data pada Server Database Pemda

Data yang diambil dari API PLN dan PDAM disimpan dalam server database milik Pemda DKI. Database ini didesain untuk menampung data dalam jumlah besar dan mendukung query yang kompleks.

#### 5. Preprocessing Data

Sebelum data dapat digunakan untuk data mining, dilakukan preprocessing untuk membersihkan dan mengatur data.

#### 6. Implementasi Metode Data Mining

Setelah data siap, dilakukan implementasi metode data mining untuk mengungkap pola dan hubungan dalam data. Metode yang digunakan bisa beragam, misalnya:

- Association Rule Mining: Untuk menemukan hubungan antar penggunaan listrik dan air.
- Clustering: Untuk mengelompokkan gedung-gedung berdasarkan pola penggunaan.
- Classification: Untuk mengklasifikasikan gedung berdasarkan tingkat efisiensi energi dan air.

#### 7. Evaluasi Model Data Mining

Model yang terbentuk dari proses data mining dievaluasi menggunakan metrik evaluasi yang sesuai, seperti:

- Akurasi: Tingkat ketepatan prediksi model.
- Support dan Confidence: Khusus untuk association rule mining.
- Evaluasi dilakukan untuk memastikan model yang dihasilkan valid dan dapat diandalkan.

#### 8. Penggunaan Hasil Data Mining untuk Kebijakan

Hasil evaluasi dan model yang terbentuk diolah menjadi pengetahuan yang dapat digunakan oleh Pemda DKI. Contoh kebijakan yang dapat diambil meliputi:

- Penerapan Insentif atau Penalti: Memberikan insentif untuk gedung yang efisien atau penalti untuk yang tidak efisien.
- Program Penghematan Energi dan Air: Merancang program khusus untuk gedung yang memiliki pola penggunaan yang tinggi.
- Perencanaan Infrastruktur: Menggunakan data untuk perencanaan infrastruktur yang lebih baik.

#### 9. Implementasi Kebijakan

Kebijakan yang dihasilkan diterapkan oleh Pemda DKI untuk meningkatkan efisiensi penggunaan energi dan air di gedung-gedung bertingkat. Implementasi ini diawasi dan dievaluasi secara berkala untuk melihat dampaknya.

### 3. Tantangan dan Hambatan

Mengimplementasikan teknologi data mining, machine learning dan integrasi API dari PLN dan PAM/PDAM menawarkan banyak manfaat, namun juga dihadapkan pada sejumlah tantangan dan hambatan. Berikut adalah beberapa tantangan umum dan strategi yang dapat digunakan untuk mengatasinya:

#### A. Ketersediaan dan Kualitas Data

- Tantangan: Data yang tidak lengkap atau tidak akurat dapat mengganggu efektivitas analisis dan penerapan machine learning. Di banyak kasus, data yang dikumpulkan mungkin tidak terstandarisasi atau sering terputus.
- Solusi: Mengadopsi standar industri untuk pengumpulan data dan meningkatkan infrastruktur pengumpulan data. Kerja sama dengan penyedia layanan untuk memastikan data yang dikirimkan adalah akurat dan tepat waktu. Penerapan sistem

validasi data secara real-time juga penting untuk mendeteksi dan mengoreksi data yang tidak akurat.

•

#### B. Integrasi Teknologi

- Tantangan: Mengintegrasikan teknologi baru dengan sistem yang sudah ada seringkali rumit dan mahal. Banyak gedung yang memiliki sistem manajemen bangunan lama yang mungkin tidak kompatibel dengan teknologi IoT atau platform analisis data terbaru.
- Solusi: Pengembangan *middleware* atau penggunaan *platform* terbuka yang mendukung integrasi *cross-platform*. Selain itu, investasi dalam pembaruan sistem dilakukan secara bertahap.

#### C. Isu Privasi dan Keamanan Data

- Tantangan: Pengumpulan dan analisis data dalam skala besar menimbulkan kekhawatiran privasi dan keamanan. Kebocoran data atau pelanggaran keamanan bisa memiliki konsekuensi hukum dan reputasi yang serius.
- Solusi: Mengimplementasikan kebijakan keamanan data yang ketat dan menggunakan teknologi enkripsi terkini. Secara teratur mengaudit dan menguji sistem keamanan untuk memastikan bahwa mereka memenuhi standar keamanan terbaru.

#### D. Perubahan Manajemen dan *User Acceptance*

- Tantangan: Resistensi dari pengguna dan manajer gedung terhadap pengadopsian teknologi baru dapat menghambat pelaksanaan.
- Solusi: Melakukan kampanye edukasi dan pelatihan untuk menunjukkan manfaat dan efektivitas solusi yang diusulkan. Menyediakan *feedback* dan mengintegrasikan saran pengguna dapat membantu meningkatkan penerimaan dan keterlibatan mereka.

#### E. Keterbatasan Sumber Daya

- Tantangan: Keterbatasan anggaran, khususnya di sektor publik atau di UMKM dapat membatasi pengadopsian teknologi canggih.
- Solusi: Mencari sumber pendanaan alternatif seperti subsidi pemerintah, program kredit lunak maupun kemitraan dengan penyedia teknologi.

### 4. Perkembangan kedepan

Mengingat pentingnya pengelolaan sumber daya yang efisien dalam gedung bertingkat tinggi, diharapkan akan terjadi evolusi dan pengaruh besar dalam dekade kedepan. Berikut adalah beberapa tren masa depan dan perkembangan yang mungkin terjadi dalam bidang ini:

#### A. Integrasi lebih lanjut dengan teknologi IoT

Teknologi Internet of Things (IoT) terus berkembang, memungkinkan pengumpulan data yang lebih luas dan detail dari berbagai sensor dan perangkat dalam gedung. Koneksi ini tidak hanya menghasilkan data *real-time* tetapi juga sistem yang dapat secara otomatis menyesuaikan konsumsi energi dan air berdasarkan data yang dianalisis oleh algoritma machine learning.

**B. Artificial intelligence (AI) yang semakin canggih**

Pengembangan kecerdasan buatan (AI) dan machine learning akan terus mengalami peningkatan dalam kemampuan untuk menganalisis data yang kompleks. AI yang lebih canggih ini akan lebih baik dalam memodelkan perilaku gedung dan penghuninya, memungkinkan pengelolaan sumber daya yang sangat presisi. Hal ini termasuk pengoptimalan penggunaan sumber daya berdasarkan prediksi cuaca, acara yang dijadwalkan atau pola penggunaan yang telah berlalu (historis).

**C. Platform manajemen gedung terpadu**

Bisa jadi pengembangan dan adopsi platform manajemen gedung akan lebih terpadu, menggabungkan pengelolaan energi, air, keamanan dan layanan gedung lainnya dalam satu dashboard yang mudah digunakan.

**D. Regulasi dan kebijakan yang lebih ketat**

Seiring dengan meningkatnya kesadaran akan efisiensi sumber daya, pemerintah di berbagai negara mungkin akan mengimplementasikan regulasi yang lebih ketat mengenai penggunaan energi dan air di gedung bertingkat tinggi. Hal ini akan mendorong adopsi teknologi yang mendukung kepatuhan terhadap standar yang lebih tinggi dan mendorong inovasi.

**E. Partisipasi masyarakat**

Perkembangan kedepan juga akan melibatkan pengguna gedung secara lebih aktif dalam pengelolaan energi dan sumber daya. Melalui aplikasi mobile yang memberikan *feedback* tentang konsumsi energi individu atau menawarkan saran untuk pengurangan penggunaan air dan listrik.

**F. Dampak perubahan iklim**

Sebagai respons terhadap perubahan iklim, pengelolaan sumber daya di gedung bertingkat tinggi akan semakin mendapat perhatian sebagai bagian dari solusi global untuk mengurangi emisi karbon.

## KESIMPULAN

- Integrasi Application Programming Interfaces (API) dari PLN dan PAM/PDAM untuk memperoleh data *real-time* membantu pemanfaatan *Data Mining* dan *Machine Learning* untuk menganalisis dan mengoptimalkan konsumsi energi dan air di gedung bertingkat tinggi supaya manajemen sumber daya lebih efektif. Beberapa tantangan dan hambatan akan dijumpai seperti : kualitas data, integrasi teknologi, keamanan data serta resistensi pengguna.
- Tren Masa Depan : Potensi yang besar untuk berkembang dan memiliki dampak signifikan pada pengelolaan gedung bertingkat tinggi. Kebijakan serta peningkatan kesadaran dan partisipasi masyarakat akan membentuk cara berinteraksi dengan infrastruktur urban yang lebih baik. Inovasi dalam teknologi dan AI yang lebih canggih, platform manajemen gedung terpadu, regulasi yang lebih ketat, dan keterlibatan pengguna yang lebih besar.

- Refeksi
  - ✓ Bagaimana data mining dan machine learning dapat lebih ditingkatkan untuk memprediksi dan mengoptimalkan penggunaan sumber daya di gedung Anda?
  - ✓ Dengan mempertimbangkan API yang diintegrasikan dengan PLN dan PAM/PDAM, apa tantangan utama yang mungkin Anda hadapi dalam implementasinya dan bagaimana Anda berencana mengatasinya?
  - ✓ Apa implikasi dari manajemen sumber daya gedung yang lebih efisien terhadap tujuan keberlanjutan global dan bagaimana Anda dapat berkontribusi?

## REKOMENDASI KEBIJAKAN (*POLICY BRIEF*)

Saran yang dapat diberikan kepada Pemerintah Provinsi DKI Jakarta agar strategi dapat diimplementasikan. Pertama, pemerintah harus menerapkan dan memperketat regulasi mengenai standar bangunan ramah lingkungan yang mencakup efisiensi energi listrik, pengelolaan air dan pengurangan limbah konstruksi maupun operasional gedung. Kedua, dianjurkan untuk mengembangkan dan mengimplementasikan sistem data terpusat dengan menggunakan API yang mengintegrasikan data dari PLN dan PAM/PDAM agar memungkinkan akses ke data konsumsi energi listrik dan air secara *real-time* untuk monitoring dan pengambilan keputusan yang efektif. Ketiga, pemberian insentif kepada pemilik gedung yang melakukan retrofit agar memotivasi lebih banyak pemilik gedung untuk mengadopsi standar ramah lingkungan. Keempat, meluncurkan program edukasi dan kampanye kesadaran untuk meningkatkan pengetahuan dan keterlibatan masyarakat. Program ini dapat berupa workshop, seminar dan materi promosi yang menunjukkan manfaat efisiensi sumber daya. Kelima, berkolaborasi dengan akademisi dan sektor swasta untuk memanfaatkan inovasi teknologi terbaru dalam meningkatkan pengelolaan gedung. Proyek riset bersama dan pengembangan teknologi baru dapat memajukan sektor ini secara signifikan. Terakhir, investasi infrastruktur yang memadai akan mendukung implementasi teknologi yang efektif dan aman. Dengan langkah-langkah ini, Pemerintah Provinsi DKI Jakarta akan dapat memajukan tujuan keberlanjutan, mengurangi dampak lingkungan dan meningkatkan kualitas hidup warganya.

## DAFTAR PUSTAKA

- Suryani Jamin, F. ., Sugito, E. ., Adhi Pramono, S. ., Aristanto, A., & Immamah, E. . (2024). Pelatihan Edukasi Peningkatan Kesadaran Sanitasi Lingkungan dalam Menghadapi Peningkatan Pemanasan Global Dunia. *Jurnal Pengabdian Kepada Masyarakat Nusantara*, 5(1), 1500-1508. <https://doi.org/10.55338/jpkmn.v5i1.3010>
- Anthony Jnr, B., Abbas Petersen, S., Ahlers, D., & Krogstie, J. (2020). API deployment for big data management towards sustainable energy prosumption in smart cities-a layered architecture perspective. *International Journal of Sustainable Energy*, 39(3), 263–289. <https://doi.org/10.1080/14786451.2019.1684287>
- Roccotelli, M., Rinaldi, A., Fanti, M. P., & Iannone, F. (2020). Building energy management for passive cooling based on stochastic occupants' behavior evaluation. *Energies*, 14(1), 138.
- Shi, H., & Chen, Q. (2021). Building energy management decision-making in the real world: A comparative study of HVAC cooling strategies. *Journal of Building Engineering*, 33,

- 101869.
- Mariano-Hernández, D., Hernández-Callejo, L., Zorita-Lamadrid, A., Duque-Pérez, O., & García, F. S. (2021). A review of strategies for building energy management system: Model predictive control, demand side management, optimization, and fault detect & diagnosis. *Journal of Building Engineering*, 33, 101692.
- Farzaneh, H., Malehmirchegini, L., Bejan, A., Afolabi, T., Mulumba, A., & Daka, P. P. (2021). Artificial intelligence evolution in smart buildings for energy efficiency. *Applied Sciences*, 11(2), 763.
- Li, Y., Rong, Y., Ahmad, U. M., Wang, X., Zuo, J., & Mao, G. (2021). A comprehensive review on green buildings research: bibliometric analysis during 1998–2018. *Environmental Science and Pollution Research*, 28, 46196-46214.
- Kopka, H., & Daly, P. W. Data Mining Practical Machine Learning Tools and Techniques Ian H. Witten Eibe Frank Mark A. Hall.
- Bishop, C. M., & Nasrabadi, N. M. (2006). *Pattern recognition and machine learning* (Vol. 4, No. 4, p. 738). New York: springer.
- Kibert, C. J. (2016). *Sustainable construction: green building design and delivery*. John Wiley & Sons.
- Mazlan, N., Ramli, N. A., Awal, L., Ismail, M., Kassim, A., & Menon, A. (2020). A smart building energy management using internet of things (IoT) and machine learning. *Test. Eng. Manag*, 83, 8083-8090.
- Himeur, Y., Elnour, M., Fadli, F., Meskin, N., Petri, I., Rezgui, Y., ... & Amira, A. (2023). AI-big data analytics for building automation and management systems: a survey, actual challenges and future perspectives. *Artificial Intelligence Review*, 56(6), 4929-5021.
- Suharsono, A., Lontoh, L., & Maulidia, M. (2020). *Risalah Kebijakan Energi Indonesia*.
- Downie, C. (2020). Strategies for Survival: The International Energy Agency's response to a new world. *Energy Policy*, 141, 111452.
- Kristl, Ž., Senior, C., & Temeljotov Salaj, A. (2020). Key challenges of climate change adaptation in the building sector. *Urbani izziv*, 31(1), 101-111.
- Arsita, S. A., Saputro, G. E., & Susanto, S. (2021). Perkembangan kebijakan energi nasional dan energi baru terbarukan Indonesia. *Jurnal Syntax Transformation*, 2(12), 1779-1788.





## TEKNOLOGI JAKET BOAT: GERBANG MENUJU SURGA KEPULAUAN SERIBU DALAM GENGGMAN

**Primadi Candra Susanto<sup>1\*</sup>, Sarinah Sihombing<sup>2</sup>, Irwan Chairuddin<sup>3</sup>,  
Euis Saribanon<sup>4</sup>**

<sup>1</sup>Manajemen Transportasi Laut, Vokasi, Institut Transportasi dan Logistik Trisakti,  
Jakarta Timur 13410, Indonesia

<sup>2</sup>Manajemen Transportasi, Fakultas Manajemen dan Bisnis Direktorat Pasca Sarjana,  
Institut Transportasi dan Logistik Trisakti, Jakarta Timur 13410, Indonesia

<sup>3,4</sup>Manajemen, Fakultas Manajemen dan Bisnis, Institut Transportasi dan Logistik  
Trisakti, Jakarta Timur 13410, Indonesia

\*Penulis Koresponden, e-mail: [primstrisakti@gmail.com](mailto:primstrisakti@gmail.com)

### ABSTRAK

Meningkatnya jumlah kunjungan wisatawan ke Kepulauan Seribu dalam beberapa tahun terakhir. Pada tahun 2023, tercatat 404.845 wisatawan mengunjungi Kepulauan Seribu, meningkat 27,81% dibandingkan dengan tahun 2022. Pulau Seribu menyediakan berbagai macam aktivitas wisata yang menarik, seperti snorkeling, diving, memancing, kayaking, dan wisata bahari lainnya. Armada kapal dari Muara Angke ke Pulau Seribu diminati oleh wisatawan. Hal ini terlihat dari banyaknya kapal yang beroperasi di rute tersebut, baik kapal tradisional maupun kapal cepat. Waktu tempuh dari Pelabuhan Muara Angke ke Pulau Seribu juga bervariasi tergantung jenis kapalnya. Kapal tradisional biasanya membutuhkan waktu 2-3 jam untuk mencapai Pulau Seribu, sedangkan kapal cepat hanya membutuhkan waktu 1-1,5 jam. Wisatawan dapat membeli tiket kapal di loket pembelian tiket yang terdapat di Pelabuhan Muara Angke. Tiket juga dapat dibeli secara online melalui situs web agen perjalanan atau operator kapal. Pemerintah membuat aplikasi JakeT Boat untuk mempermudah penumpang memesan tiket kapal ke Pulau Seribu. Aplikasi ini diluncurkan pada tahun 2022 oleh Dinas Perhubungan (Dishub) DKI Jakarta. Berikut adalah cara memesan tiket kapal ke Pulau Seribu melalui aplikasi JakeT Boat: (1) Unduh aplikasi JakeT Boat di Google Play Store atau App Store. (2) Buat akun JakeT Boat dan verifikasi email pribadi. (3) Pilih tanggal keberangkatan, pelabuhan keberangkatan, dan pulau tujuan. (4) Pilih jenis kapal dan jumlah tiket yang ingin dibeli. (5) Isi data diri penumpang. (6) Lakukan pembayaran tiket. (6) Simpan e-tiket di aplikasi JakeT Boat. Aplikasi Jaket Boat merupakan solusi yang tepat bagi penumpang yang ingin memesan tiket kapal ke Pulau Seribu dengan mudah, cepat, dan aman. Book chapter ini masuk kategori skema energi dan transportasi. Dengan mengadopsi rekomendasi kebijakan ini, diharapkan bahwa aksesibilitas pariwisata di Kepulauan Seribu dapat meningkat secara signifikan, membuka pintu bagi pertumbuhan ekonomi yang berkelanjutan, pemberdayaan masyarakat lokal, dan pelestarian lingkungan alam yang penting. Juga menjadi hal penting bahwa teknologi yang dibangun dengan aplikasi ini bisa mudah bagi wisatawan dan masyarakat untuk menggunakan, selain masih banyak keluhan – keluhan akan aplikasi Jaket Boat ini. Aplikasi dibuat untuk memudahkan maka, apabila adanya aplikasi bisa mempermudah semua lapisan masyarakat. Dengan mewujudkan visi dan harapan ini untuk masa depan Teknologi Jaket Boat, diharapkan bahwa Kepulauan Seribu akan terus menjadi destinasi pariwisata yang menarik, berkelanjutan, dan berdaya saing tinggi di tingkat global. Hal ini juga akan memberikan manfaat yang berkelanjutan bagi masyarakat setempat dalam bentuk adanya teknologi yang mempermudah untuk keberlanjutan.

Kata Kunci: Teknologi, Tiket Online, Kepulauan Seribu, Kapal Laut, Wisata Bahari,

### PENDAHULUAN

Di tengah berbagai pesona yang dimiliki oleh Kepulauan Seribu, satu masalah yang terus menghambat potensi penuhnya adalah aksesibilitas. Pulau-pulau yang tersebar luas ini, yang seharusnya menjadi surga bagi para pelancong, seringkali sulit dijangkau karena terbatasnya

infrastruktur transportasi (Mustapa *et al.*, 2023). Meskipun kapal laut tradisional telah lama menjadi pilihan utama untuk mencapai pulau-pulau tersebut, namun mereka tidak selalu andal dalam memberikan layanan yang cepat, nyaman, atau terjadwal dengan baik (Soares and Nunes, 2020). Keterbatasan ini juga terkait dengan pengaturan tiket, yang seringkali membingungkan dan tidak efisien. Wisatawan sering kali harus menghabiskan waktu berjam-jam untuk mendapatkan tiket kapal laut, terutama pada musim liburan atau akhir pekan. Kondisi ini tidak hanya mengganggu, tetapi juga dapat mengurangi kepuasan dan motivasi untuk berkunjung ke Kepulauan Seribu (Liu and Leung, 2018).

Dalam hal ini, Teknologi Jacket Boat muncul sebagai jawaban yang inovatif terhadap masalah aksesibilitas yang telah lama menghantui Kepulauan Seribu. Jacket Boat, sebuah konsep revolusioner dalam transportasi laut, menawarkan solusi yang lebih cepat, efisien, dan ramah lingkungan untuk menghubungkan pulau-pulau tersebut dengan daratan (Romadhon and Vikaliana, 2018). Namun, meskipun Teknologi Jacket Boat menawarkan solusi yang menarik, masih ada sejumlah tantangan yang perlu diatasi. Salah satunya adalah integrasi teknologi ini dengan sistem tiket online yang ada (Nugraha, 2016). Meskipun tiket online telah menjadi standar dalam industri pariwisata modern, menerapkannya secara efektif dalam konteks transportasi laut di Kepulauan Seribu masih menjadi pekerjaan yang rumit. Diperlukan sistem yang dapat mengakomodasi jumlah tiket yang besar, menjaga ketersediaan dan keakuratan informasi, serta memberikan pengalaman yang nyaman bagi pengguna (Widoyoko and Sulistiyowati, 2013).

Selain itu, Teknologi Jacket Boat juga harus mengatasi tantangan teknis yang terkait dengan kondisi perairan di sekitar Kepulauan Seribu. Gelombang laut, arus kuat, dan cuaca buruk dapat menjadi hambatan serius bagi operasi Jacket Boat, yang membutuhkan solusi teknis yang canggih dan dapat diandalkan (Hetharia *et al.*, 2021). Selain masalah teknis dan logistik, implementasi Teknologi Jacket Boat juga menghadapi tantangan dalam mengubah paradigma wisata bahari di Kepulauan Seribu. Selama bertahun-tahun, kapal laut tradisional telah menjadi pilihan utama bagi para wisatawan untuk menjelajahi keindahan pulau-pulau ini. Namun, adopsi Teknologi Jacket Boat membutuhkan pendekatan yang berbeda dan memerlukan kesadaran akan manfaatnya yang lebih luas (Loddé *et al.*, 2019).

Beberapa orang mungkin skeptis terhadap keamanan dan kenyamanan menggunakan Teknologi Jacket Boat, terutama jika mereka terbiasa dengan pengalaman perjalanan menggunakan kapal laut konvensional. Oleh karena itu, penting untuk mengedukasi masyarakat tentang teknologi ini dan menggarisbawahi keunggulan-keunggulannya, seperti kecepatan, kenyamanan, dan ramah lingkungan. Selain itu, adopsi Teknologi Jacket Boat juga menimbulkan pertanyaan tentang dampaknya terhadap industri kapal laut tradisional di Kepulauan Seribu. Meskipun Teknologi Jacket Boat menawarkan solusi yang lebih canggih, keberadaannya mungkin mengancam mata pencarian para nelayan dan pengusaha kapal laut konvensional. Oleh karena itu, penting untuk mengembangkan strategi transisi yang adil dan berkelanjutan bagi mereka yang terpengaruh oleh perubahan ini (Sriram *et al.*, 2022).

Namun, meskipun tantangan-tantangan tersebut ada, penting untuk diingat bahwa Teknologi

Jaket Boat membawa potensi besar dalam meningkatkan industri pariwisata bahari di Kepulauan Seribu. Dengan memperluas jangkauan dan meningkatkan aksesibilitas, Teknologi Jacket Boat dapat membantu mendorong pertumbuhan ekonomi lokal, menciptakan lapangan kerja baru, dan meningkatkan pendapatan daerah. Dengan demikian, sambil mengatasi berbagai hambatan yang ada, Teknologi Jacket Boat dapat menjadi kekuatan pendorong yang kuat dalam mewujudkan visi Kepulauan Seribu sebagai destinasi wisata unggulan di Indonesia. Dengan kolaborasi antara pemerintah, pengusaha, dan masyarakat lokal, kita dapat bersama-sama membuka pintu menuju surga yang tersembunyi di Kepulauan Seribu dan menjadikannya lebih mudah dijangkau dalam genggaman kita (Hetharia *et al.*, 2021).

## STATE OF THE ART

Teknologi Jacket Boat telah mencapai tingkat kecanggihan yang mengesankan, membawa perubahan signifikan dalam cara orang berinteraksi dengan Kepulauan Seribu (Apriliansyah, 2023).

Berikut adalah gambaran tentang kemajuan terbaru dalam teknologi ini (Sinaga *et al.*, 2021):

1. Desain Ergonomis

Jaket Boat telah mengalami evolusi desain yang signifikan untuk memastikan kenyamanan dan keamanan penumpang. Bahan-bahan ringan dan tahan air digunakan untuk memastikan fleksibilitas dan perlindungan optimal terhadap cuaca buruk.

2. Teknologi Propulsi Canggih

Mesin dan sistem propulsi Jacket Boat telah ditingkatkan untuk meningkatkan kecepatan, efisiensi, dan keandalan. Sistem propulsi elektrik atau hibrida menjadi lebih umum, memberikan manfaat tambahan dalam hal keberlanjutan lingkungan.

3. Sistem Navigasi dan Keselamatan

Sensor dan perangkat navigasi canggih telah diperkenalkan untuk meningkatkan keamanan pelayaran. Ini termasuk sistem pencegahan tabrakan, deteksi cuaca buruk, dan pemantauan jarak dekat dengan kapal lain.

4. Integrasi Teknologi Informasi

Teknologi Jacket Boat semakin terhubung dengan sistem informasi digital, memungkinkan penumpang untuk melakukan reservasi, melacak perjalanan, dan memperoleh informasi wisata melalui aplikasi seluler atau platform online.

5. Pengalaman Pengguna Interaktif

Penumpang tidak hanya menikmati perjalanan yang nyaman, tetapi juga pengalaman yang interaktif dan mendidik. Layar LCD yang terintegrasi menyediakan informasi tentang lingkungan laut, spesies hewan, dan informasi wisata lainnya selama perjalanan.

6. Pengembangan Model Bisnis

Model bisnis inovatif telah muncul seiring dengan perkembangan Teknologi Jacket Boat. Ini termasuk kerjasama dengan hotel dan resort, paket liburan all-inclusive, dan layanan tambahan seperti penyewaan peralatan snorkeling atau diving.

7. Responsif terhadap Keberlanjutan

Semakin banyak perusahaan Teknologi Jacket Boat yang mengadopsi praktik ramah lingkungan, termasuk penggunaan energi terbarukan, pengurangan emisi karbon, dan program pemulihan lingkungan.

Dengan semua kemajuan ini, Teknologi Jacket Boat terus menjadi motor utama dalam membuka potensi Kepulauan Seribu sebagai destinasi wisata unggulan. Dengan terus berinovasi dan berkolaborasi, Teknologi Jacket Boat tidak hanya menjadi gerbang menuju surga Kepulauan Seribu, tetapi juga model untuk pengembangan pariwisata berkelanjutan di seluruh dunia. Aplikasi yang sudah ada dan dibangun saat ini belum maksimal dikarenakan setiap masyarakat memesan maka aplikasi yang ada tidak cepat menjawab, seperti menanyakan informasi pembelian tiket per hari di waktu bertanya pagi, maka dijawab sore.

## PEMBAHASAN

### Awal Mula Teknologi Jacket Boat

Terobosan Teknologi Jacket Boat dimulai dari sebuah impian sederhana untuk meningkatkan aksesibilitas dan memperluas potensi pariwisata di Kepulauan Seribu. Dalam rangka mengatasi tantangan yang dihadapi oleh destinasi wisata tersebut, sekelompok insinyur dan pengusaha berbakat bersatu untuk merancang solusi inovatif yang dapat mengubah paradigma transportasi laut di wilayah itu. Pada awalnya, ide Teknologi Jacket Boat muncul dari kesadaran akan ketidaknyamanan dan keterbatasan yang sering dialami oleh wisatawan saat melakukan perjalanan dengan kapal laut tradisional. Lama perjalanan yang panjang, jadwal yang tidak teratur, dan kondisi cuaca yang tidak dapat diprediksi sering kali menjadi hambatan utama bagi pengalaman wisata yang menyenangkan dan lancar (Ramu *et al.*, 2020).

Dengan semangat inovasi dan visi untuk menciptakan perubahan positif, tim pengembang mulai menggali berbagai konsep dan desain untuk menciptakan solusi yang lebih baik. Mereka meneliti berbagai teknologi maritim yang ada, mempelajari kebutuhan dan preferensi wisatawan, serta mengeksplorasi potensi penerapan teknologi modern dalam konteks transportasi laut. Pada saat itu, muncul ide untuk menggabungkan konsep jaket pelampung dengan teknologi propulsi, menciptakan suatu jenis peralatan yang dapat berfungsi sebagai jaket pelampung dan kapal kecil secara bersamaan. Ide ini dianggap sebagai langkah awal yang inovatif dan revolusioner dalam mengatasi masalah aksesibilitas di Kepulauan Seribu. Selanjutnya, tim pengembang mulai merancang prototipe pertama Teknologi Jacket Boat, menggabungkan prinsip-prinsip desain ergonomis, teknologi propulsi canggih, dan fitur-fitur keamanan yang mutakhir. Proses pengembangan ini melibatkan uji coba lapangan yang intensif, di mana prototipe tersebut diujikan dalam berbagai kondisi perairan dan cuaca untuk memastikan kinerja dan keandalannya.

Dengan berjalannya waktu, Teknologi Jacket Boat mulai mendapatkan perhatian dan pengakuan dari berbagai pihak, termasuk pemerintah, industri pariwisata, dan masyarakat umum.

Keberhasilan prototipe pertama dalam mengatasi tantangan aksesibilitas di Kepulauan Seribu membuka jalan bagi pengembangan lebih lanjut dan penerapan luas teknologi ini dalam skala yang lebih besar. awal mula terobosan Teknologi Jacket Boat adalah hasil dari kombinasi antara visi yang kuat, semangat inovasi, dan kerja keras tim pengembang dalam menghadapi tantangan yang ada. Dengan langkah-langkah berani dan komitmen untuk menciptakan perubahan positif, Teknologi Jacket Boat menjadi salah satu terobosan terbesar dalam industri pariwisata bahari di Kepulauan Seribu. Berikut adalah gambar aplikasi Jacket Boat dari Dinas Perhubungan DKI Jakarta.



**Gambar 1.** Aplikasi Jacket Boat

Sumber: Dinas Perhubungan DKI Jakarta, 2024

### **Menggagas Impian: Membuat Pulau Seribu Lebih Aksesible**

Pulau Seribu telah lama menjadi tujuan impian bagi banyak orang yang ingin menjelajahi



keindahan alam Indonesia. Namun, realitas yang dihadapi adalah tantangan aksesibilitas yang signifikan yang sering membuat banyak orang enggan atau kesulitan untuk mengunjungi destinasi ini. Oleh karena itu, gagasan untuk membuat Pulau Seribu lebih mudah diakses menjadi sangat penting. Pada tahap awal, menggagas impian ini melibatkan pemahaman mendalam tentang hambatan-hambatan utama yang dihadapi oleh wisatawan dalam mencapai Pulau Seribu. Ini termasuk lamanya perjalanan dengan kapal laut tradisional, keterbatasan jadwal, serta ketidakpastian terkait cuaca dan kondisi laut. Dengan memahami tantangan ini, pemangku kepentingan, termasuk pemerintah, pengusaha pariwisata, dan masyarakat lokal, dapat mulai mengembangkan strategi untuk mengatasi mereka.

Salah satu langkah pertama dalam menggagas impian ini adalah mengidentifikasi teknologi dan inovasi yang dapat diterapkan untuk meningkatkan aksesibilitas Pulau Seribu. Teknologi seperti Teknologi Jaket Boat muncul sebagai solusi inovatif yang dapat mengubah paradigma transportasi laut di wilayah tersebut. Dengan memanfaatkan teknologi modern ini, perjalanan ke Pulau Seribu dapat menjadi lebih cepat, lebih efisien, dan lebih nyaman. Selain teknologi, upaya untuk membuat Pulau Seribu lebih aksesible juga melibatkan peningkatan infrastruktur transportasi dan fasilitas pendukung. Ini termasuk pengembangan pelabuhan yang lebih modern dan ramah wisatawan, peningkatan layanan kapal laut, dan pengembangan sistem informasi dan reservasi yang lebih efisien. Namun, upaya untuk membuat Pulau Seribu lebih aksesible tidak hanya tentang teknologi dan infrastruktur. Hal ini juga melibatkan pendekatan yang berkelanjutan dan berorientasi pada masyarakat. Ini termasuk melibatkan masyarakat lokal dalam proses pengembangan, memastikan bahwa manfaat ekonomi dari perkembangan pariwisata didistribusikan secara adil, dan memperhatikan dampak lingkungan dari peningkatan aksesibilitas.

Dengan menggagas impian untuk membuat Pulau Seribu lebih aksesible, kita dapat membuka pintu bagi lebih banyak orang untuk menikmati keindahan alam yang luar biasa yang ditawarkan oleh destinasi ini. Dengan kolaborasi antara pemerintah, pengusaha, dan masyarakat lokal, kita dapat mewujudkan visi Pulau Seribu yang lebih inklusif, berkelanjutan, dan dapat diakses oleh semua orang.

### **Desain dan Pengembangan Prototipe Pertama yang sudah ada**

Langkah selanjutnya dalam mengubah impian menjadi kenyataan adalah merancang dan mengembangkan prototipe pertama Teknologi Jaket Boat. Desain dan pengembangan prototipe ini merupakan proses yang kompleks dan memerlukan kolaborasi antara berbagai disiplin ilmu, termasuk teknik, desain, dan teknologi.

#### **1. Analisis Kebutuhan**

Tahap awal dalam desain prototipe melibatkan analisis mendalam tentang kebutuhan pengguna dan persyaratan teknis. Ini melibatkan identifikasi fitur-fitur kunci yang dibutuhkan untuk memastikan kenyamanan, keamanan, dan kinerja optimal dari Teknologi Jaket Boat.

#### **2. Desain Konseptual**

Berdasarkan analisis kebutuhan, tim pengembang mulai merancang konsep-konsep awal untuk prototipe. Ini melibatkan pembuatan sketsa, diagram, dan model konseptual untuk mengilustrasikan bagaimana Teknologi Jaket Boat akan bekerja dan terlihat.

#### **3. Pengembangan Prototipe**

Setelah konsep-konsep awal disetujui, tim pengembang mulai bekerja pada pengembangan prototipe fisik pertama. Ini melibatkan pemilihan bahan, pembuatan komponen, dan perakitan prototipe yang sesuai dengan spesifikasi yang ditetapkan.



#### 4. Uji Coba dan Evaluasi

Prototipe pertama kemudian diujikan dalam berbagai kondisi dan skenario untuk mengevaluasi kinerjanya. Ini termasuk uji coba di laboratorium, simulasi perjalanan laut, dan uji coba lapangan di perairan sebenarnya.

#### 5. Pengoptimalan

Berdasarkan hasil uji coba dan umpan balik pengguna, prototipe tersebut kemudian dioptimalkan untuk meningkatkan kinerja, keamanan, dan kenyamanan. Perubahan dan penyesuaian dilakukan sesuai kebutuhan untuk memastikan prototipe mencapai standar yang diinginkan.

#### 6. Presentasi dan Validasi

Setelah pengoptimalan selesai, prototipe dipresentasikan kepada berbagai pihak terkait, termasuk pemangku kepentingan industri, pemerintah, dan masyarakat umum, untuk mendapatkan validasi dan dukungan lebih lanjut.

Proses desain dan pengembangan prototipe pertama Teknologi Jacket Boat membutuhkan kerja keras, kolaborasi tim yang solid, dan komitmen untuk menciptakan solusi inovatif yang dapat mengatasi tantangan aksesibilitas di Kepulauan Seribu. Dengan berhasilnya prototipe pertama, langkah selanjutnya adalah menuju tahap produksi massal dan implementasi luas Teknologi Jacket Boat untuk meningkatkan aksesibilitas dan memperluas potensi pariwisata di wilayah tersebut.

### Uji Coba Pertama: Tantangan dan Pembelajaran

Setelah desain dan pengembangan prototipe pertama Teknologi Jacket Boat selesai, langkah selanjutnya adalah mengujinya dalam kondisi nyata. Uji coba pertama ini menjadi tahap kritis dalam proses pengembangan, karena memberikan pemahaman yang lebih baik tentang kinerja sebenarnya dari Teknologi Jacket Boat dan mengidentifikasi tantangan yang mungkin timbul selama penggunaan praktis. Berikut adalah beberapa tantangan dan pembelajaran yang mungkin timbul selama uji coba pertama:

#### 1. Kondisi Cuaca yang Tidak Terduga

Salah satu tantangan utama selama uji coba pertama adalah ketidakpastian cuaca dan kondisi laut yang mungkin dihadapi. Gelombang besar, angin kencang, atau cuaca buruk lainnya dapat mempengaruhi kinerja Teknologi Jacket Boat dan keamanan penumpang. Hal ini mengharuskan tim pengembang untuk mengambil langkah-langkah pencegahan dan rencana darurat yang tepat.

#### 2. Kinerja Teknologi Propulsi

Selama uji coba pertama, kinerja teknologi propulsi dalam berbagai kondisi operasional diuji. Kemungkinan masalah seperti kekurangan daya, kegagalan sistem, atau ketidakstabilan dapat muncul, memerlukan analisis mendalam dan perbaikan yang cepat.

#### 3. Kesesuaian dengan Kebutuhan Pengguna

Uji coba pertama juga memberikan kesempatan untuk mengumpulkan umpan balik dari pengguna tentang kenyamanan, keamanan, dan kegunaan Teknologi Jacket Boat. Ini dapat mengungkapkan kebutuhan atau preferensi pengguna yang belum terpenuhi, yang kemudian dapat dijadikan dasar untuk peningkatan dan pengembangan lebih lanjut.

#### 4. Peraturan dan Kepatuhan

Selama uji coba pertama, penting untuk memastikan bahwa Teknologi Jacket Boat mematuhi semua peraturan dan standar keselamatan yang berlaku. Hal ini melibatkan kerja sama dengan badan regulasi dan pihak berwenang untuk memastikan bahwa semua aspek operasional memenuhi persyaratan hukum.

#### 5. Komunikasi dan Edukasi

Selama uji coba pertama, penting untuk melakukan komunikasi yang efektif dengan semua pemangku kepentingan, termasuk pengguna, pemerintah, dan masyarakat lokal. Edukasi tentang Teknologi Jacket Boat, keuntungan penggunaannya, dan langkah-langkah keamanan yang diperlukan dapat membantu mengurangi kecemasan atau ketidakpastian yang mungkin timbul.

Dari tantangan-tantangan ini, tim pengembang memperoleh pembelajaran berharga yang dapat digunakan untuk meningkatkan desain, kinerja, dan keamanan Teknologi Jacket Boat di masa mendatang. Ini menjadi dasar untuk iterasi dan pengembangan lebih lanjut, memastikan bahwa Teknologi Jacket Boat dapat menjadi solusi yang efektif dan dapat diandalkan dalam meningkatkan aksesibilitas dan memperluas potensi pariwisata di Kepulauan Seribu.

### **Manfaat Luar Biasa: Transformasi Kepulauan Seribu**

Penerapan Teknologi Jacket Boat di Kepulauan Seribu tidak hanya menciptakan aksesibilitas yang lebih baik bagi wisatawan, tetapi juga membawa transformasi signifikan dalam berbagai aspek kehidupan di wilayah tersebut. Berikut adalah beberapa pembahasan tentang manfaat luar biasa yang terjadi akibat penggunaan Teknologi Jacket Boat:

1. Peningkatan Pariwisata

Salah satu manfaat paling langsung dari Teknologi Jacket Boat adalah peningkatan jumlah wisatawan yang mengunjungi Kepulauan Seribu. Aksesibilitas yang lebih baik dan pengalaman perjalanan yang lebih nyaman membuka pintu bagi lebih banyak orang untuk menikmati pesona alam dan kebudayaan di pulau-pulau tersebut.

2. Pertumbuhan Ekonomi Lokal

Transformasi pariwisata yang dihasilkan oleh Teknologi Jacket Boat juga berdampak positif pada pertumbuhan ekonomi lokal. Meningkatnya jumlah wisatawan membawa peluang baru bagi pengusaha lokal, mulai dari penyedia jasa transportasi hingga penyedia akomodasi, restoran, dan usaha kerajinan lokal.

3. Penciptaan Lapangan Kerja

Dengan pertumbuhan sektor pariwisata, Teknologi Jacket Boat juga menciptakan lapangan kerja baru bagi penduduk setempat. Hal ini terutama berdampak positif pada sektor-sektor terkait, seperti pariwisata, transportasi, dan layanan pelanggan.

4. Pemberdayaan Masyarakat

Penggunaan Teknologi Jacket Boat juga memberdayakan masyarakat lokal dengan memberikan kesempatan untuk terlibat dalam industri pariwisata. Ini menciptakan kesempatan bagi penduduk setempat untuk memiliki usaha kecil, meningkatkan pendapatan, dan meningkatkan kualitas hidup mereka.

5. Konservasi Lingkungan

Meskipun menghadirkan manfaat ekonomi yang signifikan, Teknologi Jacket Boat juga memperhatikan dampak lingkungan. Dengan menggunakan teknologi yang lebih ramah lingkungan, seperti mesin propulsi yang lebih efisien dan penggunaan bahan-bahan daur ulang, Teknologi Jacket Boat berkontribusi pada pelestarian lingkungan di Kepulauan Seribu.

6. Pengembangan Infrastruktur

Transformasi pariwisata yang didorong oleh Teknologi Jacket Boat juga mendorong pengembangan infrastruktur yang lebih baik di Kepulauan Seribu. Ini termasuk peningkatan fasilitas pelabuhan, jalan, dan sarana publik lainnya yang memperkuat konektivitas dan kenyamanan bagi penduduk lokal dan wisatawan.

Dengan demikian, Teknologi Jacket Boat tidak hanya memberikan manfaat aksesibilitas yang

langsung terasa, tetapi juga membawa transformasi positif dalam berbagai aspek kehidupan di Kepulauan Seribu. Dengan penerapan yang bijaksana dan berkelanjutan, Teknologi Jacket Boat memiliki potensi untuk menjadi katalisator yang memacu pertumbuhan ekonomi, pembangunan sosial, dan pelestarian lingkungan di wilayah tersebut.

### **Respons dan Dampak Masyarakat**

Penggunaan Teknologi Jacket Boat di Kepulauan Seribu menghasilkan beragam respons dan dampak dari masyarakat setempat serta wisatawan. Berikut adalah beberapa aspek yang dapat dibahas terkait respons dan dampak tersebut.

#### **1. Respons Positif**

Sebagian besar masyarakat setempat dan wisatawan menanggapi penggunaan Teknologi Jacket Boat dengan respon yang positif. Mereka menghargai kemudahan akses yang disediakan oleh Teknologi Jacket Boat, serta kenyamanan dan keamanan yang ditawarkannya selama perjalanan.

#### **2. Peningkatan Pendapatan**

Penggunaan Teknologi Jacket Boat membawa dampak positif terhadap pendapatan masyarakat setempat. Dengan meningkatnya jumlah wisatawan yang berkunjung, peluang untuk berbisnis dalam sektor pariwisata, seperti penyedia jasa transportasi, akomodasi, dan makanan, juga meningkat, yang pada gilirannya meningkatkan pendapatan mereka.

#### **3. Pemberdayaan Ekonomi Lokal**

Penggunaan Teknologi Jacket Boat juga memberdayakan masyarakat setempat dengan memberikan kesempatan bagi mereka untuk terlibat dalam industri pariwisata. Ini menciptakan lapangan kerja baru dan menggerakkan roda perekonomian lokal.

#### **4. Pelestarian Budaya**

Meskipun dampak positifnya, ada juga kekhawatiran bahwa peningkatan pariwisata dapat membawa dampak negatif terhadap pelestarian budaya masyarakat setempat. Namun, dengan pendekatan yang bijaksana, penggunaan Teknologi Jacket Boat dapat membantu mempromosikan dan melestarikan budaya lokal melalui program-program pendidikan dan promosi.

#### **5. Kesadaran Lingkungan**

Respons masyarakat terhadap Teknologi Jacket Boat juga mencakup kesadaran lingkungan. Dengan menggunakan teknologi yang lebih ramah lingkungan, seperti mesin propulsi yang efisien dan penggunaan bahan-bahan daur ulang, masyarakat dapat merasa lebih yakin bahwa pariwisata yang berkembang tidak merusak lingkungan alam mereka.

#### **6. Penyesuaian Sosial**

Penggunaan Teknologi Jacket Boat juga mempengaruhi penyesuaian sosial masyarakat setempat terhadap perubahan yang terjadi. Ini melibatkan pengembangan keterampilan baru, peningkatan dalam layanan pelanggan, dan penyesuaian terhadap kebutuhan dan preferensi wisatawan yang beragam.

Dengan demikian, respons dan dampak masyarakat terhadap penggunaan Teknologi Jacket Boat sangat bervariasi tergantung pada konteks lokal dan kondisi spesifik di Kepulauan Seribu. Penting untuk terus memantau dan mengevaluasi dampaknya serta berkolaborasi dengan masyarakat setempat untuk memastikan bahwa penggunaan Teknologi Jacket Boat memberikan manfaat yang sebesar-besarnya bagi semua pihak yang terlibat.

### **Masa Depan Teknologi Jacket Boat: Visi dan Harapan**

Dengan kesuksesan yang telah dicapai dalam penggunaan Teknologi Jacket Boat di Kepulauan Seribu, visi dan harapan untuk masa depannya menjadi sangat penting. Berikut adalah

beberapa pembahasan tentang visi dan harapan untuk perkembangan Teknologi Jacket Boat ke depan:

1. Peningkatan Aksesibilitas

Visi utama untuk masa depan Teknologi Jacket Boat adalah terus meningkatkan aksesibilitas ke Kepulauan Seribu. Ini melibatkan pengembangan teknologi lebih lanjut untuk meningkatkan kecepatan, keamanan, dan kenyamanan perjalanan, serta perluasan jaringan rute dan destinasi yang dapat dijangkau oleh Teknologi Jacket Boat.

2. Inovasi Berkelanjutan

Harapan utama adalah untuk terus mendorong inovasi dalam pengembangan Teknologi Jacket Boat. Ini termasuk penggunaan teknologi terbaru dalam desain kapal, sistem propulsi, navigasi, dan keamanan, serta integrasi solusi berkelanjutan yang ramah lingkungan.

3. Pemberdayaan Ekonomi Lokal

Visi jangka panjang adalah untuk menggunakan Teknologi Jacket Boat sebagai alat untuk pemberdayaan ekonomi lokal di Kepulauan Seribu. Ini melibatkan pendekatan yang berkelanjutan dan berorientasi pada masyarakat dalam pengembangan pariwisata, serta dukungan untuk pengembangan usaha kecil dan menengah di sektor pariwisata.

4. Pelestarian Lingkungan

Harapan yang kuat adalah bahwa penggunaan Teknologi Jacket Boat akan berdampak positif pada pelestarian lingkungan di Kepulauan Seribu. Ini termasuk penggunaan teknologi ramah lingkungan, praktik pengelolaan yang berkelanjutan, serta kampanye kesadaran lingkungan untuk mempromosikan perilaku bertanggung jawab di antara wisatawan dan masyarakat setempat.

5. Pendidikan dan Pelatihan

Visi masa depan juga mencakup pendidikan dan pelatihan yang terus-menerus bagi masyarakat lokal dalam penggunaan dan manajemen Teknologi Jacket Boat. Ini melibatkan program-program pelatihan untuk pelaut lokal, pengusaha pariwisata, dan pemilik usaha kecil untuk memastikan keberlanjutan penggunaan Teknologi Jacket Boat dalam jangka panjang.

6. Kemitraan dan Kolaborasi

Harapan utama adalah untuk memperkuat kemitraan dan kolaborasi antara berbagai pemangku kepentingan, termasuk pemerintah, industri, masyarakat lokal, dan organisasi non-pemerintah. Ini menciptakan kesempatan untuk berbagi pengetahuan, sumber daya, dan pengalaman dalam pengembangan dan implementasi Teknologi Jacket Boat.

## KESIMPULAN

Terlepas dari penjelasan di atas maka penting juga teknologi yang dibangun dengan aplikasi ini bisa mudah bagi wisatawan dan masyarakat untuk menggunakan, selain masih banyak keluhan – keluhan akan aplikasi Jacket Boat ini. Aplikasi dibuat untuk memudahkan maka, apabila adanya aplikasi bisa mempermudah semua lapisan masyarakat. Dengan mewujudkan visi dan harapan ini untuk masa depan Teknologi Jacket Boat, diharapkan bahwa Kepulauan Seribu akan terus menjadi destinasi pariwisata yang menarik, berkelanjutan, dan berdaya saing tinggi di tingkat global. Hal ini juga akan memberikan manfaat yang berkelanjutan bagi masyarakat setempat dalam bentuk adanya teknologi yang mempermudah untuk

keberlanjutan.

## REKOMENDASI KEBIJAKAN (*POLICY BRIEF*)

Kepulauan Seribu merupakan destinasi pariwisata alam yang memikat di Indonesia. Namun, aksesibilitas yang terbatas telah menjadi hambatan utama bagi pertumbuhan industri pariwisata di wilayah ini. Untuk mengatasi masalah ini, Teknologi Jacket Boat telah diperkenalkan sebagai solusi inovatif yang dapat meningkatkan aksesibilitas ke Pulau Seribu.

### 1. Pengembangan Infrastruktur

Pemerintah perlu mengalokasikan dana dan sumber daya untuk pengembangan infrastruktur yang mendukung penggunaan Teknologi Jacket Boat, termasuk pembangunan dan pemeliharaan pelabuhan, dermaga, dan fasilitas transportasi laut lainnya.

### 2. Regulasi dan Standar Keselamatan

Diperlukan pengembangan regulasi dan standar keselamatan yang jelas dan ketat untuk mengatur penggunaan Teknologi Jacket Boat. Hal ini mencakup persyaratan pelatihan dan sertifikasi untuk operator, serta penegakan hukum yang efektif terhadap pelanggaran keselamatan.

### 3. Pengembangan Keterampilan Lokal

Program pelatihan dan pengembangan keterampilan harus diselenggarakan untuk mendukung partisipasi masyarakat lokal dalam industri pariwisata, termasuk pelatihan untuk menjadi pelaut, pemandu wisata, dan penyedia layanan pariwisata lainnya.

### 4. Kampanye Kesadaran Lingkungan

Peningkatan penggunaan Teknologi Jacket Boat harus disertai dengan kampanye kesadaran lingkungan yang kuat untuk mempromosikan perilaku bertanggung jawab di antara pengguna dan pemangku kepentingan pariwisata lainnya.

### 5. Inovasi Berkelanjutan

Pemerintah dan industri pariwisata perlu terus mendorong inovasi dalam pengembangan Teknologi Jacket Boat, termasuk penggunaan teknologi yang lebih ramah lingkungan dan efisien dalam penggunaan energi.

### 6. Pengembangan Kerjasama dan Kemitraan

Kerjasama yang erat antara pemerintah, industri pariwisata, masyarakat lokal, dan organisasi non-pemerintah penting untuk menciptakan lingkungan yang kondusif bagi pengembangan dan implementasi Teknologi Jacket Boat secara berkelanjutan.

Dengan mengadopsi rekomendasi kebijakan ini, diharapkan bahwa aksesibilitas pariwisata di Kepulauan Seribu dapat meningkat secara signifikan, membuka pintu bagi pertumbuhan ekonomi yang berkelanjutan, pemberdayaan masyarakat lokal, dan pelestarian lingkungan alam yang penting. Juga menjadi hal penting bahwa teknologi yang dibangun dengan aplikasi ini bisa mudah bagi wisatawan dan masyarakat untuk menggunakan, selain masih banyak keluhan – keluhan akan aplikasi Jacket Boat ini. Aplikasi dibuat untuk memudahkan maka, apabila adanya aplikasi bisa mempermudah semua lapisan masyarakat. Dengan mewujudkan visi dan harapan ini untuk masa depan Teknologi Jacket Boat, diharapkan bahwa Kepulauan Seribu akan terus menjadi destinasi pariwisata yang menarik, berkelanjutan, dan berdaya saing tinggi di tingkat global. Hal ini juga akan memberikan manfaat yang berkelanjutan bagi masyarakat setempat dalam bentuk adanya teknologi yang mempermudah untuk

keberlanjutan.

## DAFTAR PUSTAKA

- Apriliansyah, B.A. (2023) 'Rancang Bangun Jacket Pelampung Terlacak Jarak Jauh Berbasis LoRa'.
- Hetharia, W. et al. (2021) 'Problems and technical solutions of capture fisheries in Eastern Indonesian waters', IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 1052. Available at: <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:234296679>.
- Liu, T.-M. and Leung, K.-K. (2018) 'Volunteer tourism, endangered species conservation, and aboriginal culture shock', Biodiversity and Conservation, 28, pp. 115–129. Available at: <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:254277831>.
- Loddé, B. et al. (2019) 'SEA-mulation: training for technical treatment related to emergency situations in maritime environment', Critical Care, 23.
- Mustapa, F. et al. (2023) 'Studi Ekologi dan Morfometrik Kepiting Kelapa (Birgus Latro L.): Studi Kasus di Desa Waonu, Pulau Kadatua, Sulawesi Tenggara', Samakia: Jurnal Ilmu Perikanan [Preprint]. Available at: <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:265188223>.
- Nugraha, R.A. (2016) 'HARMONIZATION OF THE AVIATION SECTOR WITHIN PRESIDENT JOKOWI'S MARITIME POLICY: A WAY TO PROMOTE PIONEER FLIGHTS', in. Available at: <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:113705396>.
- Ramu, P. et al. (2020) 'SEJARAH PERKEMBANGAN LALUAN PENARIKAN (DEVELOPMENT HISTORY OF WITHDRAWAL ROUTE)', in. Available at: <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:216167351>.
- Romadhon, Y. and Vikaliana, R. (2018) 'PELAYARAN RAKYAT DALAM PERSPEKTIF SISTEM LOGISTIK NASIONAL', Jurnal Logistik Indonesia [Preprint]. Available at: <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:190458933>.
- Sinaga, O.S. et al. (2021) 'Kontribusi perceived usefulness, perceived ease of use dan perceived security terhadap behavioral intention to use aplikasi JAKET', Insight Management Journal [Preprint]. Available at: <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:259442772>.
- Soares, J. and Nunes, N.N. (2020) 'The character and uniqueness of Madeira's natural and cultural heritage as determining factors for sports tourist products', in. Available at: <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:226408242>.
- Sriram, G.Y. et al. (2022) 'MarineServe: An IoT-based AI-enabled Multi-Purpose Real-time Alerting System for Fishing Boats', Proceedings of the 2022 Fourteenth International Conference on Contemporary Computing [Preprint]. Available at: <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:253110424>.
- Widoyoko, A. and Sulistiyowati, S.M.H. (2013) 'IMPLEMENTASI ASAS CABOTAGE PADA INPRES RI NO 5TAHUN 2005 TENTANG PEMBERDAYAAN INDUSTRIPELAYARAN NASIONAL DI INDONESIA', in. Available at: <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:152933693>.





## PENERAPAN PERANGKAT LUNAK BARU BERUPA *AUTOMATION TRAFFIC LIGHT* DAN IDENTIFIKASI LALU LINTAS DENGAN MENGGUNAKAN *ARTIFICIAL INTELLIGENCE* (AI)

Wiwiek Mardawiyah Daryanto<sup>1\*</sup>, Yoel Mego Hastomo<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Administrasi Bisnis, Sekolah Tinggi Manajemen Ipmi, Jakarta Selatan 12750, Indonesia

<sup>2</sup>Administrasi Bisnis, Sekolah Tinggi Manajemen Ipmi, Jakarta Selatan 12750, Indonesia

\*Penulis Korespondensi: [wiwiek.daryanto@ipmi.ac.id](mailto:wiwiek.daryanto@ipmi.ac.id)

### ABSTRAK

Lampu lalu lintas telah menjadi bagian penting dari infrastruktur transportasi perkotaan selama beberapa dekade, mengatur pergerakan kendaraan dan pejalan kaki untuk menjamin keselamatan dan efisiensi. Namun, kemajuan teknologi *Artificial Intelligence* (AI) merevolusi cara kerja lampu lalu lintas. Penggunaan AI pada lampu lalu lintas memungkinkan sistem merespons kondisi lalu lintas yang berubah secara dinamis dengan lebih baik. Penelitian ini menerapkan teknik kuantitatif dan kualitatif dalam menilai kelayakan pembuatan produk perangkat lunak baru berupa *Automation Traffic Light* (ATL); dan mengidentifikasi lalu lintas dengan menggunakan AI. Hal ini dilakukan untuk mengevaluasi suatu pengembangan kota, sebagai keputusan strategis apakah proyek tersebut layak untuk diinvestasikan dan diluncurkan di DKI Jakarta. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menilai apakah perangkat lunak baru berupa ATL dan identifikasi lalu lintas dengan menggunakan AI layak dari segi kebutuhan masyarakat DKI Jakarta. Proyek ini sangat penting untuk pengembangan kondisi lalu lintas di Jakarta karena diharapkan dapat membantu efektifitas dan efisiensi lalu lintas kota Jakarta. Proyek ini akan dievaluasi dengan melakukan studi kasus dan penilaian strategis menggunakan analisis *SWOT* dan *Porter's Five Forces*. Proyek ini juga akan menerapkan Tujuan Pembangunan Berkelanjutan (SDG) nomor 9 yaitu *Industry, Innovation And Infrastructure* dan nomor 11 yaitu *Sustainable Cities and Communities*, sebagai variabel lain untuk memutuskan kelayakan proyek dari sisi efisiensi dan lingkungan hidup. Hasil penelitian menunjukkan perusahaan dapat melanjutkan pembuatan Dasbor ATL berdasarkan hasil studi tersebut.

**Kata Kunci:** *AI, Artificial Intelligence, Automation Traffic Light, Payback Period, Net Present Value, ROCI, WACC, ESG, Dasbor Automation Traffic Light, SDG.*

### PENDAHULUAN

Kecerdasan Buatan (*Artificial Intelligence* atau *AI*) merupakan teknologi yang dirancang untuk membuat sistem komputer mampu meniru kemampuan intelektual manusia. AI memungkinkan komputer untuk belajar dari pengalaman, mengidentifikasi pola, membuat keputusan, dan menyelesaikan tugas-tugas kompleks dengan cepat dan efisien (Ayub, 2023). Penggunaan AI dalam hal Pembelajaran Mesin (*Machine Learning*) Sub-bidang AI yang berfokus pada pengembangan algoritma yang memungkinkan komputer belajar dari data dan pengalaman, dapat membantu untuk mempelajari secara menyeluruh untuk di jadikan Pembelajaran Mesin (*Machine Learning*) menggunakan jaringan saraf secara mendalam (*deep neural networks*) untuk menganalisis data dengan lapisan kompleksitas yang tinggi

(Athmaja, dkk. 2017). Dalam hal ini dua kemampuan diatas dapat di maksimalkan menggunakan alat *Internet of Things (IoT)* dalam membantu mengawasi kelancaran lalu lintas perkotaan menuju ke *smart city*. "*Smart City*" adalah konsep kota yang menggunakan teknologi informasi dan komunikasi (TIK) untuk meningkatkan efisiensi operasional, membagikan informasi kepada publik, dan meningkatkan kualitas layanan pemerintah serta kesejahteraan warga (Nikhil & Sujith, 2019).

## STATE OF THE ART

Lampu lalu lintas telah menjadi bagian penting dari infrastruktur transportasi perkotaan selama beberapa dekade, mengatur pergerakan kendaraan dan pejalan kaki untuk menjamin keselamatan dan efisiensi. Namun, kemajuan teknologi *Artificial Intelligence (AI)* merevolusi cara kerja lampu lalu lintas. Penggunaan AI pada lampu lalu lintas memungkinkan sistem merespons kondisi lalu lintas yang berubah secara dinamis dengan lebih baik. Dengan menggunakan kombinasi dari LIDAR (*Light Detection and Ranging*) dan prosesor nya dapat membantu mengawasi kegiatan lalu lintas yang sedang terjadi di jalan raya dan membantu memberi keputusan lalu lintas terutama dalam persimpangan-persimpangan lampu lalu lintas di DKI Jakarta (Widiasaputra, dkk., 2022). Dalam hal ini AI dengan menggunakan machine learning (ML) mampu mempelajari beberapa hal:

1. Jumlah jalur yang ada di lingkup lampu lintas terkait,
2. Jumlah dan jarak antar mobil terkait yang ada di kisaran lampu lalu lintas,
3. Kepadatan lalu lintas atau pejalan kaki yang terdapat dalam lampu merah terkait,
4. Dan berapa lama waktu yang dibutuhkan untuk masing-masing pergantian rambu lalu lintas.

Kemampuan ML dan AI terkait dari teknologi LIDAR dikombinasikan dengan kamera CCTV yang terdapat di lampu lalu lintas terkait maka akan menimbulkan sebuah teknologi AI dari perekaman ML yang sudah didapat akan menjadi teknologi lampu lalu lintas terkait. Seperti metode yang telah dilakukan oleh Khushi (2017) yang melakukan kombinasi antara persimpangan menggunakan *matlab code* untuk menyatukan semua sisi interseksi untuk mengukur berapa lama lampu lalu lintas terkait. Konsep *Smart City* menghasilkan berbagai kehebatan dan keunggulan yang signifikan, meningkatkan kualitas hidup warga dan efisiensi operasional kota. Pengembangan ini merupakan salah satu konsep DKI Jakarta untuk menjadi *Smart City* dalam pengaturan lalu lintas.

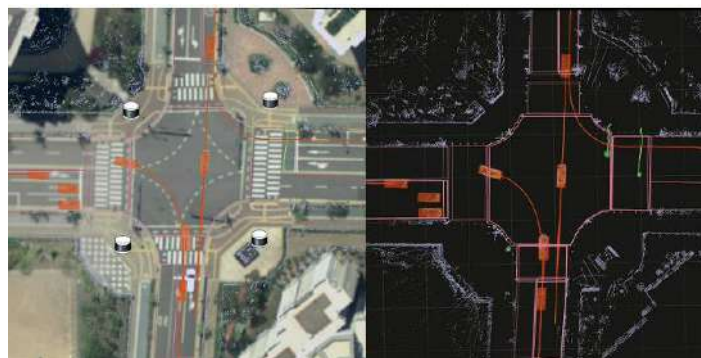
## PEMBAHASAN

### *Light Detection and Ranging (LIDAR)* dan Proses LIDAR

Penggunaan LiDAR dapat dilakukan dalam banyak hal dalam proses pengambilan data secara mendetail hingga model 3D. LIDAR menurut IBM (2024) adalah teknologi penginderaan jauh yang menggunakan sinar laser untuk mengukur jarak dan pergerakan yang tepat di suatu lingkungan, secara *real time*. Menurut IBM (2024) LiDAR bekerja dengan prinsip yang sama dengan radar, yaitu "deteksi dan jangkauan radio" sistem lokasi yang sering digunakan oleh kapal dan pesawat terbang dan sonar, yaitu "navigasi sonik dan jangkauan" sistem digunakan oleh kapal selam. Ketiga teknologi tersebut memancarkan gelombang energi untuk mendeteksi dan melacak objek. Perbedaannya adalah radar menggunakan gelombang mikro dan sonar menggunakan gelombang suara, sedangkan LIDAR menggunakan cahaya yang dipantulkan, yang dapat mengukur jarak dengan lebih cepat, dengan ketepatan yang lebih besar dan resolusi yang lebih tinggi daripada radar atau sonar. Dalam hal ini sistem LIDAR dapat dikombinasikan dengan proses unit yang dapat megakuisisi data terkait lalu lintas dan memprosesnya dengan menggunakan sistem *geofencing*. Menurut Microsoft (2024) *Geofence* adalah parameter virtual di sekitar lokasi tertentu. *Geofencing* memungkinkan pengguna untuk menggambar zona di tempat kerja, lokasi pelanggan, dan area yang aman. Manusia dapat mengkonfigurasi sistem untuk memicu berbagai tindakan saat geofence dilewati oleh orang atau kendaraan lengkap.

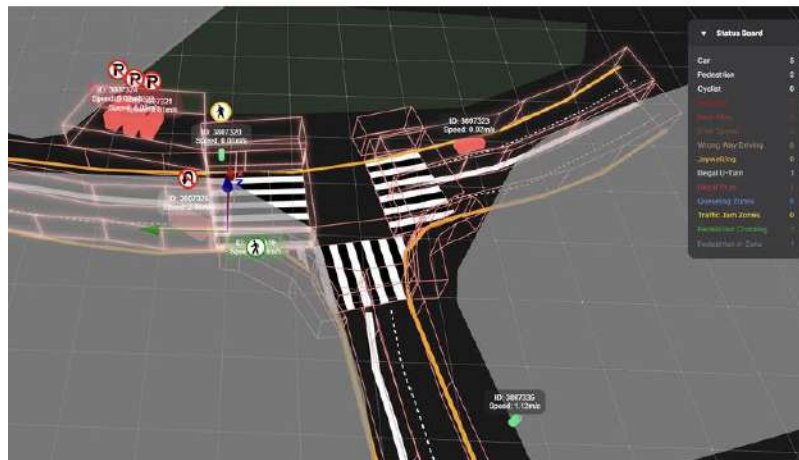
### Implementasi Teknologi

Kombinasi antara LIDAR dan Unit Prosesornya dapat dilakukan dengan penggunaan *dashboard* yang terdapat di ruang kontrol terpusat yang dimiliki pihak terkait, dimana dengan menggunakan *geofencing* dapat dibatasi sehingga dapat diketahui potensi lalu lintas yang terjadi di lokasi masing-masing lampu lintas yang di implementasikan di kawasan terkait (Nugroho & Puspasari, 2018).



**Gambar 1.1** Kombinasi antara LIDAR dan Kamera Lalu Lintas.

Pada Gambar 1.1 dapat dilihat bagaimana kombinasi data *LiDar* dan kamera yang digunakan dapat menjadi acuan dan *Geofence* menjadi batasan-batasan sejauh mana parameter keputusan bisa diambil.



**Gambar 1.2.** Kemampuan Perangkat Lunak dengan Parameter yang Lebih Banyak

Gambar 1.2 menunjukkan kemampuan lebih maju bagi perangkat lunak terkait, dimana machine learning sudah dapat dilakukan untuk menganalisa lingkungan sekitar daerah yang terimplementasi. Dengan menggunakan data-data yang dipelajari oleh perangkat lunak tersebut maka kedepannya bisa dilakukan pengembangan sistem lalu-lintas (Daryanto,2023). Dalam dasbor perangkat lunak terkait dihasilkan parameter-parameter untuk penentuan sampai sejauh mana *machine learning* dapat mempelajari potensi lalu lintas untuk keputusan kapan dan kondisi seperti apa yang terbaik untuk menentukan berapa lama lampu merah seharusnya menyala, berapa banyak pelanggaran lalu lintas yang terjadi di sekitar lokasi implementasi, serta pengawasan secara lebih mendetail dan histori terjadinya kecelakaan lalu lintas di daerah tersebut untuk mencegah kejadian lalu lintas yang terjadi berikutnya. Dengan demikian maka teknologi terkait dapat membantu pengawasan lalu lintas dan membawa DKI Jakarta menjadi Kota Pintar dengan penggunaan teknologi AI untuk pengawasan lalu lintasnya. "Smart City" adalah konsep kota yang menggunakan teknologi informasi dan komunikasi (TIK) untuk meningkatkan efisiensi operasional, membagikan informasi dengan publik, dan meningkatkan kualitas layanan pemerintah serta kesejahteraan warga (Meksumphun & Kerdvibulvech, 2024). Dengan memanfaatkan teknologi untuk meningkatkan efisiensi dan kualitas hidup, konsep *Smart City* berpotensi untuk menghadirkan lingkungan yang lebih aman, sehat, dan berkelanjutan bagi para penghuninya. Pengembangan terkait telah dilakukan di kota Essenbach, Bavaria, Jerman. Menurut Anna Ellis (2024) kota tersebut sudah melakukan uji coba, dan sangat terbantu dalam menjaga ketertiban yang ada di wilayah terkait. Dengan Indonesia yang menempati posisi 30 di Dunia dalam tingkat kemacetan dan No 9 di Asia (Tom Tom World Traffic Index, 2023), hal ini merupakan solusi yang dibutuhkan dalam menjaga kepadatan lalu lintas yang terjadi di Indonesia

## Tantangan

Kondisi jalan raya di DKI Jakarta menjadi salah satu tantangan terberat yang terjadi pada saat ini. Kondisi lalu lintas di DKI Jakarta di persimpangan jalan masih rawan dan banyak pelanggaran lalu lintas, sehingga sulit untuk pengimplementasian teknologi ini. Selain itu banyak kendaraan yang masih melakukan pelanggaran marka jalan akan mempengaruhi kondisi pengawasan lalu-lintas. Keamanan IOT nya itu sendiri juga menjadi tantangan kemungkinan IOT terkait untuk dicuri menjadi ancaman tersendiri yang mungkin terjadi (Fiqri, A.A, 2022). Nilai Investasi dan waktu pengembangan juga dibutuhkan cukup besar dan lama

agar semua sistem dapat di implementasikan secara menyeluruh. Proyek seperti ini juga membutuhkan kerja sama dari berbagai instansi terkait baik dari Kepolisian lalu lintas dan pemda Jakarta dalam pengembangannya. Jaringan internet di daerah terkait juga sangat dibutuhkan untuk kelancaran data terkait. Kesadaran Publik untuk meningkatkan kesadaran tentang manfaat dan penggunaan teknologi pintar melalui kampanye informasi dan program edukasi sangat diperlukan.

### Tren Masa Datang

Pengembangan sistem otomasi lalu-lintas ini akan meringankan warga kota yang bersangkutan. Kontrol otomasi yang dikembangkan ini akan menjadi tren yang akan terus berkembang. Bahkan di masa yang akan datang, pengembangan produk ini bisa akan terus berlangsung yang dikombinasikan dengan teknologi lainnya akan menjadi suatu sistem *smart city*. Dasbor lampu lalu lintas diatas akan hanya menjadi bagian dari modul-modul lain yang lebih besar di masa yang akan datang agar DKI Jakarta menjadi kota pintar yang diidamkan banyak orang.

## KESIMPULAN .

Dalam perangkat lunak terkait dalam studi ini, jika machine learning sudah dapat dilakukan untuk menganalisa lingkungan sekitar daerah menggunakan data-data yang dipelajari oleh perangkat lunak tersebut maka kedepannya dapat dilakukan pengembangan sistem lalu-lintas. Sistem tersebut disajikan dalam dasbor perangkat lunak terkait yang menghasilkan parameter-parameter untuk penentuan sampai sejauh mana *machine learning* dapat mempelajari potensi lalu lintas untuk pengambilan keputusan kapan dan kondisi seperti apa yang terbaik untuk menentukan kebijakan terukur pada saat kejadian (*Real Time*). Terlepas dari permasalahan yang dihadapi pengembangan teknologi yang semakin sulit terbelendung penulis merasa pengembangan ini akan terjadi pada waktunya dimana dalam hal ini jika dikembangkan lebih lanjut sistem otomasi ini akan banyak meringankan banyak pihak pengguna teknologi terkait. Kontrol otomasi yang dimiliki ini akan menjadi tren yang akan terus berkembang bahkan kedepannya pengembangan produk ini bisa akan terus berkembang atau dikombinasikan dengan teknologi lainnya. Proyek ini juga akan menerapkan Tujuan Pembangunan Berkelanjutan (SDG) nomor 9 yaitu *Industry, Innovation And Infrastructure* dan nomor 11 yaitu *Sustainable Cities and Communities*, sebagai variabel lain untuk memutuskan kelayakan proyek dari sisi efisiensi dan lingkungan hidup (PSPPR, 2023).

Beberapa hal yang dapat diharapkan dengan adanya Dasbor Aplikasi terlampir adalah :

#### 1. Sistem Manajemen Lalu Lintas Adaptif

- Sensor Lalu Lintas: Sensor yang dipasang di jalanan dapat mengukur volume kendaraan, kecepatan, dan pola lalu lintas secara real-time.
- Lampu Lalu Lintas Pintar: Menggunakan data dari sensor untuk mengatur durasi lampu lalu lintas secara dinamis, mengurangi kemacetan dan meningkatkan aliran lalu lintas.

## 2. Pengawasan Lalu Lintas dan Keamanan

- Kamera CCTV Pintar: Kamera yang dilengkapi dengan teknologi analitik video dapat mendeteksi pelanggaran lalu lintas, seperti melanggar lampu merah atau kecepatan berlebih, dan secara otomatis mengirimkan informasi ke pusat pengendalian.
- Sistem Peringatan Dini: Sistem yang dapat mendeteksi kondisi lalu lintas yang berbahaya dan memberikan peringatan dini kepada pengemudi melalui papan informasi elektronik atau aplikasi mobile.

## 3. Pengumpulan Data dan Analisis

- Big Data dan Analitik: Data yang dikumpulkan dari berbagai sensor lalu lintas dianalisis untuk memahami pola lalu lintas, mengidentifikasi masalah, dan merencanakan perbaikan infrastruktur jangka panjang.
- Prediksi Lalu Lintas: Algoritma pembelajaran mesin digunakan untuk memprediksi kondisi lalu lintas di masa depan berdasarkan data historis dan real-time, memungkinkan perencanaan yang lebih baik dan pengelolaan lalu lintas yang lebih efisien.

Dengan mengintegrasikan IoT dalam pengelolaan lalu lintas, kota-kota dapat mengatasi tantangan transportasi modern secara lebih efektif, menciptakan lingkungan perkotaan yang lebih efisien, aman, dan nyaman bagi penduduknya.

Berikut adalah analisis SWOT berdasarkan kebijakan diatas:

- *Strenght* (Kekuatan) : teknologi terkait dapat membantu pengawasan lalu lintas dan membawa DKI Jakarta menjadi Kota Pintar dengan penggunaan teknologi AI untuk pengawasan lalu lintasnya.
- *Weakness* (Kelemahan) : Butuh biaya serta kesiapan SDM yang mampu beradaptasi dengan kemampuan teknologi yang tinggi.
- *Oppurtunity* (Kesempatan) : Menjadi salah satu kota per-contohan yang menerapkan atomasi lalu lintas
- *Threat* (Ancaman) : Keamanan IOT nya itu sendiri juga menjadi tantangan dimana kemungkinan IOT terkait untuk di curi juga menjadi ancaman tersendiri yang mungkin terjadi.



## REKOMENDASI KEBIJAKAN (*POLICY BRIEF*)

Kajian ini diharapkan dapat menjadi panduan bagi DKI Jakarta untuk melakukan pengembangan teknologi terpadu dalam hal integrasi lalu lintas. Beberapa hal yang harus di persiapkan untuk mencapai tujuan kajian ini adalah sebagai berikut:

### 1. Perencanaan Terpadu

- a) Visi dan Strategi yang Jelas: Tentukan visi jangka panjang dan strategi yang jelas untuk pengembangan Smart City. Libatkan berbagai pemangku kepentingan termasuk pemerintah, sektor swasta, akademisi, dan warga.
- b) Peta Jalan yang Terperinci: Buat peta jalan yang mencakup tahapan implementasi, target pencapaian, dan indikator kinerja utama (KPI) untuk mengukur kemajuan.

### 2. Penguatan Infrastruktur TIK

- a) Jaringan Internet Berkecepatan Tinggi: Pastikan tersedia jaringan internet berkecepatan tinggi dan dapat diandalkan sebagai dasar untuk semua aplikasi Smart City tidak hanya untuk pengembangan lalu lintas.
- b) Penerapan IoT: Implementasikan jaringan sensor IoT untuk pengumpulan data real-time yang mendukung manajemen kota yang lebih efisien.

### 3. Keamanan dan Privasi

- a) Keamanan Siber: Investasikan dalam sistem keamanan siber yang kuat untuk melindungi data dan infrastruktur kota dari ancaman digital.
- b) Privasi Data: Kembangkan kebijakan privasi yang transparan dan jamin bahwa data warga dikelola dengan aman dan sesuai dengan regulasi privasi.

### 4. Partisipasi Warga dan Keterlibatan Komunitas

- a) Platform Partisipatif: Buat platform digital yang memungkinkan warga untuk memberikan masukan, berpartisipasi dalam pengambilan keputusan, dan mendapatkan informasi mengenai proyek-proyek kota.
- b) Pendidikan dan Kesadaran: Tingkatkan literasi digital di kalangan warga dan sediakan program edukasi untuk mempromosikan penggunaan teknologi pintar.

### 5. Kerja Sama dan Kolaborasi

- a) Kemitraan Publik-Swasta: Dorong kemitraan antara pemerintah dan sektor swasta untuk mendanai dan mengembangkan inisiatif Smart City dalam hal ini kebijakan lalu lintas yang baik sebagai tolak ukur parameter bagi sistem Dasbor terkait.
- b) Kolaborasi Antar Kota: Belajar dari pengalaman kota lain yang telah berhasil mengimplementasikan proyek Smart City dan berbagi pengetahuan serta praktik terbaik.

Dengan kebijakan diatas maka diharapkan implementasi sistem LIDAR untuk lalu lintas dapat membantu menjadi bahan dari integrasi kebutuhan DKI Jakarta dalam pengembangannya menuju *smart city*.

## DAFTAR PUSTAKA

- TomTom.com, 'Tom Tom World Traffic Index', 20. [Online]. Available: <https://www.tomtom.com/traffic-index/ranking/>
- Athmaja, S., Hanumanthappa, M., & Kavitha, V. (2017). A survey of machine learning algorithms for big data analytics. 2017 International Conference on Innovations in Information, Embedded and Communication Systems (ICIIECS), 1–4.
- Ayub Ismail. Moh. 2023 . Apa Itu AI (Artificial Intelligence): Pengertian, Kelebihan, Dan Kekurangannya
- Daryanto, W.M. (2023). Peranan Akuntansi Manajemen dan Pengendalian terhadap Pengambilan Keputusan Organisasi di Era Disrupsi Teknologi. *Orasi Ilmiah Pengukuhan Guru Besar*.
- IBM. 2024 . What Is Lidar?. <https://www.ibm.com/topics/lidar#:~:text=IBM,an%20environment%2C%20in%20real%20time.>
- Microsoft. 2024. Geofencing untuk aplikasi Field Service mobile. <https://learn.microsoft.com/id-id/dynamics365/field-service/mobile-powerapp-geofence.>
- Anna Ellis. 2024. *Revolutionising roads: Essenbach leads with 'traffic lights of the future'*. <https://euroweeklynnews.com/2024/04/10/revolutionising-roads-essenbach-leads-with-traffic-lights-of-the-future/>
- Fiqri, A.A. (2022). Dishub DKI Jakarta Akan Pakai Artificial Intelligence untuk Urai Kemacetan. <https://www.inews.id/news/megapolitan/dishub-dki-jakarta-akan-pakai-artificial-intelligence-untuk-urai-kemacetan> [Diakses pada 6 Juni 2024].
- Khushi. (2017). Smart Control of Traffic Light System Using Image Processing. 2017 International Conference on Current Trends in Computer, Electrical, Electronics and Communication (CTCEEC). doi:10.1109/ctceec.2017.8454966
- Meksumphun, K. & Kerdvibulvech, C. (2024). Exploring Motivations for Social Games in Virtual Reality for Smart Cities. *Journal of Smart Cities and Society*, 3(1): 63-80.
- Nikhil A.S & Sujith K.M. (2019). Introducing Artificial Intelligence in Traffic Management for a Sustainable Urban Development. *Proceedings of the 4th Kerala Technological Congress*, 2: 431-438.
- Nugroho, H & Puspasari, F. (2018). Analisis Pemanfaatan Dan Ketelitian Lidar Menggunakan Wahana Unmanned Aerial Vehicle (UAV). *Indonesia Journal of Geospatial* 7(1).
- Pusat Studi Perencanaan Pembangunan Regional (PSPPR). (2023). Tujuan Pembangunan Nasional. <https://psppr.ugm.ac.id/> [Diakses pada 6 Juni 2024].
- Widiasaputra, P.M., Bawa, I. K. A., dkk. (2022) Pengembangan Sistem Lidar Pendeteksi Jarak Aman Berkendara. *Jurnal Rekayasa Sipil dan Lingkungan*, 6(2): 109-199.

## POINT TO POINT AUTONOMOUS DRONE MENGGUNAKAN MODUL 5G SEBAGAI SOLUSI LOGISTIK KOTA PINTAR

Radix Rascalía <sup>1\*</sup>, Muhammad Hanif Abdulfattah <sup>2</sup>, Prabowo Larasakti<sup>3</sup>,

<sup>1,2</sup>Program Studi Manajemen Informatika, Politeknik Astra,  
Cikarang Selatan 17530, Indonesia

<sup>3</sup>Program Studi Mekatronika, Politeknik Astra,  
Cikarang Selatan 17530, Indonesia

\*Penulis Koresponden, e-mail : [radix.rascalía@polytechnic.astra.ac.id](mailto:radix.rascalía@polytechnic.astra.ac.id)

### ABSTRAK

Perkembangan teknologi 5G membuat drone memiliki potensi untuk merevolusi industri logistik dengan memungkinkan pengiriman barang yang lebih cepat, efisien, aman dan hemat biaya. Dengan menggunakan jaringan 5G, latensi komunikasi sistem navigasi dan kontrol pada drone akan berkurang secara signifikan sehingga pertukaran data yang terjadi antara drone dan sistem navigasi dapat berjalan secara realtime. Hal ini memungkinkan drone untuk dapat melakukan manuver pada lingkungan yang kompleks, menghindari rintangan, serta dapat melakukan pendaratan dengan aman dan presisi di area yang telah ditentukan. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan sebuah *point to point autonomous drone* menggunakan modul 5G yang terintegrasi dengan sistem navigasi dan kontrol. Proses pengembangan autonomous drone mengikuti metodologi pengembangan prototype serta memanfaatkan teknologi *internet of things* (IoT), sensor kamera, LiDAR, dan modul 5G. Metodologi pengembangan prototype memberikan pendekatan yang berfokus pada prototype awal dan feedback yang cepat, memastikan fungsionalitas produk sesuai dengan hasil uji coba dan feedback yang diterima. Dengan teknologi IoT yang terintegrasi bersama 5G, drone dapat beroperasi secara otonom dan dipantau secara jarak jauh dengan menggunakan jaringan internet 5G. Hal ini berguna untuk mempermudah pengendalian drone pada aktivitas logistik dengan cakupan wilayah area yang luas. Pengujian autonomous drone dilakukan menggunakan metode *prototyping* untuk memastikan hasil yang konsisten serta memenuhi kebutuhan yang ingin dicapai. Hasil penelitian ini menjadi *prototype* awal bagi perkembangan lebih lanjut dalam implementasi drone 5G dalam industri logistik, sehingga dapat membawa perubahan positif dalam pengiriman barang dan manajemen rantai pasokan.

Kata Kunci: Drone logistik, Internet of Things, Jaringan 5G, Kota Pintar

### PENDAHULUAN

Indonesia, sebagai negara kepulauan yang terdiri dari lebih dari 17.000 pulau, memiliki keberagaman geografi yang kompleks, melibatkan rentang yang luas dari pegunungan hingga dataran rendah. Sementara itu, dinamika demografi juga menandai Indonesia sebagai negara yang padat penduduk, khususnya di daerah perkotaan. Data Badan Pusat Statistik menunjukkan bahwa Indonesia merupakan salah satu negara padat penduduk di dunia, dengan lebih dari 270 juta jiwa yang dimana sebanyak 56,7% penduduknya tinggal di wilayah perkotaan pada tahun 2020 dan diperkirakan akan terus meningkat menjadi 66,6% pada tahun 2035. Dengan pertumbuhan populasi yang pesat khususnya di wilayah perkotaan tentu menjadi pendorong utama meningkatnya permintaan akan barang dan jasa. Fenomena ini, menimbulkan tekanan besar pada sistem logistik yang beroperasi di wilayah perkotaan.

Sistem logistik adalah bagian dari manajemen rantai pasokan yang mencakup perencanaan, pelaksanaan, dan pengendalian aliran barang, layanan, dan informasi dari titik asal hingga konsumen dengan tujuan untuk memenuhi kebutuhan pelanggan (Siahaya, 2012). Elemen transportasi dalam sistem logistik memainkan peran penting untuk memastikan pengiriman barang atau layanan yang efisien dan tepat waktu. Namun, terdapat berbagai hambatan dalam transportasi

logistik di wilayah perkotaan, seperti kemacetan lalu lintas, keterbatasan infrastruktur, dan sulitnya mengakses beberapa area perkotaan. Hambatan ini memperlambat pergerakan barang dan mengganggu operasional sistem logistik secara keseluruhan. Pada tahun 2023, peringkat Indonesia dalam Logistics Performance Index (LPI) menurun signifikan dari posisi ke-45 menjadi ke-63 dari 139 negara. Penurunan terbesar terjadi pada Timeliness Score (Ketepatan Waktu Pengiriman), yang berkurang sebanyak 0,4 *point*.

Data dari TomTom Traffic Index 2023, meliputi data yang diambil dari 387 kota di 55 negara di dunia, Jakarta menduduki peringkat ke-30 termacet, dengan waktu tempuh rata-rata 23 menit 20 detik untuk jarak 10 kilometer. Hal ini berkorelasi dengan peningkatan jumlah kendaraan bermotor, seperti yang disampaikan oleh Badan Pusat Statistik (BPS) Jakarta, pada tahun 2022 tumbuh sebesar 17,21 persen, menjadi 17,30 juta kendaraan bermotor.

Pertumbuhan jumlah penduduk di kota Jakarta selaku Ibukota Indonesia terus meningkat. Peningkatan jumlah penduduk di Jakarta tidak terlepas dari pertumbuhan ekonomi dan sosial yang terjadi di Indonesia umumnya dan Jakarta khususnya yang merupakan pusat ekonomi di negeri ini. Pertumbuhan penduduk ini berdampak juga pada kondisi transportasi, karena mengakibatkan bertambahnya jumlah kendaraan bermotor di jalanan Jakarta. Peningkatan jumlah kendaraan, disamping terbatasnya penambahan panjang ruas jalan di Jakarta, menyebabkan tingkat kemacetan di Jakarta turut meningkat. Dalam jam sibuk, tingkat kemacetan di Jakarta menjadi sebuah tantangan dan hambatan dalam transportasi baik orang maupun barang. Tingkat kemacetan yang tinggi berakibat pada inefisiensi dari segi waktu dan biaya (sebagian besar karena konsumsi bahan bakar yang tinggi), disamping juga dampak negatif pada lingkungan akibat polusi udara yang dikeluarkan oleh kendaraan bermotor bakar. Distribusi logistik atau pengiriman barang di wilayah kota Jakarta seringkali mengalami keterlambatan yang diakibatkan oleh kendaraan logistik terjebak kemacetan. Tentunya keterlambatan pengiriman barang yang penting (*mission critical*), seperti labu darah untuk pasien rumah sakit, suku cadang atau perangkat untuk perawatan mesin di sebuah industri, misalnya, menjadi hal yang perlu diselesaikan. Sementara itu di bidang lain, dalam kaitannya dengan berkembangnya Jakarta sebagai kota pintar, seperti teknologi komunikasi dengan adanya jaringan 5G, serta teknologi wahana drone *open source*, dapat menjadi sebuah alternatif solusi untuk permasalahan tersebut. Wahana drone secara sukses dapat digunakan untuk mengirimkan paket berukuran kecil dan ringan, mengurangi dampak lingkungan dan sosial, sekaligus menghasilkan keuntungan untuk penyedia jasa logistik (Borghetti, et al., 2022).

Dalam mengatasi tantangan ini, perkembangan teknologi menghadirkan solusi revolusioner yaitu penggunaan drone dalam sistem logistik. Drone, pesawat nirawak yang dikendalikan dari jarak jauh dengan menggunakan komputer atau *remote control* oleh pilot atau mampu mengendalikan dirinya sendiri, yang bisa digunakan untuk membawa muatan (Indreswari, 2016). Kini drone telah dilengkapi dengan berbagai sensor, seperti GPS, kamera, sensor jarak sehingga dapat bermanuver di lingkungan yang kompleks. Integrasi *Internet of Things* (IoT) memungkinkan drone untuk terhubung dengan perangkat dan infrastruktur serta mengoptimalkan pengumpulan dan analisis data secara *real-time*.

Dengan mengembangkan sistem navigasi dan kontrol pada drone yang terintegrasi dengan IoT, dapat memungkinkan drone untuk mengakses informasi *real-time* tentang kondisi lalu lintas, cuaca, dan bahkan pemantauan lingkungan perkotaan. Hal ini memungkinkan drone untuk menentukan rute terbaik dalam menghindari kemacetan serta merespon secara dinamis terhadap perubahan kondisi di lapangan. Dengan demikian, melalui pengembangan sistem navigasi dan kontrol yang terintegrasi dengan IoT, drone dapat menjadi alat logistik yang lebih cerdas dan efisien, menjawab tantangan perkotaan dengan solusi yang revolusioner.

## STATE OF THE ART

Penggunaan drone otonom dalam sistem logistik kota pintar menawarkan solusi yang canggih dan efisien untuk mengatasi tantangan logistik perkotaan di Indonesia. Drone modern dilengkapi dengan teknologi LiDAR (Light Detection and Ranging), modul 5G, dan sistem pendaratan presisi. LiDAR memungkinkan drone untuk memetakan lingkungan sekitarnya dengan akurasi tinggi menggunakan laser untuk mengukur jarak dan membuat peta 3D. Hal ini memungkinkan drone menghindari rintangan dan terbang dengan aman di lingkungan yang kompleks seperti perkotaan yang padat dengan bangunan dan infrastruktur lainnya.

Modul 5G menyediakan komunikasi ultra cepat dengan latensi rendah dan bandwidth tinggi, memungkinkan drone untuk berkomunikasi secara real-time dengan pusat kontrol dan infrastruktur kota pintar. Ini memastikan monitoring kondisi operasional secara *live*, termasuk status baterai, kondisi cuaca, dan keamanan penerbangan, sehingga drone dapat dikendalikan dengan presisi tinggi dan merespons perubahan kondisi lingkungan dengan cepat. Penggunaan jaringan 5G memungkinkan drone dilengkapi kamera beresolusi tinggi yang dapat dipantau dari stasiun darat sehingga misi penerbangan drone dapat terus dipantau dengan baik. Selain itu, sistem pendaratan presisi menggunakan berbagai sensor dan teknologi visual untuk memastikan bahwa drone dapat mendarat dengan aman dan tepat, bahkan di ruang terbatas atau area yang sulit diakses.

Integrasi teknologi ini memberikan berbagai manfaat signifikan dalam operasi logistik. Pemanfaatan wahana drone berbasis *open source*, dilengkapi modul 5G, dan aplikasi responsif berbasis web untuk mengirimkan rencana terbang dan pemantauan dari stasiun darat (*ground station*), sebagai *point to point logistic drone* untuk pengiriman barang berukuran kecil dan ringan. Penggunaan drone mengurangi waktu pengiriman secara signifikan dibandingkan metode logistik konvensional dengan menghindari kemacetan lalu lintas dan menjangkau area yang sulit diakses oleh kendaraan darat. Ini juga membantu mengurangi kemacetan dan emisi karbon dengan mengurangi jumlah kendaraan logistik di jalan raya. Sistem ini dilengkapi dengan fitur keamanan canggih untuk melindungi barang yang dikirim serta memastikan kepatuhan terhadap regulasi penerbangan dan standar keselamatan. Dengan kemampuan monitoring dan kontrol real-time, risiko keterlambatan dan kerugian dapat diminimalkan, menjadikan teknologi ini sebagai pilar utama dalam evolusi logistik urban di masa depan.

## PEMBAHASAN

### Konsep dan Teori Dasar

Drone adalah istilah populer untuk wahana terbang nirawak yang sanggup terbang hingga beberapa kilometer untuk menjalankan misi tertentu, seperti pengintaian, pengiriman amunisi, survey jarak jauh, dan misi lainnya. Dalam beberapa tahun terakhir terjadi peningkatan dalam pengembangan drone yang ramah manusia dan dapat terbang secara otonomi. Peningkatan ini didukung oleh miniaturisasi dan pengurangan biaya komponen elektronik (prosesor, sensor, baterai, dan modul komunikasi nirkabel), yang sebagian besar didorong oleh industri perangkat elektronik portabel. Peningkatan ini memungkinkan pembuatan prototipe dan drone komersial berukuran kecil (biasanya kurang dari 1kg) dengan kisaran harga ponsel pintar (Floreano & Wood, 2015).

Dalam prakteknya, drone logistik digunakan dalam empat sektor (Moshref-Javadi & Winkenbach, 2021), meliputi:

1. Ritel dan e-commerce,
2. Layanan pos dan pengiriman paket,

3. Pengiriman makanan dan minuman,
4. Layanan kesehatan dan kedaruratan.

Sejak pengumuman terkenal pertama Amazon Prime mengembangkan armada drone untuk skala kecil pengiriman paket, beberapa perusahaan (DHL, Google, UPS, dan beberapa lainnya) telah mengembangkan teknologi lebih lanjut dan beradaptasi dengan berbagai peraturan untuk dapat membawa potensi drone ke bidang logistik perkotaan. Penting untuk disebutkan, bahwa dari kombinasi kemajuan teknologi dan ekonomi, masih menempatkan drone untuk pengiriman paket kecil dalam tahap validasi konsep. Sedangkan permohonan perdata lainnya, seperti layanan inspeksi atau pertanian, ditempatkan selangkah lebih maju (dalam pertumbuhan produk), dan fotografi/videografi sudah berada dalam fase pertumbuhan pasar. Dalam kasus Swiss, Kantor Penerbangan Sipil Federal (FOCA) telah bekerja selama bertahun-tahun untuk menawarkan kesempatan bagi drone untuk beroperasi dengan cara yang aman. Di lokasi lain, peraturan telah diadaptasi atau pengecualian khusus telah diberikan untuk memungkinkan pengujian dilakukan (Roca-Riu & Menendez, 2019).

Pengiriman barang atau logistik dalam kota terdiri dari berbagai konsep. Salah satu konsepnya adalah pengiriman dilakukan secara tiga tahap. Pada tahap satu, penyedia logistik mengirimkan barang ke pusat logistik di pinggiran kota. Tahap dua, pengiriman gabungan dilakukan dari pusat logistik ke terminal kota di dalam zona pengiriman. Tahap tiga, setelah konsolidasi mikro arus, pengiriman akhir ke pelanggan dilakukan dengan drone. Konsep logistik dalam kota yang menggabungkan berbagai model konsolidasi dan drone pada tahap akhir pengiriman dapat menjadi solusi yang berkelanjutan (Tadic, et al., 2022).

### Aplikasi dan Strategi Praktis

Sistem Drone Logistik Otonom merupakan sebuah aplikasi yang menggabungkan sistem manajemen, navigasi, dan kontrol berbasis IoT untuk mengoptimalkan drone dalam operasi logistik. Aplikasi ini dirancang untuk meningkatkan efisiensi dan ketepatan waktu pengiriman barang dengan memanfaatkan teknologi terkini. Salah satu fitur utama dari sistem ini adalah kemampuannya untuk menampilkan rute pengiriman tercepat berdasarkan titik tertentu menggunakan peta digital. Dengan demikian, operator dapat dengan mudah merencanakan dan mengatur rute pengiriman yang optimal untuk memenuhi kebutuhan logistik secara tepat waktu.

Tak hanya itu, kontrol pada drone dalam Sistem Drone Logistik Otonom dilengkapi dengan teknologi LiDAR dan precision landing. Teknologi LiDAR digunakan untuk memetakan lingkungan sekitar dengan akurasi tinggi menggunakan laser, sehingga drone dapat mengidentifikasi rintangan dan menghindarinya secara efektif selama perjalanan. Hal ini memastikan keamanan dan keandalan drone dalam mengatasi tantangan navigasi di lingkungan perkotaan yang kompleks, termasuk bangunan, pohon, dan kendaraan lainnya yang dapat menjadi hambatan.

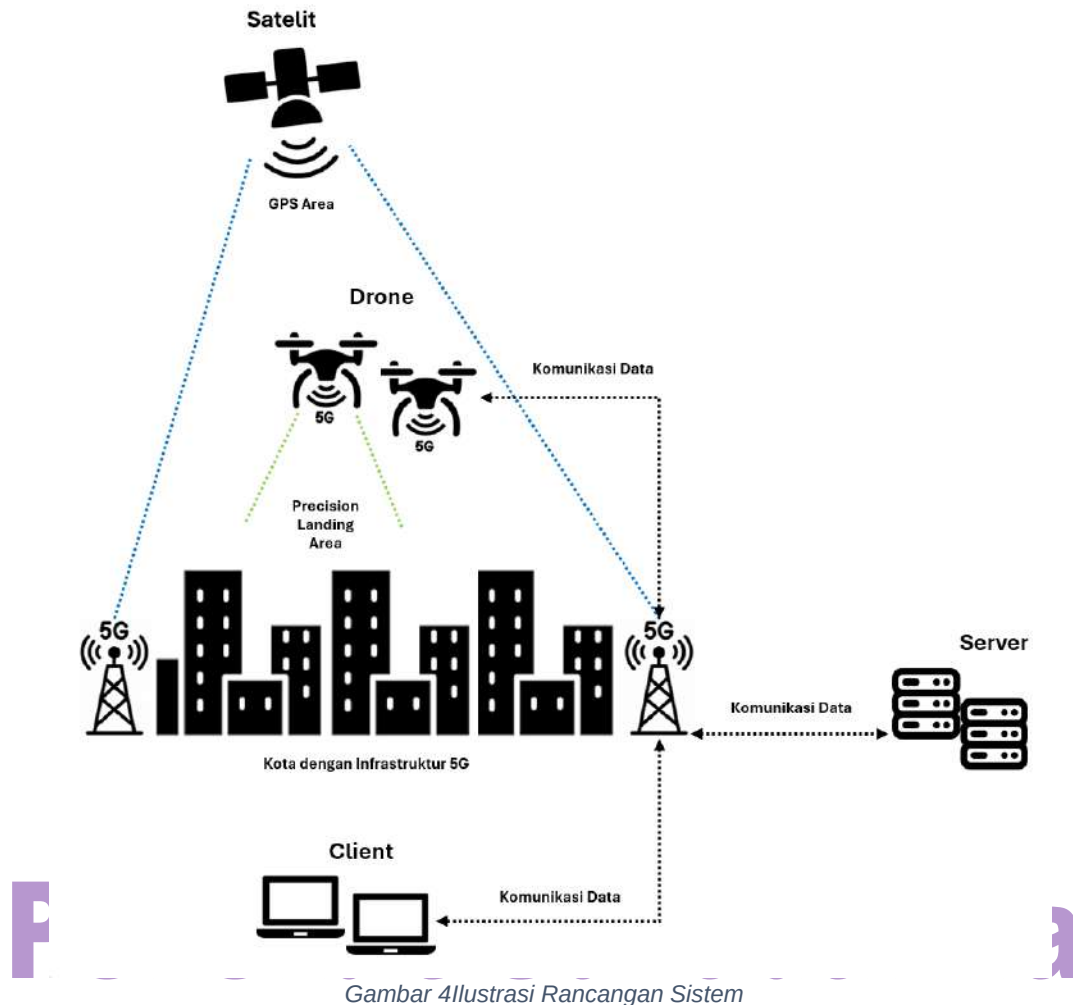
Selain itu, fitur *precision landing* memungkinkan drone untuk mendarat dengan akurasi yang tinggi di lokasi yang ditentukan dengan tepat. Teknologi ini menggunakan sensor dan algoritma khusus untuk memastikan bahwa drone dapat mendarat dengan aman dan stabil, bahkan dalam kondisi cuaca atau lingkungan yang tidak bersahabat. Dengan *precision landing*, drone dapat melakukan pengiriman barang dengan presisi yang tinggi, sehingga meminimalkan risiko kerusakan atau kehilangan saat proses pengiriman. Penggunaan kamera untuk mengenali lingkungan dan precision landing, memungkinkan kesuksesan pengiriman logistik perkotaan menggunakan wahana drone. Selain itu, kamera resolusi tinggi yang didukung jaringan 5G dapat memberikan kemudahan dalam pemantauan wahana drone dari jarak jauh.



Dalam pengembangan Otonom Drone Logistik, pendekatan metodologi yang digunakan adalah sistem prototipe. Metodologi ini merupakan bagian dari kumpulan pendekatan pengembangan aplikasi yang cepat (Rapid Application Development/RAD). Pendekatan sistem prototipe memungkinkan analisis, desain, dan implementasi sistem dilakukan secara simultan, menghasilkan versi awal yang sederhana dari sistem yang direncanakan untuk dievaluasi oleh pengguna. Pilihan menggunakan pendekatan sistem prototipe dipilih setelah melalui proses diskusi yang mendalam, termasuk perbandingan dengan metode lain seperti pemrograman ekstrim dan pendekatan prototipe sekali pakai. Pendekatan sistem prototipe dianggap paling sesuai untuk pengembangan Otonom Drone Logistik dengan alasan-alasan tertentu yang mendukung kebutuhan proyek.

1. Dalam tahap pengembangan Otonom Drone Logistik, kebutuhan dan gambaran awal sistem masih kurang jelas. Dengan menggunakan pendekatan prototipe, tim pengembang dapat dengan cepat membuat versi awal dari sistem untuk memberikan gambaran yang lebih jelas kepada pengguna dan mengumpulkan umpan balik untuk iterasi selanjutnya.
2. Pembangunan sistem menggunakan teknologi yang sudah dikenal dan dikuasai oleh pengembang. Dengan demikian, pendekatan ini memungkinkan pengembang untuk fokus pada pengembangan fitur-fitur baru dan inovatif tanpa harus mempelajari teknologi baru secara mendalam, sehingga mempercepat proses pengembangan.
3. Kompleksitas dalam hal teknologi dan permintaan penggunaan cukup sulit sehingga diperlukannya iteratif feedback dan percobaan secara berulang. Pendekatan sistem prototipe memungkinkan pengembang untuk secara fleksibel menyesuaikan fitur-fitur dan fungsionalitas sistem berdasarkan umpan balik yang diterima dari pengguna selama tahap pengembangan.

Penggunaan Otonom Drone Logistik dapat dilakukan melalui berbagai aplikasi dan strategi praktis. Salah satu aplikasi praktisnya adalah integrasi dengan penyedia jasa logistik lokal. Dengan menggunakan teknologi 5G, drone dapat melakukan pengiriman barang secara otomatis dan cepat antar lokasi dalam kota, mempercepat proses distribusi barang dan mengurangi kemacetan lalu lintas. Sistem ini didukung oleh teknologi navigasi dan kontrol yang canggih, serta sensor LiDAR yang dapat menjaga drone dari rintangan atau hambatan di sekitarnya. Hal ini memungkinkan drone untuk menghindari rintangan dengan presisi tinggi, sehingga mencapai tujuan dengan akurasi yang maksimal. Pemantauan dan pengendalian drone dapat diakses di mana saja dan kapanpun melalui platform logistik, sehingga memberikan informasi yang akurat mengenai status pengiriman dan keadaan sekitar secara real-time kepada penyedia jasa logistik dan pelanggan. Dengan menerapkan aplikasi dan strategi praktis ini, integrasi otonom drone logistik menggunakan modul 5G dan sensor Lidar dapat menjadi solusi yang inovatif dan efektif dalam meningkatkan efisiensi logistik dalam inisiatif kota pintar.



Gambar 4 Ilustrasi Rancangan Sistem

### Tantangan dan Potensi Hambatan

Tantangan dan potensi hambatan yang mungkin dihadapi dalam implementasi otonom drone logistik dalam kota perlu diperhatikan secara serius. Salah satu tantangannya adalah regulasi dan keamanan udara. Penggunaan drone dalam lingkungan perkotaan harus mematuhi berbagai peraturan dan regulasi penerbangan yang ada untuk menghindari tabrakan dengan pesawat udara lainnya atau bahaya bagi masyarakat. Selain itu, penting untuk memastikan keamanan data dan privasi dalam penggunaan teknologi 5G untuk pengiriman barang, mengingat sensitivitas informasi yang dikirim dan diterima melalui jaringan tersebut. Potensi hambatan lainnya adalah teknis, seperti ketahanan dan daya tahan drone dalam kondisi cuaca yang ekstrem atau lingkungan yang tidak terduga. Memastikan bahwa drone dapat beroperasi secara optimal dalam berbagai kondisi akan menjadi tantangan tersendiri. Dengan memperhatikan tantangan dan potensi hambatan ini, pihak terkait dapat mengembangkan solusi yang sesuai dan mengoptimalkan manfaat dari penggunaan otonom drone logistik dalam konteks kota pintar.

### Tren Masa Depan dan Perkembangan

Di masa depan, pengembangan sistem pengiriman barang menggunakan drone otonom dengan modul 5G sebagai solusi pintar logistik kota pintar akan semakin mengintegrasikan kecerdasan buatan (AI) bersama dengan *edge computing* dan algoritma jalur langsung. Pemanfaatan AI akan memungkinkan drone untuk mengambil keputusan yang lebih cerdas dan adaptif dalam proses pengiriman barang. AI dapat digunakan untuk menganalisis data yang dikumpulkan oleh drone secara *real-time*, seperti kondisi lalu lintas udara, cuaca, dan informasi lingkungan lainnya. Dengan demikian, drone dapat mengoptimalkan rutennya secara

dinamis, menghindari rute yang padat atau berbahaya, dan memilih jalur yang paling efisien berdasarkan kondisi saat ini. Selain itu, AI juga dapat digunakan untuk mengembangkan sistem pemandu virtual yang cerdas untuk pengguna. Sistem ini dapat memberikan informasi tambahan tentang status pengiriman, perkiraan waktu kedatangan, dan respon *real-time* terhadap pertanyaan atau permintaan pengguna. Selain itu, AI dapat memberikan rekomendasi personalisasi berdasarkan preferensi pengguna, seperti opsi pengiriman yang lebih cepat atau lebih hemat biaya.

Dengan mengintegrasikan AI bersama dengan *edge computing* dan algoritma jalur langsung, sistem pengiriman barang menggunakan drone otonom dengan modul 5G akan menjadi lebih efisien, adaptif, dan responsif terhadap kebutuhan logistik kota pintar di masa depan. Ini akan membawa kemajuan signifikan dalam pengiriman barang dan memberikan pengalaman pengguna yang lebih baik.

## KESIMPULAN

Pemanfaatan wahana nirawak drone yang diintegrasikan dengan LiDAR dan jaringan 5G untuk meningkatkan pengendalian dan pemantauan wahana dapat menjadi solusi sistem logistik perkotaan sebagai bagian dari sebuah kota pintar. Pemanfaatan ruang udara terbuka yang tersedia saat ini dapat meningkatkan efisiensi waktu dan biaya logistik perkotaan karena menghindari dan mengurangi tingkat kemacetan suatu kota. Penggunaan teknologi hijau, karena menggunakan energi ramah lingkungan juga mengurangi tingkat polusi yang disebabkan oleh kemacetan dan penggunaan wahana yang berbahan bakar fosil. Penggunaan wahana drone untuk logistik perkotaan dapat digunakan oleh penyedia layanan umum, maupun layanan privat di sebuah organisasi yang memiliki beberapa tempat di lokasi terpisah dalam suatu kota. Namun penggunaan sistem drone logistik ini perlu diatur oleh pemerintah karena memiliki risiko terhadap manusia jika terjadi kesalahan dalam operasionalnya.

## REKOMENDASI KEBIJAKAN (*POLICY BRIEF*)

Penggunaan drone di wilayah perkotaan memiliki risiko yang signifikan terkait keselamatan orang dan komponen lainnya. Oleh karena itu, diperlukan regulasi yang ketat untuk produk drone logistik dan operasionalnya di wilayah Jakarta. Regulasi ini harus mencakup ukuran drone, kelayakan terbang, lokasi terbang, rute terbang, dan operator penyedia layanan, karena semua ini memiliki risiko potensial yang dapat membahayakan manusia. Drone berukuran lebih kecil dengan kecepatan operasi yang lebih rendah relatif lebih aman.

Selain itu, jangkauan dan penyebaran infrastruktur jaringan 5G sangat diperlukan untuk operasional dan pemantauan drone logistik. Mengingat risiko kecelakaan yang dapat ditimbulkan, pemantauan yang baik menjadi faktor penting. Jakarta perlu memperluas infrastruktur jaringan 5G sebelum mengimplementasikan drone logistik sebagai bagian dari inisiatif kota pintar yang direncanakan.

Pemerintah pusat dan daerah sebagai regulator perlu mempersiapkan regulasi terkait operasional drone logistik. Regulasi ini harus mencakup:

- Spesifikasi, ukuran, kecepatan, dan sertifikasi drone logistik.
- Faktor keselamatan yang harus dipenuhi oleh drone logistik.
- Wilayah terbang/operasional drone logistik.
- Standarisasi operator yang berhak mengoperasikan layanan drone logistik.

Berikut adalah langkah-langkah yang perlu dilakukan dalam implementasi drone logistik berdasarkan regulasi yang ada:

- Menambahkan *fail-safe design* untuk memastikan keselamatan manusia dan lingkungan ketika terjadi kegagalan operasional.
- Melakukan tahap pengujian, termasuk pengujian faktor keselamatan yang ditetapkan regulator.
- Mengikuti sertifikasi sesuai standar regulator.
- Memproduksi perangkat drone logistik untuk operasional.
- *Maintenance & services*.

Dengan regulasi dan langkah-langkah ini, implementasi drone logistik di Jakarta dapat dilakukan secara aman dan efisien.

## DAFTAR PUSTAKA

- Borghetti, F., Caballini, C., Carboni, A., Grossato, G., Maja, R., Barabino, B. The Use of Drones for Last-Mile Delivery: A Numerical Case Study in Milan, Italy. (2022). <https://doi.org/10.3390/su14031766>.
- Badan Pusat Statistik (BPS) DKI Jakarta, 2023. Statistik Daerah Provinsi DKI Jakarta 2023.
- Badan Pusat Statistik (BPS) 2020, Persentase Penduduk Daerah Perkotaan Hasil Proyeksi Penduduk menurut Provinsi Tahun 2015–2035. URL : <https://www.bps.go.id/id/statistics-table/1/MTI3NiMx/persentase-penduduk-daerah-perkotaan-hasil-proyeksi-penduduk-menurut-provinsi--2015---2035.html>
- Dennis, A., Wixom, B. H., & Roth, R. M. 2019. Systems Analysis and Design (Seventh Edition). Wiley.
- Dennis, A., Wixom, B. H., & Tegarden, D. 2021. Systems Analysis & Design an Object-Oriented Approach with UML (Sixth Edition). Wiley.
- Despa, M. L. 2014. Comparative study on software development methodology. Database Systems Journal, 5(3).
- Floreano, D., Wood, R. Science, technology and the future of small autonomous drones. Nature 521, 460–466 (2015). <https://doi.org/10.1038/nature14542>.
- Garg, T., Gupta, S., Obaidat, M.S. *et al.* Drones as a service (DaaS) for 5G networks and blockchain-assisted IoT-based smart city infrastructure. *Cluster Comput* (2024). <https://doi.org/10.1007/s10586-024-04354-1>
- Habiba, A. F. C., & Prasetyia, F. (2022). Analisis Pengaruh Penerapan E-commerce Terhadap Pendapatan UMKM di Masa Pandemi (Studi Kasus Sektor Kuliner di Kota Malang). *Journal of Development Economic and Social Studies*, 1(3), 408-420.
- Hidayati, I. (2021). Urbanisasi dan Dampak Sosial di Kota Besar: Sebuah Tinjauan. *Jurnal Ilmiah Ilmu Sosial*, 7(2), 212-221.
- Indreswari, S. 2016, Peran drone/unmanned aerial vehicle (UAV) buatan STTKD dalam Dunia Penerbangan. URL : [https://www.researchgate.net/publication/343552688\\_Peran\\_Drone\\_Unmanned\\_Aerial\\_Vehicle\\_UAV\\_Buatan\\_STTKD\\_dalam\\_Dunia\\_Penerbangan](https://www.researchgate.net/publication/343552688_Peran_Drone_Unmanned_Aerial_Vehicle_UAV_Buatan_STTKD_dalam_Dunia_Penerbangan) .
- Moshref-Javadi, MM., Winkenbach, M. Applications and Research avenues for drone-based models in logistics: A classification and review, Expert Systems with Applications, Volume 177, 2021, 114854, ISSN 0957-4174, <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2021.114854> .
- Pahlevi, R., Nahry, N., Sutanto, S. Logistics Distribution System Planning Using Drone Case Study In Jakarta. International Journal of Technology Management and Information System, [S.l.], v. 4, n. 2, p. 1-12, june 2022. ISSN 2710-6268
- Roca-Riu, M., Menendez, M. Logistic deliveries with drones State of the art of practice and research. (2019). <https://doi.org/10.3929/ethz-b-000342823>.

- Siahaya, W. 2012, Manajemen Pengadaan = Procurement Management, ALFABETA, Indonesia.
- Tadić, S., Kovač, M. i Čokorilo, O. (2021). The Application of Drones in City Logistics Concepts. *Promet - Traffic&Transportation*, 33 (3), 451-462.  
<https://doi.org/10.7307/ptt.v33i3.3721>
- TomTom[Internet]. 2023. TOMTOM TRAFFIC INDEX Ranking 2023; Available from: <https://www.tomtom.com/traffic-index/ranking/>

# Penerbit Gunadarma



## STRATEGI PENURUNAN BEBAN BIAYA LISTRIK SEKTOR PENDIDIKAN MELALUI IMPLEMENTASI PROGRAM MANAJEMEN ENERGI SEKOLAH (MES) BERKELANJUTAN

Reza Abdu Rahman <sup>1\*</sup>, Adi Wahyu Pribadi <sup>2</sup>, Aulia Keiko Hubbansyah <sup>3</sup>

<sup>1</sup> Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Pancasila, DKI Jakarta, 12640, Indonesia

<sup>2</sup> Jurusan Teknik Informatika, Fakultas Teknik, Universitas Pancasila, DKI Jakarta, 12640, Indonesia

<sup>3</sup> Jurusan Manajemen, Fakultas Ekonomi dan Bisnis, Universitas Pancasila, DKI Jakarta, 12640, Indonesia

\*Penulis Koresponden, e-mail: [reza.a@univpancasila.ac.id](mailto:reza.a@univpancasila.ac.id)

### ABSTRAK

Beban biaya listrik (BBL) merupakan biaya pokok operasional sekolah yang jarang diperhatikan terkait dengan efektivitas penggunaannya. Manajemen energi sekolah (MES) mutlak diperlukan untuk menurunkan BBL serta menjamin keefektifan pemakaian energi. Tingkat infrastruktur energi pada bangunan sekolah di lingkungan provinsi DKI Jakarta sudah optimal, sehingga penekanan manajemen energi difokuskan pada sektor manusia untuk membangun budaya sadar energi yang diperkuat dengan teknologi sederhana berbasis *narrow reactive machine artificial intelligence* (NRM-AI) sebagai intervensi lanjutan pada program MES. Penekanan utama dari keseluruhan proses ini ditujukan pada manusia bukan pada alat bantu. Dengan demikian, keseluruhan biaya proses dapat dibuat menjadi lebih sederhana tanpa menuntut adanya kebergantungan yang tinggi pada perlengkapan manajemen dan penambahan infrastruktur yang kompleks. Sebagai *pilot project*, program MES dapat difokuskan untuk jenjang sekolah dasar di bawah Pemerintah Provinsi DKI Jakarta yang berjumlah 1.305. Pendataan awal merupakan aspek paling penting dari program MES dengan harapan untuk melihat pola dan audit konsumsi untuk menghilangkan potensi dari penyalahgunaan konsumsi listrik di sekolah yang tidak sesuai peruntukannya. Buku ini memberikan gambaran yang komprehensif mulai dari tahap persiapan, pemetaan energi pada bangunan sekolah, program jangka pendek dan panjang untuk menjamin keberlanjutan dan kebermanfaatan program. Potensi penghematan diharapkan dapat mencapai 15%/tahun untuk tiap bangunan sekolah dasar. Biaya energi yang dihemat dapat kemudian digunakan untuk penerapan sumber energi bersih (seperti panel surya) yang mana sejalan dengan program pemerintah pusat untuk transisi energi bersih. Penerapan metode yang ditawarkan dapat dijadikan sebagai contoh ideal untuk proses pengimbasan pada seluruh bangunan sekolah dasar di lingkungan provinsi DKI Jakarta, yang kemudian dapat dikembangkan pada jenjang yang lebih tinggi dan juga bangunan pemerintahan lainnya. Lebih lanjut, program ini diharapkan menjadi *role model* ideal untuk pembentukan kebijakan nasional terkait dengan manajemen energi listrik pada sektor pendidikan khususnya dan mendukung sepenuhnya terkait dengan target *net zero emission* pada tahun 2060.

Kata Kunci: Manajemen energi, audit, *net zero emission*, transisi energi, pengimbasan

### PENDAHULUAN

Manajemen energi listrik di sektor bangunan sekolah sangat sedikit diperhatikan oleh pemangku kebijakan dan pengambil keputusan. Pernyataan tersebut dapat dibuktikan dengan pertanyaan berikut:



1. Dari total biaya listrik yang dibayarkan sekolah ke penyedia tenaga listrik, adakah audit terkait pemakaian tersebut?
2. Adakah perhitungan biaya listrik/kapita tiap warga sekolah?
3. Adakah batas atas biaya pemakaian listrik untuk sekolah pada tiap bulan?
4. Adakah asesmen efektivitas pemakaian energi listrik di bangunan sekolah?

Mengacu kepada data di dapodik, total sekolah (jenjang Taman Kanak sampai Sekolah Luar Biasa) di wilayah DKI Jakarta mencapai 8.856 Sekolah, dengan proporsi 22,67% berstatus sekolah Negeri (2.007 unit) dan 77,33% berstatus sekolah Swasta (6.849)<sup>1</sup>. Manajemen energi listrik yang optimal tentunya akan memberikan dampak positif bagi seluruh pihak, terkhusus untuk Pemerintah Provinsi (Pemprov) DKI Jakarta dan juga masyarakat luas. Kita dapat belajar contoh program sistematis yang dilakukan melalui program Educa–RUE (*Rational Use of Energy*) di wilayah Eropa dengan satu tujuan spesifik yakni meningkatkan efisiensi energi pada sektor bangunan (Desideri, Leonardi, Arcioni, & Sdringola, 2012).

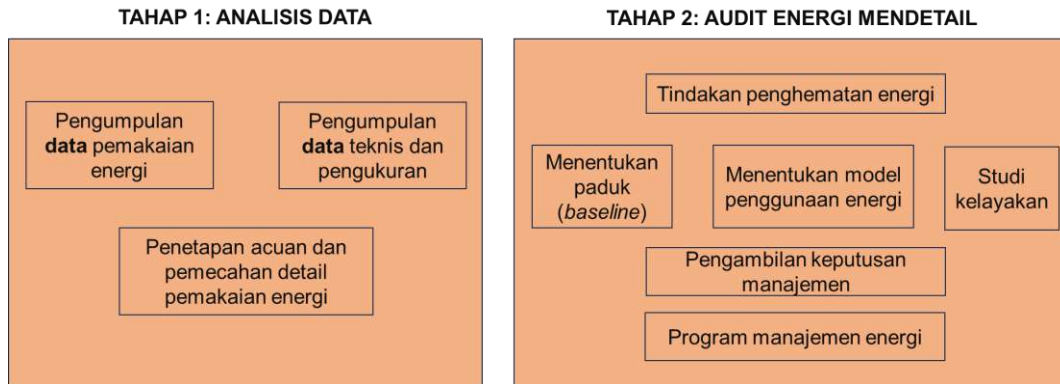
Program Educa–RUE yang dilakukan antara tahun 2008–2010 merupakan tindak lanjut dari Program besar yang dicetuskan pada tahun 1997 oleh *International Energy Agency* (IEA) (Erhorn et al., 2008). Keseluruhan tujuan tersebut mengarah kepada target besar untuk meningkatkan efisiensi penggunaan energi pada sektor bangunan, lebih spesifik lagi pada sektor bangunan pendidikan. Penetapan target pada sektor bangunan pendidikan dikarenakan kemudahan dalam memprediksi pola penggunaan energi, jumlah populasi dan juga kategori beban. Permasalahan yang dihadapi pada waktu tersebut adalah penerapan manajemen energi jarang dilakukan dan kurang dianggap penting. Penyebab utamanya adalah kurangnya pengetahuan dan pemahaman dari pemangku kepentingan dan pengambil keputusan terkait tindakan manajemen energi tersebut (Uzair & Ali Abbas Kazmi, 2023).

Pola permasalahan yang telah terjadi lebih dari 20 Tahun silam di wilayah Eropa dapat dijadikan refleksi untuk segera memulai proses manajemen energi di lingkungan sekolah. Permasalahan tersebut yang melandasi tiga pertanyaan di awal pembukaan pada bagian buku ini. Kami melihat sekolah di bawah Pemprov DKI Jakarta sangat ideal untuk dijadikan *role model* dari program manajemen energi sekolah (MES) terstruktur dan berkelanjutan, dengan pertimbangan:

1. Ketersediaan data pokok (jumlah siswa, guru, luas bangunan, dll) yang sangat baik di bawah pengelolaan Dinas Pendidikan Pemprov DKI Jakarta dan juga data di tingkat pusat;
2. Akses dan infrastruktur energi yang sudah baik untuk bangunan sekolah di wilayah DKI Jakarta;
3. Pelaporan penggunaan anggaran operasional sekolah yang sudah terintegrasi sehingga dapat dengan mudah untuk melakukan pemantauan berkelanjutan.

Keunggulan tersebut memberikan banyak kemudahan dalam proses inisiasi program MES di lingkungan Pemprov DKI Jakarta. Kesuksesan penerapan program MES di tingkat Provinsi DKI Jakarta diharapkan dapat dijadikan rujukan untuk penerapan program skala besar secara nasional. Hal ini sejalan dengan program pemerintah pusat untuk mencapai *Target Net Zero Emission* di Tahun 2060 yang tentunya perlu didukung oleh semua elemen pemerintahan (Pemerintah Provinsi dan Pemerintah Daerah), masyarakat, akademisi dan industri.

<sup>1</sup> Sumber: <https://dapodik.kemdikbud.go.id/sp/1/010000> (diakses pada Minggu, 12 Mei 2024)



**Gambar 5.** Metodologi pengumpulan dan analisis data untuk inisiasi program MES

Arah spesifik program MES yang dibahas pada bagian buku ini ditujukan untuk level Sekolah Dasar Negeri (SDN) yang berjumlah 1.305 Sekolah di bawah Pemprov DKI Jakarta<sup>2</sup>. Pemilihan sekolah dasar didasari pada pertimbangan proses audit energi yang lebih mudah dikarenakan: Intervensi pengguna dari peserta didik lebih kecil, sehingga proses pemetaan pola pemakaian energi menjadi lebih mudah.

Karakteristik beban listrik yang lebih seragam dikarenakan tidak adanya perlengkapan laboratorium yang kompleks seperti di tingkat pendidikan menengah atas/kejuruan.

Inisiasi program MES diarahkan berdasarkan pedoman DOE/CS/69105—5 yang dengan jelas menyatakan program MES harus dilakukan dengan **penganggaran seminim mungkin** (America, 1989). Panduan tersebut kemudian diturunkan menjadi langkah spesifik seperti disajikan pada Gambar 1 (AlFaris, Juaidi, & Manzano-Agugliaro, 2016).

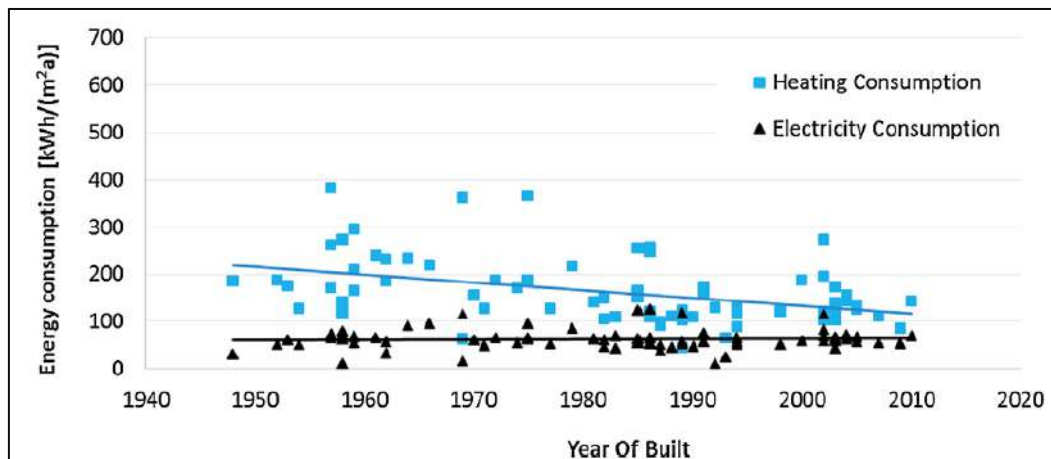
Program MES akan selalu dimulai dengan pengambilan data (Tahap 1 pada Gambar 1). Hal ini merupakan pokok paling penting sebelum sampai ke tahap berikutnya yang akan banyak melibatkan komponen lebih detail, termasuk peluang penerapan *narrow reactive machine artificial intelligence* (NRM-AI) sebagai alat bantu manajemen energi (Thu, Nong, Simshauser, & Hoang, 2024). Data pemakaian energi akan dapat dengan mudah dikumpulkan berdasarkan laporan biaya pengeluaran listrik (baik dalam satuan Rupiah maupun kWh), kemudian data jumlah warga sekolah dapat dengan mudah diperoleh berdasarkan laporan kehadiran siswa, kehadiran guru dan tenaga kependidikan serta tamu. Keseluruhan data tersebut akan digunakan untuk proses penetapan paduk (*baseline*). Anggaran yang dapat dihemat kemudian dapat dipertimbangkan untuk investasi pada penerapan energi bersih seperti panel surya di bangunan sekolah, yang pada akhirnya akan memberikan dampak positif yang lebih luas, baik secara regional maupun nasional. Pokok ide tersebut yang akan kami bahas secara khusus pada bagian buku ini.

## STATE OF THE ART

Banyak Negara yang memperhatikan terkait dengan efisiensi pemanfaatan energi di bangunan sekolah seperti contoh studi kasus yang dilakukan oleh T. Sekki dkk. di Finlandia (Sekki, Airaksinen, & Saari, 2015). Faktor utama yang mendorong kegiatan tersebut adalah regulasi yang semakin ketat terkait permintaan efisiensi energi. Kepemilikan data yang baik memberikan

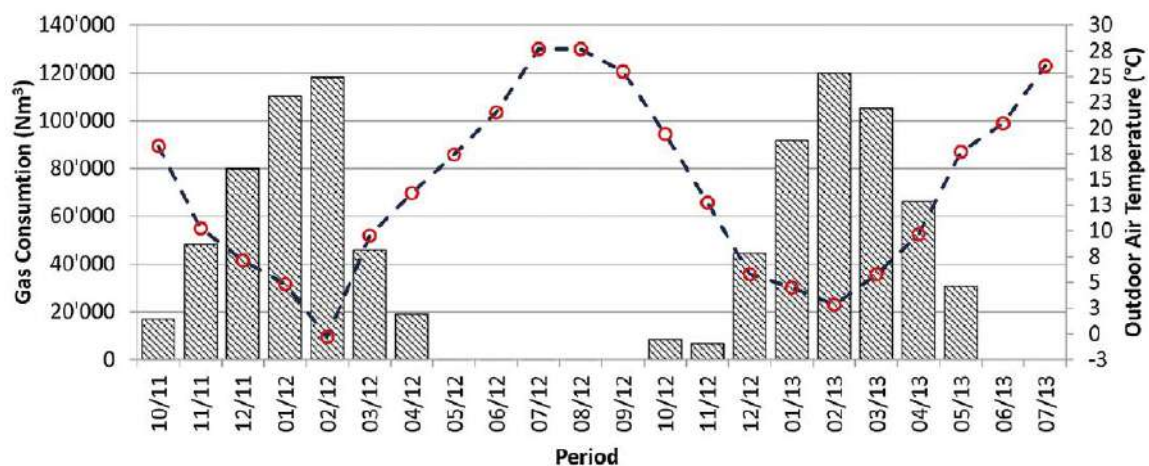
<sup>2</sup> Sumber: <https://dapo.kemdikbud.go.id/sp/1/010000> (diakses pada Minggu, 12 Mei 2024)

nilai perbandingan yang lebih spesifik di mana terdapat data primer terkait tagihan listrik yang digunakan antara tahun 1981 – 2000 dan pengumpulan data spesifik di tahun 2012. Model konsumsi harian juga dilaporkan secara otomatis berdasarkan database sistem di sana. Data yang terkumpul dengan baik dapat dengan mudah dipetakan seperti contoh Gambar 2.



**Gambar 6.** Konsumsi energi listrik dan pemanas pada sekolah responden di Kota Espoo, Finlandia (Sekki et al., 2015)

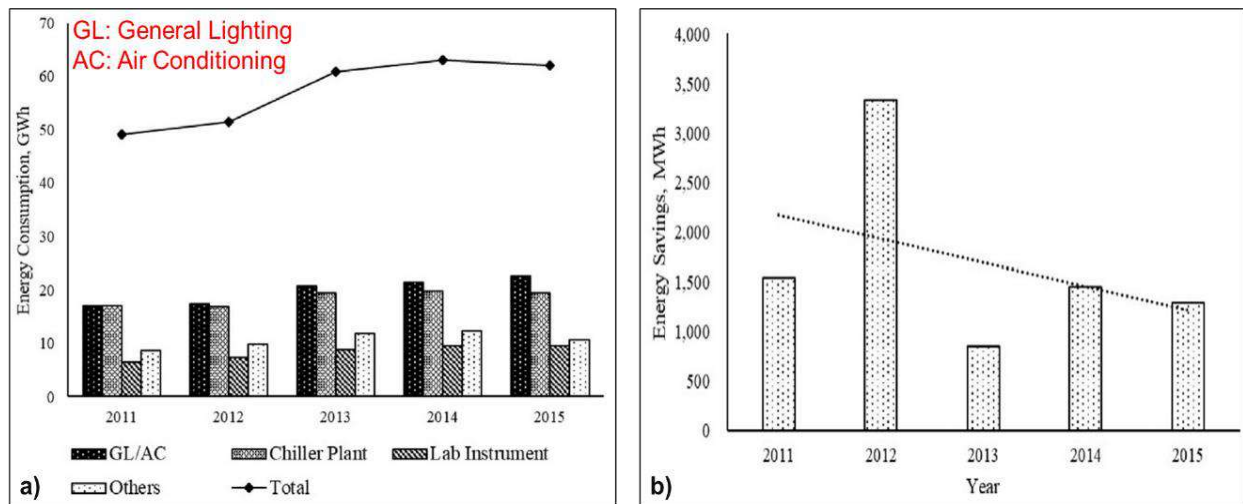
Penguatan aspek regulasi menuntut bangunan sekolah untuk memperbaiki pola konsumsi energi. G. Semprini dkk melakukan studi terkait manajemen energi di bangunan dan institusi pendidikan di Bologna, Italia (Semprini et al., 2016). Tindakan tersebut merupakan langkah spesifik untuk mencapai target *European Directive* 2010/31. Studi dilakukan secara ekstensif antara Tahun 2011–2013 dengan memperhatikan aspek konsumsi gas dan juga korelasinya dengan suhu udara sekitar. Pengumpulan data yang baik memperlihatkan pola penggunaan yang jelas terkait hubungan konsumsi gas untuk pemanasan dan kondisi udara sekitar (Gambar 3).



**Gambar 7.** Pola konsumsi gas untuk pemanas dengan suhu udara sekitar pada bangunan sekolah di Bologna, Italia (Semprini et al., 2016)

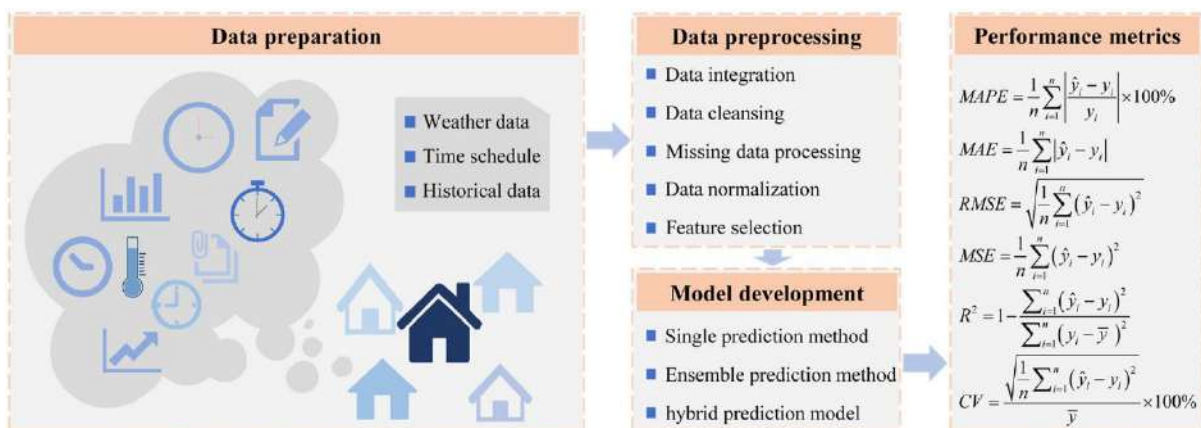
Pendataan konsumsi energi listrik yang baik akan memberikan tolok ukur yang spesifik terkait dengan target dan capaian dari program MES. J. Yeo dkk memberikan estimasi yang spesifik berdasarkan aspek penguatan data pola konsumsi energi pada sektor bangunan sekolah di Hong Kong (Yeo, Wang, An, & Zhang, 2019). Gambar 4a menunjukkan data awal pemakaian

energi akhir di sisi pengguna. Penerapan manajemen energi yang dilakukan mampu memberikan penghematan tahunan sebagaimana diperlihatkan pada Gambar 4b.



**Gambar 8.** a) Konsumsi energi pada sisi pengguna, dan b) Penghematan energi tahunan pada sektor terkait (Yeo et al., 2019)

Pengumpulan data yang detail dapat memberikan arah perbaikan pola yang lebih optimal. Metode ini yang dijadikan landasan oleh W. Cao dkk untuk memprediksi pola konsumsi energi di bangunan sekolah (Cao et al., 2023). Proses prediksi yang diperlihatkan pada Gambar 5 menunjukkan dua kegiatan awal yang dilakukan fokus pada aspek pengumpulan dan pengelolaan data. Hal ini sejalan dengan aspek penting dari fungsi MES (Gambar 1) pada Tahap 1 dengan kegiatan utama sebatas pada pengumpulan data. Detail data tersebut kemudian dijadikan basis dalam penentuan pola konsumsi, strategi optimasi dan pemantauan berkala untuk pertimbangan audit energi (dan keuangan) terkait dengan beban biaya listrik sekolah.

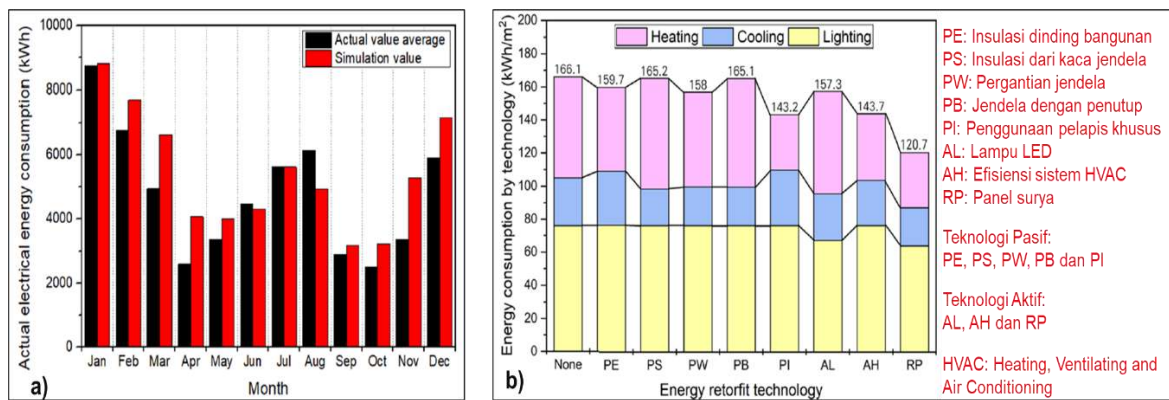


**Gambar 9.** Metode prediksi konsumsi energi listrik bangunan (Cao et al., 2023)

Pemodelan lanjutan berdasarkan landasan data yang sangat detail memungkinkan opsi penerapan teknologi yang lebih sesuai untuk mendukung perbaikan pola pemakaian. H. Park dkk melakukan perbandingan konsumsi energi berdasarkan data aktual dan simulasi (Gambar 6a) (Park, Park, Kim, & Chang, 2024). Data ini kemudian dijadikan landasan dalam penentuan ragam teknologi untuk penghematan pola konsumsi. Gambar 6b menunjukkan opsi ragam teknologi yang mungkin diterapkan, baik secara pasif dan aktif. Terlihat bahwa masing-masing model berkontribusi pada penurunan konsumsi energi yang berarti ada peluang penghematan

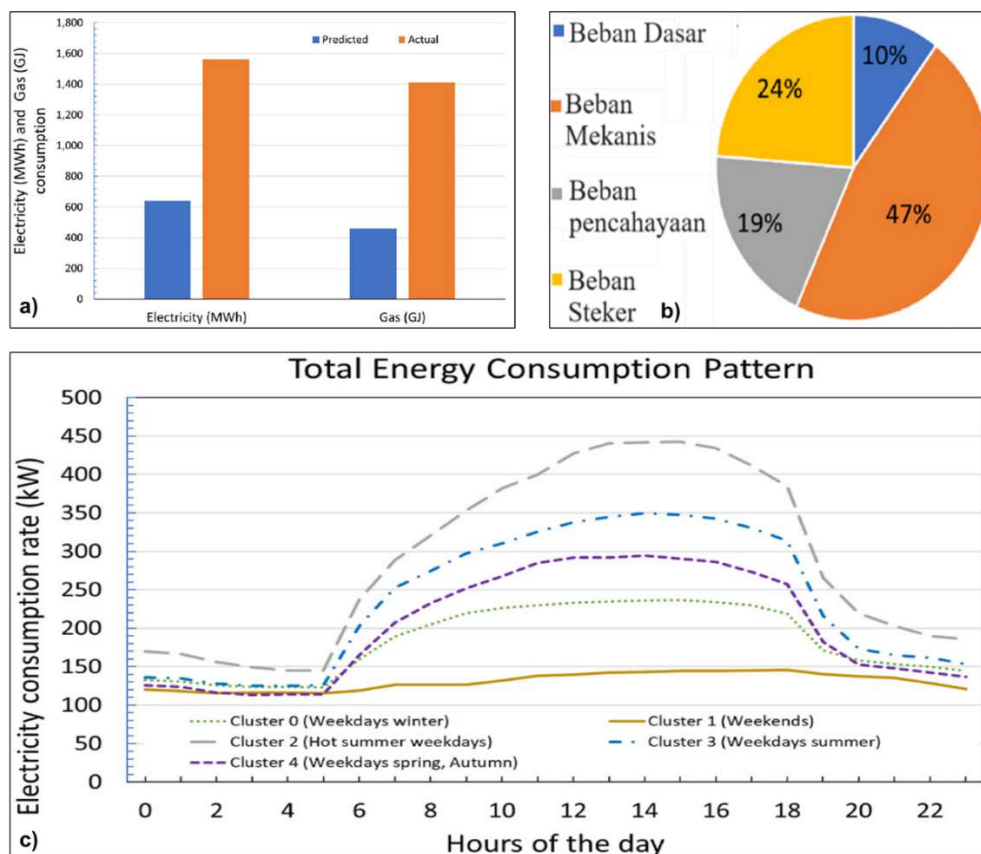


tinggi dari tingkat pemakaian energi bangunan sekolah.



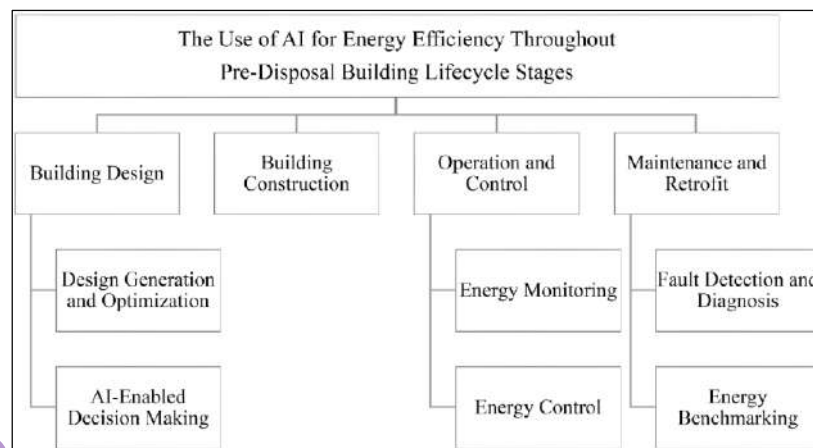
**Gambar 10.** a) Analisis perbandingan konsumsi energi bangunan (simulasi dan aktual), dan b) Konsumsi dan rerata penghematan energi dengan berbagai model teknologi (Park et al., 2024)

Pentingnya pengumpulan data untuk program MES akan membawa dampak langsung pada aspek penghematan dan arah kebijakan. M. Alam dan M.R. Devjani menggunakan prinsip *data mining* untuk pengumpulan data pada program MES di Australia (Alam & Devjani, 2021). Proses *data mining* yang dilakukan terdiri dari pengumpulan data, *pre-processing*, analisis dan interpretasi data. Hasil yang sangat detail diperlihatkan mulai dari jumlah konsumsi energi (Gambar 7a) yang dapat dibandingkan antara model prediksi dan aktual. Selanjutnya, pemetaan beban konsumsi secara detail yang terbagi ke dalam empat kategori beban (Gambar 7b). Hasil akhirnya adalah pola pemakaian energi pada tiap kondisi (Gambar 7c). Keseluruhan hasil ini akan memberikan arah kebijakan spesifik untuk proses MES dan juga pemantauan pemakaian anggaran energi di tingkat sekolah.



**Gambar 11.** a) Perolehan data konsumsi energi, b) Pembagian beban konsumsi energi, dan c) Pola pemakaian energi (Alam & Devjani, 2021)

Kemajuan teknologi memungkinkan integrasi yang lebih baik berdasarkan data yang diperoleh melalui *data mining* dan pembentukan struktur hirarki manajemen. R.O. Yussuf dan O.S. Asfour menyajikan diagram penerapan *artificial intelligence* (AI) dalam proses peningkatan efisiensi pemakaian energi di sektor bangunan. Gambar 8 memberikan pembagian dengan jelas sehingga arah spesifik penerapan AI dapat ditunjukkan untuk kondisi bangunan yang sudah ada (*existing*) dengan tujuan operasi dan kendali yang selanjutnya diarahkan untuk aspek perbaikan dan penambahan teknologi (*retrofit*). Seluruh aspek saling terintegrasi sehingga tujuan spesifik dapat dengan mudah dirumuskan oleh pemangku kebijakan dan pengambil keputusan terkait dengan program MES.



**Gambar 12.** Penerapan *artificial intelligence* (AI) pada proses optimasi konsumsi energi listrik sektor bangunan (Yussuf & Asfour, 2024)

Alur berpikir program MES dibuat secara sistematis yang dimulai dari pengumpulan data, analisis, penerapan manajemen cerdas dengan alat bantu AI. Kondisi di DKI Jakarta pada prinsipnya sangat ideal karena iklim tropis membuat konsumsi energi pemanasan tidak ada. Konsumsi energi untuk pemanas ruangan berkontribusi tinggi pada banyak bangunan di iklim dingin (Barbhuiya & Barbhuiya, 2013). Perbaikan pola pemakaian energi melalui penerapan MES secara tidak langsung akan menurunkan konsentrasi CO<sub>2</sub> yang pada akhirnya akan membawa dampak baik untuk kesehatan dan tumbuh kembang peserta didik (Franco & Leccese, 2020). Hal ini juga sejalan dengan tujuan pembangunan berkelanjutan (SDGs) pada bidang energi (Zhang et al., 2024) dan ekonomi-energi (Liao, Xiao, Li, Zhang, & Peng, 2024). Dengan demikian, penerapan MES pada jangka panjang akan memberikan kontribusi positif meliputi aspek kesehatan (SDGs–3), pendidikan (SDGs–4), energi bersih (SDGs–7), pertumbuhan ekonomi (SDGs–8), infrastruktur kota yang berkelanjutan (SDGs–11), dan pola konsumsi yang bertanggung jawab (SDGs–12).

Pengembangan lanjutan dari program MES dilakukan dengan berbagai strategi berkelanjutan. Beberapa strategi sebagai tindak lanjut program meliputi:

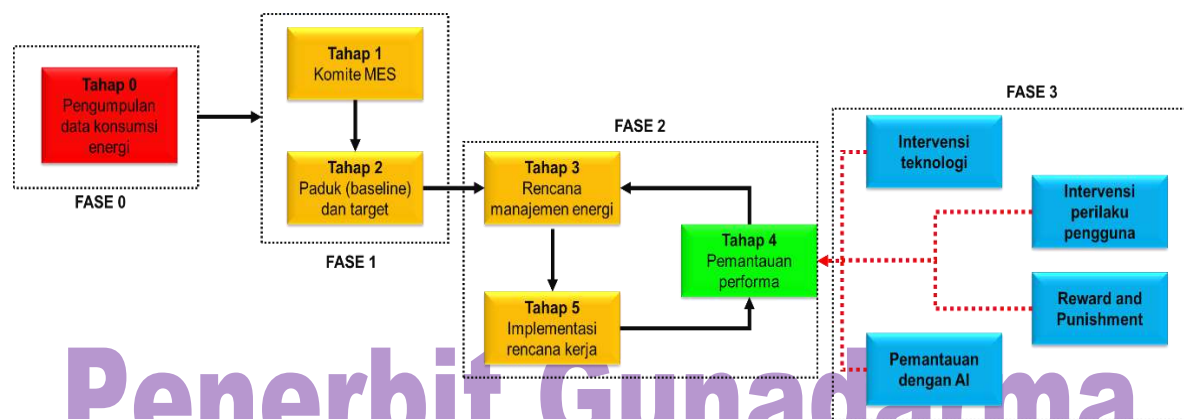
1. Membangun kesadaran di instansi pendidikan dengan target akhir perubahan perilaku dari warga sekolah.
2. Pengaturan beban konsumsi energi (khususnya untuk pendinginan) dengan menyesuaikan jadwal kelas dan memperhatikan aspek okupansi kelas.
3. Analisis hubungan antara kebijakan (*policy*) energi dan sekolah yang cenderung tidak terlihat memiliki dampak besar pada konsumsi dan penggunaan anggaran terkait



energi yang tidak terkendali, sehingga penting untuk memberikan batasan dan kebijakan strategis untuk memperhatikan aspek konsumsi energi di tingkat pendidikan.

4. Penguatan efisiensi pemakaian energi dari data asesmen energi tiap jam sebagai bentuk laporan untuk analisis berpotensi digunakan untuk memberikan intervensi tindakan pasif pada pola pemakaian yang sesuai di bangunan sekolah.
5. Terakhir, integrasi beban pendinginan di bangunan sekolah diatur secara sistematis dengan sistem *cloud* berdasarkan prinsip model kendali prediktif yang melibatkan NRM-AI.

Rangkuman strategi tersebut mengindikasikan dengan kuat bahwa program MES merupakan hal penting yang mutlak harus dilakukan guna menghadirkan fungsi pemakaian energi dan juga efisiensi anggaran yang baik. Lebih lanjut, strategi tersebut merupakan implementasi lanjutan dari keseluruhan kegiatan jangka panjang pada program MES yang tentunya melibatkan banyak pemangku kepentingan dan juga pengambil keputusan.



**Gambar 13.** Tahapan implementasi berkelanjutan untuk program MES

Paparan dari ragam studi yang telah dilakukan dapat dirumuskan secara spesifik untuk memberikan arah program MES yang lebih jelas. Pola ini kami sajikan pada Gambar 9 sebagai petunjuk dasar untuk penerapan MES. Sebagai tambahan, tahapan ini kami rumuskan sebagai tindak lanjut pada acuan pertimbangan dan standar pola manajemen energi (Mischos, Dalagdi, & Vrakas, 2023) serta tren fungsi pemantauan dan pengembangan berkelanjutan pada Fase 3. Kegiatan MES melibatkan banyak personel dan juga program jangka panjang, sehingga aspek perencanaan akan menjadi penting untuk ditentukan oleh pemangku kebijakan dan pengambil keputusan terkait dengan program ini.

## PEMBAHASAN

### Fase 0 – Pengumpulan Data Konsumsi Energi

Mengacu kepada Gambar 9 terkait tahap implementasi program MES, fase 0 fokus pada aspek pengumpulan data. Pengumpulan data yang dilakukan harus dibuat sesederhana mungkin tanpa menimbulkan biaya tambahan selama proses ini, dengan informasi dasar meliputi:

1. Tanggal dan hari pencatatan (misalnya Selasa, 02 Januari 2025).
2. Catatan kWh meter dari meteran listrik sekolah saat pengisian data dilakukan.
3. Total konsumsi energi (merupakan selisih kWh meter hari sekarang dengan hari sebelumnya).
4. Catatan khusus yang relevan dengan kondisi kegiatan sekolah seperti:
  - Kegiatan belajar mengajar (KBM) normal
  - Hari libur
  - Ada kegiatan KBM dan acara tertentu

- Pekan ujian

Pada bagian akhir catatan, total konsumsi dapat dengan mudah diperoleh berdasarkan jumlah total kolom 4. Pencatatan dilakukan tiap akhir waktu (misalnya pukul 16:00) untuk memberikan acuan konsumsi di hari tersebut, sedangkan pencatatan kedua dilakukan pada waktu yang sama di hari berikutnya. Penggunaan data rekapitulasi sebaiknya dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak pengolahan data (misalnya: *spreadsheet*, *Ms. Excel*) untuk kemudahan dalam proses perhitungan. Hari pertama pencatatan ditulis dengan 0 (nol) karena tidak ada acuan pembandingan awal. Sebenarnya, pihak pemangku kebijakan dan pengambil keputusan sudah dapat melihat dengan jelas terkait dengan pemakaian energi di sekolah tersebut jika terjadi keanehan nilai konsumsi harian.

Proses pendataan awal merupakan tahapan paling penting pada program MES. Proses ini dapat dilakukan dengan mudah tanpa menuntut adanya keahlian khusus. Pemangku kebijakan dan pengambil keputusan dapat mulai mempertimbangkan mekanisme pendataan dan pelaporan ini, termasuk juga menyediakan format baku pendataan. Langkah berikutnya dapat dipertimbangkan sebagai berikut:

1. Pemangku kebijakan dan pengambil keputusan memberikan penugasan khusus ke dinas terkait terkait dengan proses pendataan ini.
2. Dinas terkait memberikan penugasan ke tingkat sekolah dan sekolah memberikan penugasan ke operator sekolah/penjaga keamanan/petugas lainnya terkait kegiatan pencatatan.
3. Sekolah diwajibkan untuk melakukan pengisian dataan harian berdasarkan model isian yang telah disepakati.
4. Dinas terkait, pemangku kebijakan dan pengambil keputusan melakukan telaah data bulanan/mingguan berdasarkan laporan tersebut.

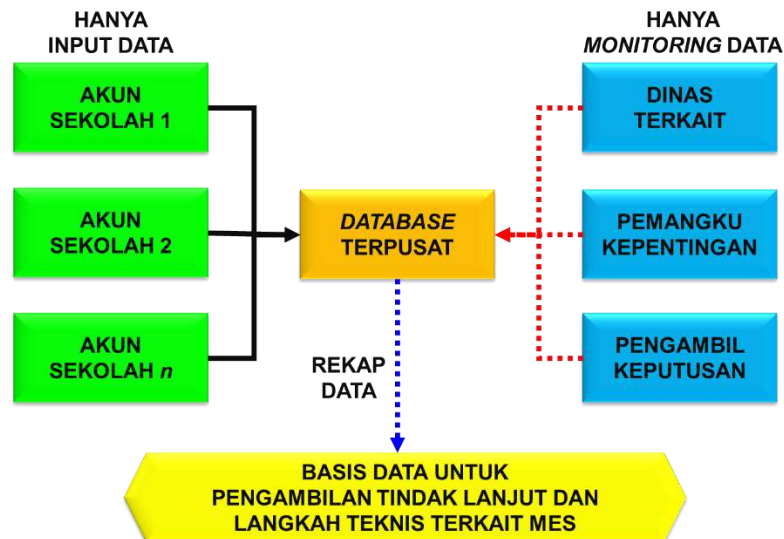
Program MES merupakan kegiatan jangka panjang sehingga aspek-aspek pengumpulan, pelaporan dan analisis data menjadi penting. Proses pengumpulan data idealnya dilakukan setahun penuh (12 Bulan) untuk melihat pola pemakaian energi di tingkat sekolah. Data ini dapat dianalisis untuk memulai Fase 1 dari program MES.

### Fase 0 – Rekapitulasi dan Monitoring Data Awal

Program MES awal difokuskan untuk sekolah dasar yang berjumlah 1.305 Sekolah di bawah Pemprov DKI Jakarta. Isian data awal merupakan aspek paling kritis dari program MES dan efisiensi pemakaian energi bangunan (Carriço de Lima Montenegro Duarte, Ramos Zemerio, Dias Barreto de Souza, de Lima Tostes, & Holanda Bezerra, 2021). Untuk memberikan kemudahan dalam proses rekapitulasi dan monitoring data awal, pembuatan *database* sederhana yang terintegrasi dapat diinisiasi pada tahap awal dengan mengacu kepada Gambar 14.

Detail bagian dari Gambar 14 adalah:

1. *Database* difungsikan hanya untuk pengisian data dan monitoring saja, sehingga dapat dibuat menjadi sangat sederhana.
2. Tiap sekolah sasaran (misalnya Sekolah Dasar Negeri) diberikan akun khusus yang hanya dapat melakukan input data. Sekolah wajib melakukan pengisian tiap hari nya sehingga data yang diperoleh bersifat *real time*.
3. Dinas terkait, pihak pemangku kepentingan dan pihak pengambil keputusan hanya diberikan akses untuk *monitoring* data. Hal ini bertujuan menghindari adanya potensi konflik kepentingan terkait dengan modifikasi data dan lain sebagainya.
4. Rekap data dari *database* digunakan sebagai basis data untuk memulai program MES dan tindak lanjut terkait detail teknis tahap berikutnya (**FASE 1**).



**Gambar 14.** Tahapan implementasi berkelanjutan untuk program MES

### Fase 1 – Tahap 1: Pembentukan Komite MES

Pemangku kepentingan dan pengambil keputusan telah memperoleh data profil penggunaan energi di tingkat sekolah. Keseluruhan data tersebut digunakan sebagai landasan awal dalam proses pembentukan komite Manajemen Energi Sekolah (MES). Komite MES sendiri merupakan unsur gabungan yang terdiri dari:

1. Pemangku kepentingan di tingkat pemerintah daerah.
2. Pengambil keputusan di tingkat pemerintah daerah dan provinsi.
3. Kepala sekolah di unit sekolah sasaran.
4. *External auditor* dan *expert* – sebagai *advisor* untuk penentuan arah kebijakan terkait. pembacaan data dan juga model analisis detail terkait dengan manajemen energi.

Kegiatan MES merupakan program yang bersifat kontinu dan *multiyear*. Hal ini penting untuk diperhatikan khususnya pada pemangku kepentingan dan juga pengambil keputusan untuk memberikan landasan hukum dan panduan teknis terkait dengan detail program ini (Ji & Huang, 2022). Selanjutnya, komite MES dibentuk dan disahkan berdasarkan aturan dan regulasi yang berlaku untuk memberikan jaminan kelancaran dari pelaksanaan program ini.

### Fase 1 – Tahap 2: Penentuan paduk (*baseline*) dan target konsumsi energi

Seluruh program terkait dengan manajemen energi, baik di tingkat industri, swasta maupun rumah tinggal, pasti membutuhkan paduk sebagai acuan untuk menentukan potensi penghematan energi (Sudarsan & Chithra, 2024). Data yang telah diperoleh pada kegiatan fase 0 dianalisis lebih mendalam oleh tim komite MES, khususnya dari *external auditor*. Data tersebut memberikan gambaran terkait dengan pola konsumsi energi secara umum di tingkat sekolah. Detail data konsumsi energi di tingkat sekolah perlu diperkuat dengan diadakannya audit energi. Audit energi akan memberikan detail terkait dengan:

1. Beban–beban listrik yang ada di sekolah.
2. Klasifikasi beban listrik di sekolah yang lebih detail seperti:
  - a. Beban kecil dengan pemakaian kontinu seperti kamera pengawas dan lemari pendingin.
  - b. Beban besar dengan pemakaian kontinu seperti penyejuk ruangan untuk peladen (*server*).
  - c. Beban besar dengan pemakaian waktu tertentu seperti penyejuk ruangan untuk kelas.
  - d. Beban besar dengan pemakaian berselang seperti *lift*.
3. Memperhatikan kondisi iklim di Indonesia dan wilayah Jakarta berdasarkan laporan iklim dari laporan berikut (World Bank Group, 2017) menunjukkan potensi beban tertinggi

adalah penyejuk ruangan. Dengan demikian, detail audit terkait dengan suhu ruangan, sirkulasi udara, kendali kelembaban dan selubung dinding bangunan penting untuk diperhatikan secara mendalam.

Hasil audit kemudian dianalisis dan dikompilasi berdasarkan laporan pemakaian pada fase 0. Hasilnya adalah pemberian nilai estimasi pemakaian energi spesifik per kapita per hari untuk tiap sekolah. Dari data tersebut, penentuan paduk pemakaian akan lebih mudah. Penentuan paduk sendiri dibuat bertahap dengan target berikut:

1. Target awal penurunan konsumsi sebesar 5%/kapita. Target ini dapat dilakukan untuk dua tahun program.
2. Target menengah penurunan konsumsi sebesar 10%/bangunan sekolah. Target ini dapat dilakukan untuk tahun ketiga – kelima program.
3. Target lanjutan penurunan konsumsi sebesar 20%/bangunan sekolah, yang dapat dicapai setelah tahun keenam program berjalan.

Penetapan target tersebut memberikan nilai rasional dari keberlanjutan program. Segala bentuk penghematan energi akan membawa dampak positif pada pemakaian anggaran belanja daerah yang kemudian dapat direlokasikan untuk perbaikan sirkulasi udara, kelembaban ruangan dan selubung bangunan sehingga konsumsi energi dari penyejuk ruangan akan turun secara drastis. Aspek *heating, ventilating and air conditioning* (HVAC) merupakan salah satu beban pemakaian listrik utama di tingkat bangunan, termasuk sekolah (Cho, Heo, & Moon, 2023; Ni, Chong, & Chou, 2024; Y. Wang et al., 2015). Target *ultimate* dari keseluruhan program ini pada akhirnya adalah pemakaian energi bersih bersumber dari matahari dikarenakan puncak beban pemakaian di sekolah saat siang hari yang dibarengi dengan puncak suplai energi dari matahari (R.A. Rahman, et al., 2022).

## **Fase 2 – Perencanaan, Pelaksanaan dan Pemantauan Program MES**

Fase 2 merupakan detail lanjutan yang merangkum keseluruhan garis besar program yang terdiri dari aspek perencanaan, pelaksanaan dan pemantauan program MES. Detail aspek ini kami rangkum sebagai berikut:

1. Perencanaan manajemen energi (Tahap 3 pada Fase 2)  
Kegiatan ini akan banyak melibatkan pemangku kepentingan, pengambil keputusan dan juga eksternal auditor untuk menentukan tujuan besar dari program MES guna mencapai target penurunan konsumsi energi. Perencanaan perlu dibuat secara sistematis yang harus diselesaikan melalui kegiatan *focus group discussion* (FGD) untuk dokumen teknis pelaksanaan dan juga landasan hukum/regulasi terkait dengan program ini.
2. Pelaksanaan program MES (Tahap 5 pada Fase 2)  
Dokumen perencanaan yang telah disusun kemudian diimplementasikan. Implementasi ini akan memberikan gambaran lebih detail terkait dengan karakteristik konsumsi pemakaian energi berjalan saat program dilaksanakan, yang kemudian dapat dibandingkan berdasarkan karakteristik konsumsi pada kondisi sebelum program dilaksanakan dan acuan paduk yang ditetapkan.
3. Pemantauan program MES (Tahap 4 pada Fase 2)  
Pemantauan merupakan tahap 4, yang bersifat tahap *antara* perencanaan dan implementasi. Pemantauan ini yang akan menjadi kunci terpenting terkait dengan ketercapaian target program dan aspek tindak lanjut dari pencapaian tersebut yang kemudian dirumuskan lebih detail pada Fase 3.

## **Fase 3 – Intervensi dan Penerapan Teknologi Lanjutan**

Tujuan besar dari program MES adalah peningkatan efektivitas pemakaian, penurunan konsumsi dan pemantauan dari potensi kerugian energi di tingkat sekolah. Tujuan besar ini akan dapat tercapai melalui serangkaian program dasar yang kemudian disisipkan terkait dengan intervensi pada tahap pemantauan program. Bentuk intervensi ini meliputi:

1. Intervensi teknologi  
Intevensi teknologi untuk memberikan dampak keberlanjutan program dan juga pencapaian

tujuan besar dari MES. Intervensi teknologi secara umum meliputi:

- a. Penggunaan komponen beban listrik dengan efisiensi yang lebih tinggi (misalnya *Air Conditioning Inverter*, *smart HVAC*, dll).
- b. Penggunaan sumber energi bersih untuk beban kecil dan kontinu ataupun beban besar waktu tertentu sehingga menekan beban pemakaian listrik konvensional dari jaringan utama.
- c. Perbaikan aspek kenyamanan termal (*thermal comfort*) dan selubung dinding bangunan, termasuk juga aspek kelembaban dan sirkulasi udara sehingga beban pendinginan menjadi lebih rendah.
- d. Penggunaan *smart lighting system* (sistem pencahayaan pintar) dan lampu penerangan tipe *light emitting diode* (LED) yang memiliki efisiensi tinggi.

## 2. Intervensi perilaku pengguna

Perubahan perilaku konsumsi energi dari manusia merupakan aspek paling utama dari seluruh program manajemen dan penghematan energi (Du & Pan, 2023; Kumar, Caggiano, Shwom, Felder, & Andrews, 2023; Zhou, Wang, Li, Ding, & Yang, 2024). Aspek ini harus dimasukkan dalam program MES dengan harapan adanya transisi perilaku dari tiap individu yang ada di sekolah. Keuntungannya adalah sekolah merupakan lembaga pendidikan sehingga langkah transisi perilaku diharapkan menjadi lebih mudah. Tentunya perubahan perilaku harus didorong melalui pembentukan kebiasaan jangka panjang sehingga kegiatan yang awalnya dirasa janggal, lama kelamaan menjadi kebiasaan dan dapat dibawa ke luar dari sekolah (misalnya penghematan di rumah masing-masing). Dengan demikian, sekolah dan pemangku kepentingan perlu memperhatikan program-program khusus terkait:

- a. Pembentukan kebiasaan sadar energi.
- b. Pembentukan kebiasaan cermat energi.
- c. Pembentukan kebiasaan hemat energi.

Pembentukan kebiasaan merupakan program panjang yang perlu dilakukan secara konsisten dan menyeluruh dari seluruh pihak yang ada. Harapannya adalah perbaikan dari sisi teknologi dan perubahan perilaku konsumsi energi sehingga program MES dapat tercapai secara maksimal dan menyeluruh.

## 3. *Reward and Punishment*

Aspek *reward and punishment* (penghargaan dan ganjaran) banyak diterapkan pada aspek program efisiensi dan transisi energi (Gamma, Mai, Cometta, & Loock, 2021; Gao, Cai, He, Liu, & Liu, 2023; H. Wang, Zhao, Khan, & Sun, 2024). Hal ini harus diberikan perhatian khusus, karena pihak-pihak yang serius dalam program MES memberikan kontribusi penting terkait dengan peningkatan efisiensi energi dan penurunan emisi karbon tidak langsung sehingga layak mendapatkan penghargaan (Jiali, Ting, & Maqbool, 2023). Sebaliknya, pihak yang tidak serius pada program ini secara tidak langsung menganggap pemborosan energi sebagai hal yang biasa dan tidak menunjukkan adanya kepedulian terkait dengan emisi karbon untuk lingkungan dan kesehatan.

Bentuk *reward and punishment* dapat diatur secara spesifik berdasarkan kajian yang sesuai. Harapannya adalah hal ini akan memberikan motivasi tambahan untuk seluruh pihak yang serius pada program MES dan memberikan peringatan bagi pihak yang menganggap program ini tidak penting.

## 4. Pemantauan dengan *Artificial Intelligence* (AI)

Teknologi AI menjadi alat bantu utama untuk menjamin keberlangsungan program ini secara kontinu setelah tercapainya fungsi implementasi pada fase 2. Penggunaan AI dan seluruh komponen terlibat telah banyak digunakan untuk manajemen energi bangunan skala besar (R. Wang et al., 2024), penentuan indeks pemakaian dan pola konsumsi (Zeng, Abedin, Zhou, & Lu, 2024), dan penyesuaian tingkat permintaan energi di sisi konsumen (C. Li, Zhang, Li, & Hao, 2024).

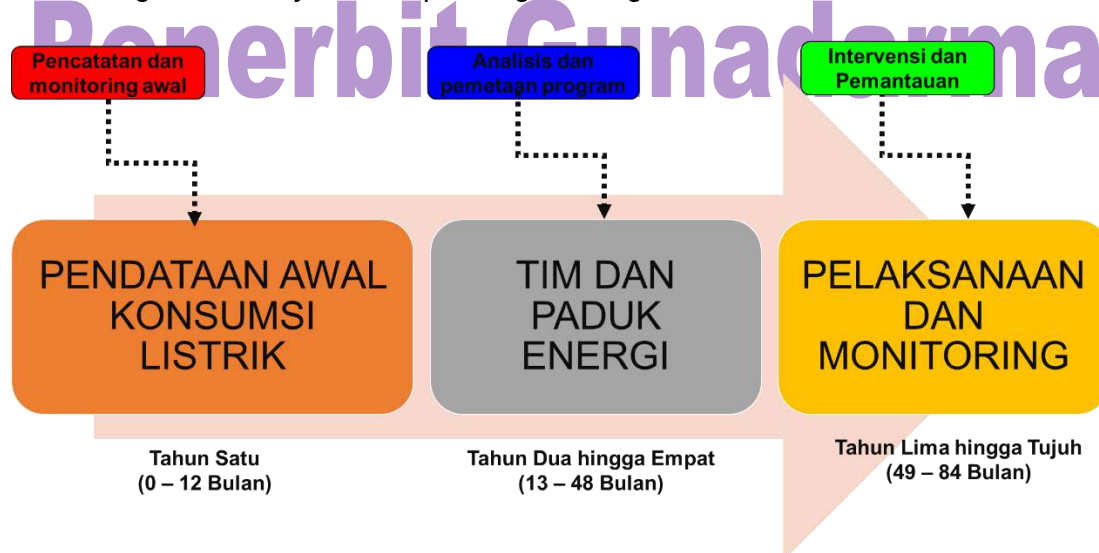


Konsep AI pada manajemen energi juga mendukung transformasi Jakarta menjadi *smart city*. Meskipun penerapan pemantauan dengan AI dilakukan pada bagian akhir proses, namun aspek ini tetap penting diperhatikan mengacu kepada potensi berdasarkan data pemakaian energi, antara lain:

- Kendali daya listrik dan juga potensi fluktuasi penggunaan, sehingga memberikan kemudahan dalam proses intervensi teknologi (Utama, Meske, Schneider, & Ulbrich, 2022).
- Rekam jejak penghematan dan proses kendali beban listrik, menyesuaikan bentuk logika kendali dan pola operasi beban listrik di sekolah menjadi lebih baik berdasarkan karakteristik beban dan kondisi lingkungan menjadi lebih optimal (J. Li, Herdem, Nathwani, & Wen, 2023).
- Fungsi manajemen yang berjalan simultan sehingga penyesuaian maupun otomasi perangkat energi dan kondisi sekolah dapat dijalankan dengan baik berdasarkan target spesifik pemakaian dan pola penggunaan energi (Fiorotti et al., 2023).

## KESIMPULAN

Gambar 11 memperlihatkan perspektif program MES secara ringkas sebagai bagian dari kesimpulan bagian ini. Aspek paling kritis adalah segera memulai pendataan konsumsi energi dengan harapan untuk menutup adanya potensi kerugian akibat penyalahgunaan energi listrik dari bangunan sekolah dan juga sebagai data awal sebelum masuk ke aspek paduk energi. Ketika momentum ini sudah terbentuk, maka langkah berikutnya dari program MES akan terbentuk dengan sendirinya dan dapat bergulir dengan baik.



**Gambar 15.** Ringkasan proses program MES

Tahapan intervensi lanjutan dengan *artificial intelligence* secara langsung mendukung transformasi Jakarta menjadi *smart city*. Program MES sendiri sejalan dengan transisi energi nasional dan pencapaian target tujuan pembangunan berkelanjutan. Program MES memberikan dampak luas yang tidak hanya terbatas pada bangunan sekolah dasar, namun juga dapat meningkat ke jenjang sekolah yang lebih tinggi, bangunan pemerintah lainnya dan juga sangat mungkin diaplikasikan pada wilayah lain. Dengan demikian, penerapan program MES awal di DKI Jakarta dapat dijadikan *role model* ideal untuk proses efisiensi pemakaian dan konsumsi energi secara nasional.



## REKOMENDASI KEBIJAKAN (POLICY BRIEF)

Sebagai kota metropolitan terbesar di Indonesia, Jakarta memiliki peran penting dalam menetapkan standar pengelolaan energi di tingkat nasional. Dalam konteks ini, seperti telah dijelaskan pada uraian sebelumnya, sekolah-sekolah di Jakarta memiliki potensi besar untuk menjadi agen perubahan dalam mengelola energi dengan lebih efisien dan bertanggung jawab. Jakarta menjadi garda terdepan untuk mencapai target *net zero emission* Indonesia di tahun 2060, yang telah dinyatakan oleh Presiden Joko Widodo pada forum Konferensi Perubahan Iklim PBB (COP26) tahun 2021 di Glasgow<sup>3</sup>.

Salah satu langkah utama yang diusulkan dalam tulisan ini adalah mendorong efektivitas penggunaan listrik di sekolah melalui program terstruktur (MES) dengan Sekolah Dasar (SD) di bawah koordinasi Pemerintah DKI Jakarta sebagai *pilot project*-nya. Upaya penggunaan listrik secara efektif sedikitnya memberikan dua manfaat positif, yakni *pertama*, berkurangnya beban biaya listrik (BBL) sekolah. Karenanya, sekolah dapat mengalokasikan lebih banyak sumber daya untuk meningkatkan fasilitas dan program pendidikan, seperti pembelian sarana dan prasarana penunjang pendidikan, atau penyelenggaraan pelatihan kompetensi guru; *Kedua*, membangun kesadaran dari seluruh komponen *civitas* sekolah, mulai dari guru, komite, hingga —yang terpenting— siswa tentang pentingnya efisiensi energi. Pengenalan perilaku hemat energi sedari dini sangat penting dalam rangka manajemen talenta energi. Apalagi, umumnya sekolah dasar belum memasukkan pelajaran tentang hemat energi secara serius di dalam proses belajar. Kalaupun sudah, mungkin hanya menganggapnya sebagai tambahan, tidak termasuk inti dari pembelajaran. Mengingat perubahan perilaku konsumsi energi adalah aspek yang paling utama dari seluruh program MES, maka kebiasaan hemat energi sudah harus dimulai dari sekolah dasar dengan tidak hanya mengajarkan saja, tetapi juga menerapkannya secara langsung di sekolah.

Persoalannya, Peraturan Daerah (Perda) DKI Jakarta yang mengatur tentang penyelenggaraan proses pendidikan, antara lain Perda No. 8 tahun 2006 tentang Sistem Pendidikan, dan Perda No. 7 tahun 2010 tentang Bangunan Gedung, masih belum secara spesifik mengatur pelaksanaan manajemen energi sekolah. Maka dari itu, rekomendasi utama dari tulisan ini adalah mendorong Pemerintah Provinsi DKI Jakarta merevisi, atau bahkan menyusun Perda tentang Manajemen Energi Sekolah (MES). Di dalamnya berbagai klausul yang diusulkan dalam tulisan ini, seperti prosedur pengumpulan data dan energi, pembentukan komite MES, pemantauan kinerja, model intervensi, hingga skema *reward and punishment* dapat diatur dengan rinci.

Perda MES akan menjadi landasan hukum yang kuat bagi implementasi program MES. Hal ini sangat penting dalam memastikan bahwa setiap langkah yang diambil oleh Pemprov memiliki landasan yang sah di mata hukum, sehingga dapat dilaksanakan dengan penuh kepastian. Selain itu, dengan adanya Perda, Pemprov DKI dapat mengatur pendanaan dan anggaran yang diperlukan untuk implementasi program kerja MES. Dengan adanya Perda, Pemprov DKI memiliki wewenang untuk menegakkan ketentuan-ketentuan yang telah ditetapkan dalam program kerja MES, sehingga dapat menciptakan disiplin dan kepatuhan dalam pelaksanaannya. Hal ini membantu dan menjaga agar program kerja berjalan dengan lancar, tanpa terganggu oleh pelanggaran-pelanggaran yang dapat menghambat pencapaian tujuan.

Termasuk di dalam Perda MES, Pemprov DKI dapat memasukkan klausul tentang standar desain bangunan sekolah. Sampai saat ini, Jakarta belum memiliki standar desain yang spesifik untuk bangunan sekolah. Pemprov DKI baru mengatur secara umum teknis gedung hijau pada Pergub No. 60 tahun 2022 tentang Bangunan Gedung Hijau. Pemerintah DKI Jakarta sudah

<sup>3</sup>

<https://setkab.go.id/presiden-jokowi-sampaikan-komitmen-indonesia-dalam-penanganan-perubahan-iklim-di-cop26/> (diakses pada Minggu, 12 Mei 2024)

memulai dengan merenovasi sejumlah bangunan SD Negeri dengan model *net zero carbon* dan *green building*. Hanya saja cakupannya masih sangat terbatas, yakni baru empat unit sekolah. Saat ini ada 233 bangunan gedung sekolah di Jakarta yang memerlukan rehabilitasi. Pembangunan gedung sekolah dengan model *net zero* dan *green building* harus masuk sebagai salah satu klausul dalam Perda MES.

Di tataran operasional, tindaklanjut dari hasil pendataan dan audit MES, Pemprov DKI dapat menyusun pemeringkatan atau klasterisasi sekolah berdasarkan skor efisiensi energinya. Sekolah-sekolah yang memperoleh peringkat tinggi, atau masuk dalam klaster unggul, dalam pemanfaatan energi akan mendapatkan sertifikasi dan tambahan insentif dari Pemprov berupa kenaikan dana Bantuan Operasional Satuan Pendidikan Negeri (BOSP) dan dana program rehabilitasi fasilitas pendidikan yang dibayarkan melalui APBD. Sementara, sekolah-sekolah yang nilainya masih rendah, dapat memperoleh asistensi dari tim satuan tugas MES yang dibentuk oleh komite MES Pemprov.

Karenanya penilaian sekolah perlu diperluas, tidak lagi cukup hanya berfokus pada capaian prestasi akademik dan non-akademik siswa, tetapi juga mencakup efisiensi energi. Kota Jakarta dapat menjadi *pioneer* dalam mengintegrasikan efisiensi energi sebagai salah satu komponen dalam penilaian sekolah. Dengan memasukkan unsur efisiensi energi dalam penilaian kinerja sekolah, maka dapat menciptakan kesadaran lingkungan yang holistik di antara seluruh *civitas* sekolah, mulai dari siswa, guru, staf, hingga komite sekolah. Integrasi efisiensi energi dalam penilaian kinerja sekolah juga membuka pintu untuk pembelajaran berkelanjutan tentang energi dan lingkungan. Melalui proyek-proyek praktis, siswa dapat belajar secara langsung tentang dampak penggunaan energi terhadap lingkungan dan cara untuk mengurangi jejak karbon melalui perilaku hemat konsumsi energi.

Terkait hal di atas, Pemprov DKI Jakarta perlu memperhatikan sedikitnya tiga hal dalam upaya pemeringkatan dan pengintegrasian MES ke dalam penilaian kinerja sekolah. *Pertama*, pembentukan standar penilaian yang komprehensif. Untuk itu, Pemprov bekerja sama dengan lembaga pendidikan dan pakar lingkungan dan energi mengembangkan standar penilaian efisiensi energi sekolah. Standar penilaian ini harus memperhitungkan aspek penggunaan energi, keberlanjutan infrastruktur, dan upaya pengurangan jejak karbon. *Kedua*, pelatihan dan pendidikan. Seluruh *civitas* sekolah perlu mendapat pelatihan tentang praktik-praktik efisiensi energi dan cara mengintegrasikannya dalam proses pembelajaran di sekolah. Dan, *ketiga*, perlu evaluasi terus-menerus atas kinerja energi sekolah untuk memastikan bahwa praktik-praktik efisiensi energi terus ditingkatkan. Pemprov dapat menggunakan instrumen AI untuk mengoptimalkan proses evaluasi kinerja energi sekolah.

Dorongan kebijakan dan operasional yang dilakukan Pemprov dapat memunculkan praktik-praktik baik dari sekolah-sekolah dalam upaya mereka melakukan program MES. Sebagai contoh, di Malaysia, muncul praktik baik dimana sekolah-sekolah secara sadar dan mandiri melakukan evaluasi penggunaan energi di tiap kelas. Kelas yang memperoleh nilai tertinggi akan diberikan hadiah oleh sekolah dan mendapatkan *energy efficiency icon*. Karenanya, tiap kelas akan berusaha melakukan yang terbaik untuk memperoleh poin tertinggi dengan memperhatikan daftar periksa (*checklist*) yang disediakan oleh manajemen sekolah. Tidak hanya itu, sekolah juga mengadakan '*program kesadaran tentang hemat energi dan cara hidup berkelanjutan*' dan pembentukan '*tim gugus tugas hijau*' yang bertugas memastikan semua aturan dan kebijakan mengenai MES dijalankan (Ahamad et al., 2022).

Di Kuwait, sekolah-sekolah berupaya mengatur pemakaian lampu dan peralatan dengan seefisien mungkin. Hasilnya, sekolah bisa mengurangi penggunaan energi sebesar 6,5%. Bahkan, dengan mengganti jenis lampu saja, sekolah dapat mengurangi penggunaan energi sebesar 2,3%. Sekolah yang menjalankan keduanya, yakni menghemat penggunaan energi dan mengganti peralatan ke alat ramah energi, mampu menurunkan konsumsi energi hingga 53% (Marrone et al., 2018). Di Iran, praktik baik yang sekolah lakukan adalah memasang insulasi pada dinding dan atap, serta mengganti sistem jendela. Hasilnya, konsumsi energi

sekolah turun sebesar 44,1% (Tahsildoost & Zomorodian, 2015).

Sekolah-sekolah dengan nilai efisiensi energi yang tinggi dan segala praktik baik yang dijalankannya, dapat menjadi mentor dan contoh bagi sekolah-sekolah lain. Dengan mengatur program *mentor-mentee*, sekolah yang lebih maju dapat memberikan bimbingan dan dukungan teknis kepada sekolah-sekolah yang masih berkembang dalam hal efisiensi energi, sehingga tercipta kemitraan antar sekolah. Dalam jangka panjang, diharapkan akan makin memperkuat ekosistem konservasi energi di Jakarta, yang diinisiasi salah satunya oleh sekolah-sekolah di Jakarta.

Penyusunan Perda mengenai MES dan turunan operasionalnya ke dalam bentuk pemeringkatan sekolah berdasarkan skor efisiensi energinya adalah langkah penting dalam mendukung upaya pembentukan kesadaran energi di DKI Jakarta, yang diharapkan dapat menjadi garda terdepan dan *role model* bagi daerah lain dalam pemanfaatan energi. Dengan adanya regulasi yang jelas dan sistem pemeringkatan yang transparan, diharapkan akan terjadi peningkatan kesadaran, kepatuhan, dan kinerja efisiensi energi di sekolah-sekolah, sehingga dapat memberikan kontribusi yang berarti terhadap keberlanjutan lingkungan dan masa depan yang lebih baik bagi Jakarta.

## DAFTAR PUSTAKA

- Ahamad, A. H., Abidin, N. I. A., Zakaria, R., Aminudin, E., Khan, J. S., Sahamir, S. R., ... Mohd Yusoff, M. F. (2022). School Building Energy Assessment Using Lean Energy Management Strategies. *Frontiers in Built Environment*, 7(February), 1–12. <https://doi.org/10.3389/fbuil.2021.679579>
- Alam, M., & Devjani, M. R. (2021). Analyzing energy consumption patterns of an educational building through data mining. *Journal of Building Engineering*, 44(April), 103385. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2021.103385>
- AlFaris, F., Juaidi, A., & Manzano-Agugliaro, F. (2016). Improvement of efficiency through an energy management program as a sustainable practice in schools. *Journal of Cleaner Production*, 135, 794–805. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.06.172>
- America, D. of E. U. S. of. (1989). Identifying Low Cost Energy Improvements for School Buildings.
- Barbhuiya, S., & Barbhuiya, S. (2013). Thermal comfort and energy consumption in a UK educational building. *Building and Environment*, 68, 1–11. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2013.06.002>
- Cao, W., Yu, J., Chao, M., Wang, J., Yang, S., Zhou, M., & Wang, M. (2023). Short-term energy consumption prediction method for educational buildings based on model integration. *Energy*, 283(August), 128580. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2023.128580>
- Carriço de Lima Montenegro Duarte, J. G., Ramos Zemerio, B., Dias Barreto de Souza, A. C., de Lima Tostes, M. E., & Holanda Bezerra, U. (2021). Building Information Modeling approach to optimize energy efficiency in educational buildings. *Journal of Building Engineering*, 43(April). <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2021.102587>
- Cho, J., Heo, Y., & Moon, J. W. (2023). An intelligent HVAC control strategy for supplying comfortable and energy-efficient school environment. *Advanced Engineering Informatics*, 55(February), 101895. <https://doi.org/10.1016/j.aei.2023.101895>
- Desideri, U., Leonardi, D., Arcioni, L., & Sdringola, P. (2012). European project Educa-RUE: An example of energy efficiency paths in educational buildings. *Applied Energy*, 97, 384–395. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2012.02.009>
- Du, J., & Pan, W. (2023). Behavioral energy efficiency with environment sensors: A case in Hong Kong. *Energy and Buildings*, 299(July), 113590. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2023.113590>
- Erhorn, H., Mroz, T., Mørck, O., Schmidt, F., Schoff, L., & Thomsen, K. E. (2008). The Energy

- Concept Adviser-A tool to improve energy efficiency in educational buildings. *Energy and Buildings*, 40(4), 419–428. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2007.03.008>
- Fathi, A., Salehi, M., Mohammadi, M., Rahimof, Y., & Hajialigol, P. (2021). Cooling/heating load management in educational buildings through course scheduling. *Journal of Building Engineering*, 41(March), 102405. <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2021.102405>
- Fiorotti, R., Rocha, H. R. O., Coutinho, C. R., Rueda-Medina, A. C., Nardoto, A. F., & Fardin, J. F. (2023). A novel strategy for simultaneous active/reactive power design and management using artificial intelligence techniques. *Energy Conversion and Management*, 294(August), 117565. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2023.117565>
- Franco, A., & Leccese, F. (2020). Measurement of CO<sub>2</sub> concentration for occupancy estimation in educational buildings with energy efficiency purposes. *Journal of Building Engineering*, 32(August 2019), 101714. <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2020.101714>
- Gamma, K., Mai, R., Cometta, C., & Loock, M. (2021). Engaging customers in demand response programs: The role of reward and punishment in customer adoption in Switzerland. *Energy Research and Social Science*, 74(January), 101927. <https://doi.org/10.1016/j.erss.2021.101927>
- Gao, H., Cai, W., He, S., Liu, C., & Liu, J. (2023). Stackelberg game based energy sharing for zero-carbon community considering reward and punishment of carbon emission. *Energy*, 277(February), 127629. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2023.127629>
- Heydari, A. H., Khoshkhoo, R. H., Zahedi, R., & Noorollahi, Y. (2024). Demand side management optimization and energy labeling of multi-purpose buildings. *Journal of Building Engineering*, 88(December 2023), 109143. <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2024.109143>
- Jaouaf, S., Bensaad, B., & Habib, M. (2024). Passive strategies for energy-efficient educational facilities: Insights from a mediterranean primary school. *Energy Reports*, 11(December 2023), 3653–3683. <https://doi.org/10.1016/j.egyr.2024.03.040>
- Ji, L., & Huang, X. (2022). Analysis of social governance in energy-oriented cities based on artificial intelligence. *Energy Reports*, 8, 11151–11160. <https://doi.org/10.1016/j.egyr.2022.08.206>
- Jiali, M., Ting, L., & Maqbool, A. (2023). Environmental higher education-renewable energy consumption nexus in China: pathways toward carbon neutrality. *Environmental Science and Pollution Research*, 30(46), 102260–102270. <https://doi.org/10.1007/s11356-023-29261-7>
- Khani, A., Khakzand, M., & Faizi, M. (2022). Multi-objective optimization for energy consumption, visual and thermal comfort performance of educational building (case study: Qeshm Island, Iran). *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 54(October), 102872. <https://doi.org/10.1016/j.seta.2022.102872>
- Kumar, P., Caggiano, H., Shwom, R., Felder, F. A., & Andrews, C. J. (2023). Saving from home! How income, efficiency, and curtailment behaviors shape energy consumption dynamics in US households? *Energy*, 271(February), 126988. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2023.126988>
- Lait, J. (2023). Invisible energy policy and schools: how energy issues feature in the policies and documents of a UK secondary school. *Energy Efficiency*, 16(6), 1–17. <https://doi.org/10.1007/s12053-023-10124-6>
- Li, C., Zhang, Y., Li, X., & Hao, Y. (2024). Artificial intelligence, household financial fragility and energy resources consumption: Impacts of digital disruption from a demand-based perspective. *Resources Policy*, 88(December 2023), 104469. <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2023.104469>
- Li, J., Herdem, M. S., Nathwani, J., & Wen, J. Z. (2023). Methods and applications for Artificial Intelligence, Big Data, Internet of Things, and Blockchain in smart energy management. *Energy and AI*, 11(October 2022), 100208. <https://doi.org/10.1016/j.egyai.2022.100208>
- Liao, W., Xiao, F., Li, Y., Zhang, H., & Peng, J. (2024). A comparative study of demand-side energy management strategies for building integrated photovoltaics-battery and electric vehicles (EVs) in diversified building communities. *Applied Energy*, 361(November 2023), 122881. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2024.122881>
- Marrone, P., Gori, P., Asdrubali, F., Evangelisti, L., Calcagnini, L., & Grazieschi, G. (2018). Energy benchmarking in educational buildings through cluster analysis of energy retrofitting. *Energies*, 11(3), 1–20. <https://doi.org/10.3390/en11030649>



- Mischos, S., Dalagdi, E., & Vrakas, D. (2023). Intelligent energy management systems: a review. In *Artificial Intelligence Review* (Vol. 56). Springer Netherlands. <https://doi.org/10.1007/s10462-023-10441-3>
- Ni, H. P., Chong, W. O., & Chou, J. S. (2024). Optimizing HVAC systems for semiconductor fabrication: A data-intensive framework for energy efficiency and sustainability. *Journal of Building Engineering*, Vol. 89, p. 109397. Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.jobee.2024.109397>
- Park, H., Park, J., Kim, S., & Chang, S. J. (2024). Energy retrofit technology for modern and contemporary educational historical buildings considering preservation and utilization aspects. *Energy Reports*, 11(December 2023), 3995–4007. <https://doi.org/10.1016/j.egyr.2024.03.057>
- Pietrapertosa, F., Tancredi, M., Salvia, M., Proto, M., Pepe, A., Giordano, M., ... Cosmi, C. (2021). An educational awareness program to reduce energy consumption in schools. *Journal of Cleaner Production*, 278. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.123949>
- Rahman, R. A., Setiawan, D., Wiyono, A., Anggrainy, R., & Yuseva, D. S. (2022). Teknologi Concentrated Solar Power - Referensi Perkembangan Teknologi Photo-Thermal Conversion sebagai Alternatif Sumber Energi Baru Terbarukan.
- Sekki, T., Airaksinen, M., & Saari, A. (2015). Measured energy consumption of educational buildings in a Finnish city. *Energy and Buildings*, 87, 105–115. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2014.11.032>
- Semprini, G., Marinosci, C., Ferrante, A., Predari, G., Mochi, G., Garai, M., & Gulli, R. (2016). Energy management in public institutional and educational buildings: The case of the school of engineering and architecture in Bologna. *Energy and Buildings*, 126(2016), 365–374. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2016.05.009>
- Sudarsan, A., & Chithra, K. (2024). The role of energy management in transition towards green cities: a review. *Environment, Development and Sustainability*, (0123456789). <https://doi.org/10.1007/s10668-024-04830-z>
- Taheri, S., Amiri, A. J., & Razban, A. (2024). Real-world implementation of a cloud-based MPC for HVAC control in educational buildings. *Energy Conversion and Management*, 305(November 2023). <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2024.118270>
- Tahsildoost, M., & Zomorodian, Z. S. (2015). Energy retrofit techniques: An experimental study of two typical school buildings in Tehran. *Energy and Buildings*, 104, 65–72. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2015.06.079>
- Thu, H., Nong, D., Simshauser, P., & Hoang, G. (2024). Artificial intelligence (AI) development in the Vietnam 's energy and economic systems: A critical review. *Journal of Cleaner Production*, 438(January), 140692. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2024.140692>
- Utama, C., Meske, C., Schneider, J., & Ulbrich, C. (2022). Reactive power control in photovoltaic systems through (explainable) artificial intelligence. *Applied Energy*, 328(September). <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2022.120004>
- Uzair, M., & Ali Abbas Kazmi, S. (2023). A multi-criteria decision model to support sustainable building energy management system with intelligent automation. *Energy and Buildings*, 301(November), 113687. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2023.113687>
- Wang, H., Zhao, A., Khan, M. Q., & Sun, W. (2024). Optimal operation of energy hub considering reward-punishment ladder carbon trading and electrothermal demand coupling. *Energy*, 286(October 2023), 129571. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2023.129571>
- Wang, R., Rayhana, R., Gholami, M., Herrera, O. E., Liu, Z., & Mérida, W. (2024). Multi-task deep learning for large-scale buildings energy management. *Energy and Buildings*, 307(October 2023), 113964. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2024.113964>
- Wang, Y., Kuckelkorn, J., Zhao, F. Y., Liu, D., Kirschbaum, A., & Zhang, J. L. (2015). Evaluation on classroom thermal comfort and energy performance of passive school building by optimizing HVAC control systems. *Building and Environment*, 89, 86–106. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2015.02.023>
- World Bank Group. (2017). Solar Resource and Photovoltaic Potential of Indonesia. Retrieved from <http://documents.worldbank.org/curated/en/729411496240730378/Solar-resource-and-photovoltaic-potential-of-Indonesia>
- Yeo, J., Wang, Y., An, A. K., & Zhang, L. (2019). Estimation of energy efficiency for educational

- buildings in Hong Kong. *Journal of Cleaner Production*, 235, 453–460. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.06.339>
- Yussuf, R. O., & Asfour, O. S. (2024). Applications of artificial intelligence for energy efficiency throughout the building lifecycle: An overview. *Energy and Buildings*, 305(January), 113903. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2024.113903>
- Zafaranchi, M., & Sozer, H. (2024). Enhancing energy efficiency through hourly assessments of passive interventions in educational-office buildings: A case study in a Mediterranean climate. *Energy Reports*, 11(December 2023), 423–441. <https://doi.org/10.1016/j.egyr.2023.12.016>
- Zeng, H., Abedin, M. Z., Zhou, X., & Lu, R. (2024). Measuring the extreme linkages and time-frequency co-movements among artificial intelligence and clean energy indices. *International Review of Financial Analysis*, 92(January), 103073. <https://doi.org/10.1016/j.irfa.2024.103073>
- Zhang, B., Xu, W., Peng, L., Li, Y., Zhang, W., & Wang, Z. (2024). Nature-inspired interfacial engineering for energy harvesting. *Nature Reviews Electrical Engineering*, 1(April), 218–233. <https://doi.org/10.1038/s44287-024-00029-6>
- Zhao, H. (2023). Intelligent management of industrial building energy saving based on artificial intelligence. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 56(February), 103087. <https://doi.org/10.1016/j.seta.2023.103087>
- Zhou, Y., Wang, Y., Li, C., Ding, L., & Yang, Z. (2024). Energy-efficiency oriented occupancy space optimization in buildings: a data-driven approach based on multi-sensor fusion considering behavior-environment integration. *Energy*, 131396. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2024.131396>

# Penerbit Gunadarma





## **SISTEM PENERANGAN ADAPTIF UNTUK HEMAT ENERGI PADA RUANG GEDUNG MENGGUNAKAN MACHINE LEARNING**

**Robby Kurniawan Harahap<sup>1\*</sup>, Antonius Irianto Sukowati<sup>2</sup>, Widyastuti<sup>3</sup>,  
Raden Ayu Sekar Ciptaning Anindya<sup>4</sup>**

<sup>1,3,4</sup>Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Gunadarma, Depok  
16424, Indonesia

<sup>2</sup>Teknik Elektro, Universitas Cendekia Abditama, Tangerang 15811, Indonesia

\*Penulis Koresponden, e-mail: [robby\\_kurniawan@staff.gunadarma.ac.id](mailto:robby_kurniawan@staff.gunadarma.ac.id)

### **ABSTRAK**

Dalam era urbanisasi yang pesat, penggunaan energi di gedung-gedung perkotaan menjadi aspek kritis dalam upaya menuju keberlanjutan dan efisiensi energi. Penelitian ini memusatkan perhatian pada implementasi sistem penerangan adaptif yang bertujuan untuk mengurangi konsumsi energi pada gedung-gedung di Jakarta, sekaligus mendukung visi smart city. Dengan memanfaatkan teknologi kecerdasan buatan (AI) berupa machine learning Teachable Machine dan konsep logika fuzzy, sistem ini mampu belajar dan beradaptasi dengan pola-pola aktivitas manusia di sekitar gedung untuk mengoptimalkan penggunaan lampu. Teachable machine untuk melatih model machine learning untuk memahami pola dalam data input, dan kemudian menggunakan logika fuzzy untuk membuat keputusan berdasarkan output dari model tersebut. Kamera sebagai sensor Internet of Things (IoT) digunakan untuk mendeteksi kehadiran manusia secara real-time, sedangkan platform pengendali mikrokontroler digunakan untuk mengkoordinasikan pengoperasian tingkat pencahayaan lampu. Dalam penelitian ini, tidak hanya memfokuskan pada implementasi teknologi, tetapi juga melakukan analisis potensi penghematan konsumsi energi yang dapat dicapai melalui sistem ini. Hasil simulasi integrasi teachable machine dan logika fuzzy yang diujikan menghasilkan nilai pengaturan tingkat kecerahan lampu berdasarkan variabel input kamera dan sensor cahaya. Selain itu didapatkan hasil simulasi potensi penghematan energi antara 10% sampai dengan 30%. Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi signifikan dalam upaya mengurangi jejak karbon gedung-gedung perkotaan serta memberikan panduan praktis bagi pengembangan sistem penerangan hemat energi di kota-kota lain.

Kata Kunci: Efisiensi Energi, Fuzzy Logic, Kecerdasan Buatan, teachable Machine, Sensor

### **PENDAHULUAN**

Sistem pencahayaan pada ruangan-ruangan gedung, terutama di kawasan padat penduduk seperti Jakarta, memegang peranan penting dalam upaya penghematan energi. Karena meningkatnya fokus pada pengurangan polusi dan peningkatan efisiensi energi, terdapat peningkatan kebutuhan untuk menyediakan pedoman pencahayaan hemat energi dan langkah-langkah inovatif untuk mengevaluasi efisiensi energi sistem pencahayaan (Leccese et al., 2017). Sistem pencahayaan yang efektif sangat penting tidak hanya untuk memberikan penerangan pada suatu area tetapi juga untuk mengurangi penggunaan energi dan meminimalkan kehilangan energi. Penelitian telah menunjukkan perlunya penggunaan sistem pencahayaan cerdas (smart lighting) terdistribusi untuk mengurangi penggunaan energi di berbagai lingkungan. Hal ini menyoroti perlunya teknik desain yang meminimalkan pemborosan energi dengan mengoptimalkan sistem pencahayaan (Hajjaj et al., 2020). Dengan menerapkan penyesuaian atau penambahan untuk meningkatkan efisiensi energi dan mengurangi konsumsi energi pada sistem penerangan umum, kemajuan besar dapat dicapai menuju keberlanjutan dan konservasi energi, khususnya di wilayah perkotaan padat penduduk seperti Jakarta

(Rabaza et al., 2018)

Di tengah gejolak ini, sistem penerangan cerdas menjadi solusi. Namun selain penerangan cerdas untuk penghematan energi, sistem penerangan adaptif muncul sebagai salah satu solusi yang menjanjikan. Pada penulisan ini akan menjelaskan secara komprehensif tentang konsep sistem penerangan adaptif dalam konteks bangunan gedung di perkotaan, dengan fokus pada pengurangan konsumsi energi dan dukungan terhadap visi *smart city*. Teknologi kecerdasan buatan (AI) memainkan peran kunci dalam pengembangan sistem ini, khususnya melalui konsep Teachable Machine. Melalui kemampuan belajar dan beradaptasi dengan pola-pola aktivitas manusia di sekitar ruang gedung, sistem ini diharapkan dapat mengoptimalkan penggunaan lampu secara signifikan dengan mempertimbangkan logika fuzzy (fuzzy logic) sebagai pengambil keputusan dalam menentukan pencahayaan yang tepat (Eriyadi et al., 2021; Ramadhani et al., 2022; Syafitri et al., 2022). Penggunaan fuzzy logic akan membantu sistem untuk mengambil keputusan yang lebih fleksibel dan dapat menangani ketidakpastian serta kompleksitas dari data yang ada, sehingga memungkinkan adaptasi yang lebih baik terhadap berbagai kondisi lingkungan dan preferensi pengguna.

Integrasi antara machine learning dan fuzzy logic dalam sistem penerangan adaptif juga memiliki beberapa kelebihan yang signifikan. Pertama, machine learning memungkinkan sistem untuk belajar dari data historis dan pengalaman untuk mengidentifikasi pola-pola kompleks dalam perilaku pengguna dan kondisi lingkungan. Kedua, integrasi machine learning dan fuzzy logic dapat meningkatkan kemampuan sistem untuk menyesuaikan diri dan beradaptasi dengan perubahan yang dinamis dalam lingkungan dan kebutuhan pengguna. Ketiga, integrasi ini juga dapat meningkatkan efisiensi sistem dalam mengoptimalkan penggunaan energi.

Dalam pembahasan ini, tujuan yang akan dicapai yaitu penjelasan rancangan konsep integrasi machine learning teachable machine dengan logika fuzzy sebagai sistem penerangan adaptif yang dapat digunakan pada bangunan gedung perkantoran. Selain itu penjelasan bagaimana kamera sebagai sensor Internet of Things (IoT) digunakan untuk mendeteksi kehadiran manusia secara real-time yang menjadi penentu penggunaan lampu. Selain itu, akan menjelaskan peran platform pengendali mikrokontroler dalam mengkoordinasikan pengoprasian lampu untuk meningkatkan efisiensi energi. Namun, pembahasan tidak hanya akan mencakup aspek teknis implementasi. Selain konsep, pada bab ini akan dijelaskan peluang-peluang analisis mendalam tentang potensi pengurangan konsumsi energi yang dapat dicapai melalui sistem penerangan adaptif ini. Melalui pendekatan ini, diharapkan konsep ini dapat memberikan kontribusi signifikan dalam mengurangi jejak karbon gedung-gedung perkotaan khususnya kota Jakarta.

## STATE OF THE ART

Pada bangunan seperti gedung perkantoran modern saat ini telah banyak menggunakan desain bangunan hijau (Green Building), dimana konsep bangunan yang dirancang untuk menjadi bangunan ramah lingkungan namun juga efisien terhadap penggunaan energi listrik (Kim et al., 2020). Di Indonesia dengan iklim cuaca atau musim yang terdiri dari dua yaitu musim panas dan hujan, meskipun demikian dalam satu tahun rata-rata kondisi siang hari dalam kondisi langit cerah lebih dominan dibandingkan durasi siang hari dalam kondisi langit mendung. Maka hal tersebut menjadi dasar dalam desain gedung-gedung modern. Namun demikian, terdapat masalah tingkat pencahayaan, dimana jumlah tingkat cahaya yang akan terdistribusi ke ruangan melalui permukaan jendela akan berkurang secara eksponensial bergantung pada

jarak dari jendela (Ramadhani et al., 2022). Hal tersebut memiliki makna bahwa cahaya yang terdistribusi dalam suatu ruangan hanyalah sebagian cahaya yang masuk melalui permukaan jendela.

Menanggapi tantangan tersebut, Dalam beberapa tahun terakhir konsep *smart city* telah mendapatkan perhatian yang signifikan, dengan fokus pada pengintegrasian teknologi IoT untuk meningkatkan berbagai aspek kehidupan perkotaan. Salah satu bidang utama yang menjadi perhatian dalam *smart city* adalah pengelolaan energi dimana salah satu penerapannya adalah sistem *smart lighting*. Sistem ini memainkan peran penting dalam membangun ruang, terutama di kota-kota padat penduduk seperti Jakarta. Sistem *smart lighting* tidak hanya tentang penerangan tetapi juga tentang efisiensi energi, kelestarian lingkungan, dan meningkatkan pengalaman pengguna secara keseluruhan (Cheng et al., 2020). Keterkaitan sistem pencahayaan dengan *smart city* merupakan aspek penting dalam pembangunan perkotaan. Dengan menggabungkan solusi *smart lighting*, kota dapat meningkatkan efisiensi energi, mengurangi polusi cahaya, dan meningkatkan keselamatan dan keamanan. Sistem *smart lighting* dapat saling terhubung dengan komponen *smart city* lainnya seperti *smart buildings*, *smart grid*, *smart mobility*, sehingga menciptakan lingkungan perkotaan yang komprehensif dan saling terhubung (Wei & Shen, 2019).

Sistem *Smart Lighting* yang ada memanfaatkan teknologi seperti *machine learning* untuk mengoptimalkan kinerjanya. Kemampuan *machine learning* memungkinkan sistem ini beradaptasi dengan perubahan kondisi, memprediksi pola penggunaan, dan meningkatkan efisiensi energi. Dengan menganalisis data dari berbagai sensor dan sumber, sistem Smart Lighting dapat secara dinamis menyesuaikan tingkat pencahayaan berdasarkan kebutuhan pengguna dan faktor lingkungan (Ibrahim et al., 2020). Google Teachable Machine, sebuah platform pembelajaran mesin, menawarkan solusi inovatif untuk meningkatkan infrastruktur kota pintar. Dengan mengintegrasikan Google Teachable Machine dengan sistem pencahayaan adaptif, kota dapat menciptakan lingkungan pencahayaan dinamis yang merespons preferensi pengguna dan kondisi lingkungan secara real-time. Teknologi ini memungkinkan sistem pencahayaan untuk belajar dan beradaptasi, memberikan pengalaman pencahayaan yang dipersonalisasi sekaligus memaksimalkan efisiensi energi (Furger et al., 2022).

Adapun, perkembangan terkini dalam sistem *smart lighting* telah menyoroti pentingnya menggabungkan teknologi-teknologi mutakhir seperti *machine learning* dan skema pengkodean adaptif untuk meningkatkan kinerja sistem pencahayaan (Xie et al., 2024). Teknologi-teknologi ini memungkinkan sistem untuk menyesuaikan parameter seperti mode modulasi dan pengkodean secara dinamis berdasarkan kondisi lingkungan dan preferensi pengguna, akhirnya mengoptimalkan throughput dan efisiensi sistem (Xie et al., 2024). Selain itu, integrasi *smart devices* dan Internet of Things (IoT) telah merevolusi cara sistem pencahayaan beroperasi, memungkinkan pemantauan dan kontrol real-time (Gagliardi et al., 2020; Karapetyan et al., 2020). Algoritma kontrol otomatis yang didukung oleh teknologi IoT memainkan peran penting dalam menyesuaikan sistem pencahayaan dengan lingkungan dinamis dan kebutuhan pengguna yang beragam (Gagliardi et al., 2020; Karapetyan et al., 2020). Pergeseran ini menuju mekanisme kontrol otomatis dan adaptif menandai perubahan dari pendekatan tradisional yang dioperasikan pengguna, membuka jalan bagi solusi pencahayaan yang lebih efisien dan berorientasi pada pengguna (Gagliardi et al., 2020; Karapetyan et al., 2020).

Secara paralel, kemajuan dalam teknologi sensor telah memungkinkan pengembangan sistem kontrol pencahayaan yang dipersonalisasi yang memprioritaskan kenyamanan pengguna dan penghematan energi (Gagliardi et al., 2020; Karyono et al., 2019; Ramadhani et al., 2022). Dengan menggabungkan sensor yang dapat mendeteksi parameter seperti tingkat cahaya lingkungan dan kehadiran pengguna, sistem pencahayaan dapat secara otomatis menyesuaikan tingkat pencahayaan untuk mengoptimalkan penggunaan energi sambil memastikan kenyamanan penghuni (Karyono et al., 2019; Ramadhani et al., 2022). Lebih lanjut, penggunaan teknik pengkodean canggih seperti kode Paritas Rendah (Low-Density Parity-Check/LDPC) bersama dengan skema modulasi adaptif telah menunjukkan hasil yang menjanjikan dalam meningkatkan keandalan dan efisiensi sistem pencahayaan (Xie et al., 2024). Skema pengkodean ini, bersama dengan algoritma adaptif, memungkinkan optimasi dinamis kinerja sistem dalam berbagai kondisi kanal, dengan demikian meningkatkan kekokohan keseluruhan sistem (Xie et al., 2024).

Integrasi logika fuzzy dalam sistem pencahayaan gedung perkantoran merupakan langkah penting dalam meningkatkan efisiensi dan daya tanggap sistem. Dengan menggunakan logika fuzzy, sistem dapat menyesuaikan tingkat pencahayaan secara adaptif berdasarkan berbagai variabel lingkungan dan preferensi pengguna, sehingga menciptakan lingkungan kerja yang lebih efisien dan nyaman. Hal ini sejalan dengan tren terkini dalam pengembangan sistem pencahayaan pintar, yang menyoroti pentingnya teknologi seperti logika fuzzy untuk meningkatkan kinerja dan kenyamanan pengguna. Logika fuzzy telah terbukti sangat bermanfaat dalam sistem pakar dan aplikasi kecerdasan buatan lainnya (Isdore Onyema Akwukwaegbu et al., 2023). Selain itu, penelitian menegaskan bahwa peningkatan kenyamanan pengguna menghasilkan peningkatan produktivitas hingga 14% (Ain et al., 2022). Tren arsitektur menunjukkan bahwa bangunan perkantoran dan pendidikan memiliki area kaca yang luas, sehingga kenyamanan termal dipengaruhi oleh faktor internal dan eksternal dan parameter ketidaknyamanan dapat mempengaruhi sensasi termal penghuni secara keseluruhan (Menyhárt & Kalmár, 2019). Selain itu, penggunaan logika fuzzy dalam sistem pencahayaan pintar sejalan dengan kebutuhan penggunaan energi yang efisien pada bangunan, karena sektor bangunan menyerap 40% sumber energi global (Ramadhani et al., 2022).

Satuan yang digunakan untuk mengukur intensitas pencahayaan adalah Lux, dan perangkat yang digunakan untuk melakukan pengukuran ini dikenal sebagai Luxmeter. Tabel 1 menyajikan data mengenai indeks pencahayaan di setiap ruangan di dalam gedung perkantoran, sesuai dengan ketentuan yang tercantum dalam standar SNI 6197:2020 mengenai konservasi energi pada sistem pencahayaan. Untuk memastikan bahwa pencahayaan di gedung perkantoran sesuai dengan standar efisiensi energi, menjadi penting untuk memperhitungkan konsumsi energi dari sistem pencahayaan dan sejauh mana kesesuaian dengan standar yang berlaku. Sejumlah penelitian telah mengarah pada analisis efisiensi energi dari sistem pencahayaan di lingkungan perkantoran. Sebagai contoh, penelitian tentang efisiensi energi listrik yang berkaitan dengan penggunaan lampu LED di sebuah gedung bank (Parjiman et al., 2021). Pada penelitian tersebut data dianalisis sesuai dengan standar SNI 6197-2011 serta merencanakan penggantian lampu-lampu yang ada dengan lampu LED demi meningkatkan efisiensi energi. Demikian juga, penelitian (Naimah et al., 2023) menganalisis sistem pencahayaan di suatu gedung dan menemukan bahwa meskipun tingkat pencahayaan memenuhi batas minimum yang ditetapkan oleh standar SNI 6197-2020, beberapa ruangan memiliki dimensi yang melebihi standar yang telah ditetapkan, yang mengindikasikan kemungkinan adanya ketidakefisienan.

**Tabel 1.** Tingkat Pencahayaan dan Renderasi Warna SNI 6197:2020 (27-06 Teknis, 2020)

| Fungsi Ruangan       | Tingkat Pencahayaan rata-rata ( $E_{rata-rata}$ ) minimum (Lux) | Renderasi Warna Minimum |
|----------------------|-----------------------------------------------------------------|-------------------------|
| Ruang resepsionis    | 300                                                             | 80                      |
| Ruang direktur       | 350                                                             | 80                      |
| Ruang kerja          | 350                                                             | 80                      |
| Ruang komputer       | 150                                                             | 80                      |
| Ruang rapat          | 300                                                             | 80                      |
| Ruang gambar         | 750                                                             | 90                      |
| Gudang arsip         | 150                                                             | 80                      |
| Ruang arsip aktif    | 350                                                             | 80                      |
| Ruang tangga darurat | 100                                                             | 80                      |
| Ruang parkir         | 100                                                             | 80                      |

## PEMBAHASAN

### Metode dan Konsep Penerangan adaptif

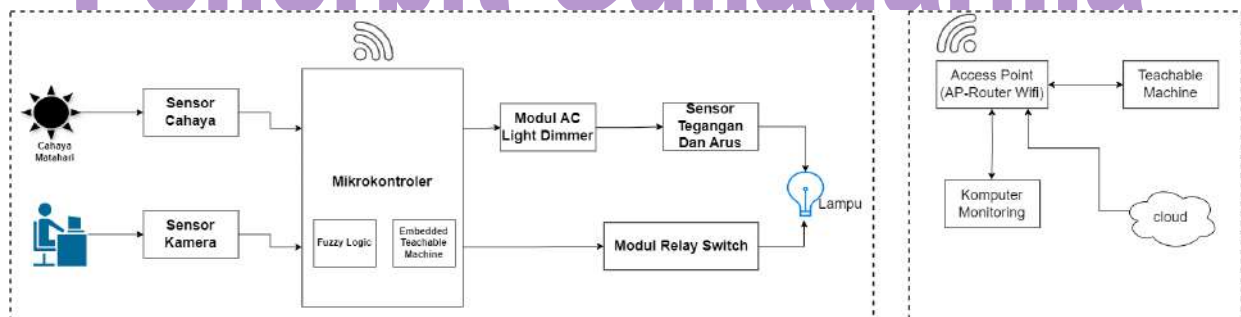
Penerangan pada suatu ruangan ditujukan untuk meningkatkan kenyamanan visual, mendukung produktivitas, dan memastikan keamanan pengguna ruangan tersebut, sekaligus memberikan estetika yang menambah nilai dan suasana pada lingkungan kerja. Sehingga penerangan menjadi penting, namun jika suatu ruangan dengan penerangan lampu terus menerus akan meningkatkan konsumsi energi secara signifikan serta menurunkan umur pakai dari sistem pencahayaan itu sendiri. Pada umumnya, Sebuah ruangan mendapatkan pencahayaan secara alami karena cahaya matahari yang mencapai permukaan jendela. Pada umumnya, tingkat jumlah cahaya matahari yang mencapai permukaan jendela bervariasi. Variasi tingkat cahaya matahari dihasilkan oleh perubahan kondisi cuaca yaitu kondisi cerah dan mendung. Semakin luas suatu ruangan maka jarak dari jendela akan mempengaruhi tingkat cahaya yang menerangi ke ruangan.

Konsep perancangan sistem ini digunakan untuk mengendalikan lampu berdasarkan kondisi cahaya alami dan keberadaan orang dalam hal ini pekerja atau staff pada ruangan sehingga penggunaan lampu tidak memakan banyak daya. Kunci utama terletak pada sensor cahaya yang diintegrasikan pada sistem peredupan Lampu (light dimmer) sehingga dapat mengendalikan tingkat pencahayaan dari lampu secara otomatis (Ramadhani et al., 2022). Sensor cahaya akan mengukur intensitas cahaya matahari yang masuk ke dalam ruangan, dan nilai intensitas ini digunakan sebagai parameter untuk sistem pengaturan intensitas lampu. Lampu akan dimatikan jika cahaya matahari di dalam ruangan cukup terang, akan dinyalakan dengan cahaya redup jika intensitas cahaya berkurang, dan akan dinyalakan secara penuh jika hampir tidak ada cahaya matahari yang terdeteksi oleh sensor. Selain itu hal



terpenting lainnya yaitu penggunaan lampu hanya pada saat ada dibutuhkan saja atau dalam hal ini lampu akan menyala jika ada orang yang terdeteksi oleh kamera pengawas di ruangan tersebut.

Arsitektur sistem disajikan pada gambar 1 yang dibagi ke dalam 3 bagian yaitu blok sensor, perangkat keras, dan monitoring IoT. Sistem ini dirancang untuk mengatur pencahayaan di dalam ruangan sesuai dengan kondisi cahaya alami, sehingga meminimalkan konsumsi daya listrik. Sistem ini akan mengatur pencahayaan berdasarkan masukan sensor cahaya dan kamera yang kemudian akan sinyal masukkan akan diterima dan diolah oleh mikrokontroler. Masukan dari sensor cahaya yang diolah mikrokontroler akan menghasilkan output berupa nilai lampu yang merupakan tingkat kecerahan yang akan dipancarkan oleh lampu. Kemudian mikrokontroler akan meneruskan ke modul dimmer untuk mengatur tingkat pencahayaan berdasarkan tegangan dan sensor Tegangan dan Arus digunakan untuk mengukur konsumsi listrik yang diperlukan untuk mengaktifkan lampu di dalam sistem pencahayaan. Selain itu masukan dari sensor kamera juga akan digunakan untuk mendeteksi keberadaan orang yang kemudian akan dikirimkan ke mikrokontroler yang terhubung dengan teachable machine secara online. Jika dilihat pemanfaatan dua sensor tersebut dirancang dengan skema offline dan online. Offline menggunakan sensor cahaya dan online menggunakan sensor Kamera. Skema offline ini juga dapat mengakomodasi jika sistem online sedang tidak dapat digunakan, dalam hal ini jika sore menjelang malam dengan tingkat pencahayaan yang rendah akan menurunkan level tegangan sampai dengan nol atau lampu dalam keadaan mati. Sebagai tambahan data pada sistem ini akan disimpan pada cloud.



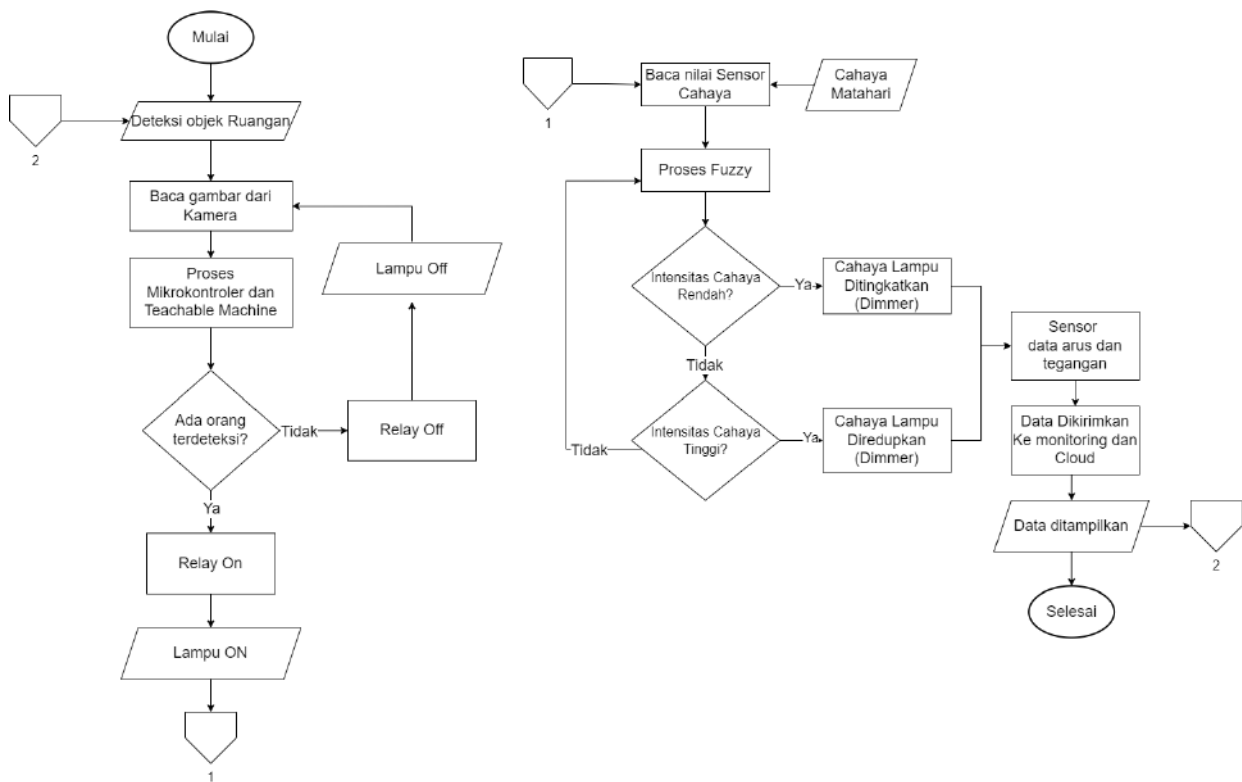
**Gambar 1.** Rancangan Arsitektur Sistem

Flowchart yang dirancang pada gambar 2 merupakan representasi visual yang menggambarkan alur logika sistem pencahayaan ruangan yang responsif dan adaptif. Langkah pertama dalam alur tersebut adalah menggunakan teknologi Teachable Machine untuk mendeteksi keberadaan manusia di dalam ruangan. Deteksi manusia menjadi faktor utama dalam pengaturan pencahayaan, karena keberadaan manusia mempengaruhi kebutuhan akan tingkat pencahayaan yang tepat. Setelah mendeteksi kehadiran manusia, sistem akan memutuskan apakah pencahayaan perlu disesuaikan atau tidak. Jika manusia terdeteksi, langkah berikutnya adalah membaca nilai sensor cahaya dan menerapkan logika Fuzzy untuk menyesuaikan tingkat pencahayaan secara otomatis.

Namun, jika tidak ada deteksi manusia, sistem akan mematikan pencahayaan untuk menghemat energi. Ini menunjukkan bahwa sistem pencahayaan tidak hanya responsif terhadap keberadaan manusia, tetapi juga memperhatikan efisiensi energi. Proses ini akan



berulang secara berkala untuk memastikan penyesuaian yang tepat sesuai dengan perubahan kondisi ruangan. Dengan demikian, flowchart tersebut memberikan gambaran yang jelas tentang bagaimana sistem pencahayaan yang adaptif menggunakan kombinasi deteksi manusia dan logika Fuzzy dapat beroperasi secara efisien dan responsif dalam lingkungan ruangan yang dinamis.



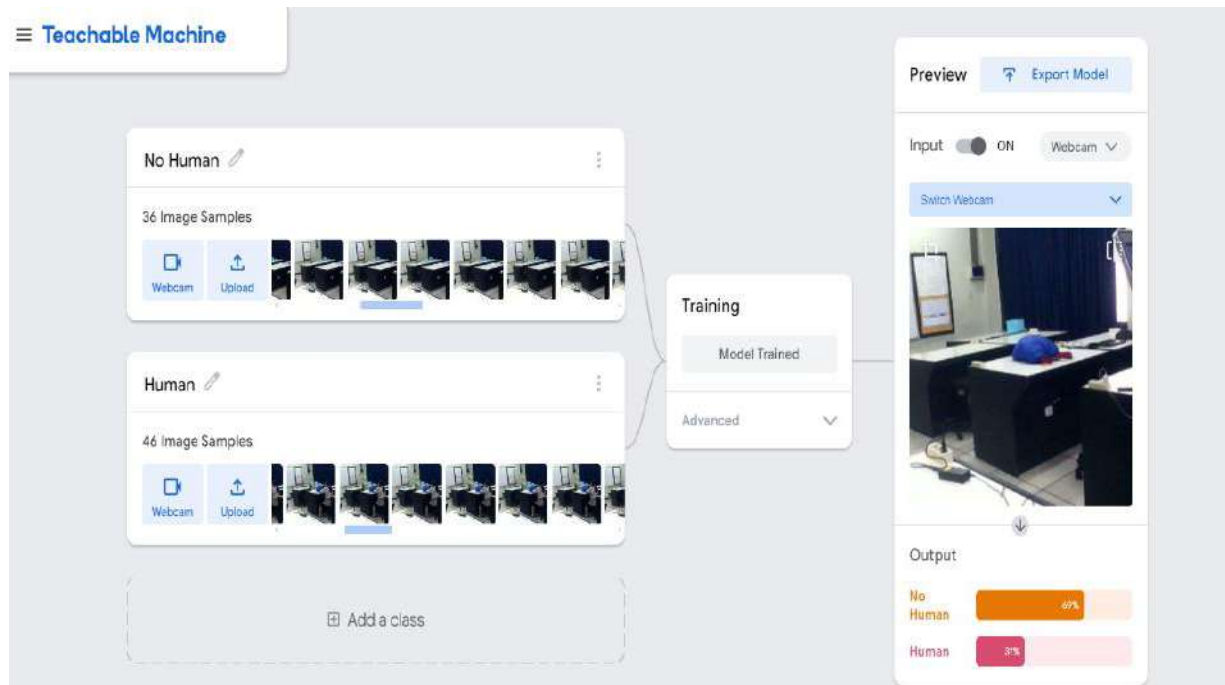
**Gambar 2.** Rancangan Diagram Alir Sistem

### Teachable Machine

Teachable Machine adalah sebuah platform pembelajaran mesin yang dikembangkan oleh Google yang memungkinkan pengguna untuk melatih model machine learning tanpa perlu memiliki pengetahuan mendalam tentang pemrograman atau kecerdasan buatan (Malahina et al., 2022). Dalam konteks flowchart sistem pencahayaan ruangan yang adaptif, Teachable Machine digunakan untuk mendeteksi keberadaan manusia di ruangan. Dengan menggunakan kamera sebagai input, Teachable Machine mampu mempelajari pola visual yang terkait dengan kehadiran manusia dalam gambar yang diambil. Melalui proses pelatihan yang sederhana dan intuitif, pengguna dapat memberikan label pada gambar yang berisi manusia dan tidak berisi manusia, sehingga model dapat mengenali dan membedakan keberadaan manusia dengan akurasi yang tinggi.

Penggunaan Teachable Machine dapat dilakukan menggunakan tiga cara (Grari et al., 2024), diantaranya (1) koleksi sampel model, dimana sampel model terdiri dari 3 jenis yaitu gambar, suara dan pose yang direkam kemudian disimpan dengan diberikan label karena teachable machine merupakan machine learning jenis pembelajaran supervisi (supervise learning). (2) Training model, dimana sampel yang sudah direkam akan di training sesuai dengan algoritma training yang dimiliki yaitu Convolutional Neural Network (CNN) dengan tujuan pembelajaran

untuk mengenali perbedaan kategori dalam gambar (3) Export, dimana hasil training dapat di download ke mikrokontroler. Pada kasus ini class setiap sample diberi label ada manusia dan tidak ada manusia. Pada gambar 3, masing-masing class diberikan sampel gambar kurang dari 50 sampel gambar. Untuk melakukan training model digunakan standar 50 epoch. Nilai tersebut dipilih karena jumlah sampel yang tidak kurang dari 100 sampel sehingga dapat menghindari *overfitting*.



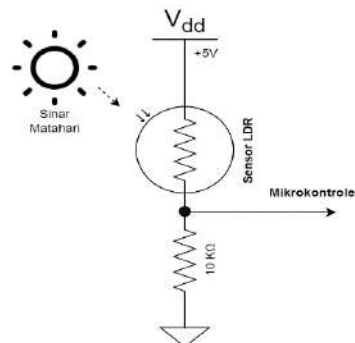
Gambar 3. Koleksi data sampel model

### Fuzzy Logic

Logika fuzzy merepresentasikan sebuah pengembangan dari logika klasik yang hanya memiliki dua nilai keanggotaan, yaitu 0 dan 1 atau salah dan benar. kebenaran suatu pernyataan dapat mengalami variasi dari sepenuhnya benar hingga salah (Eriyadi et al., 2021; Ramadhani et al., 2022; Syafitri et al., 2022). Pada penelitian (Ramadhani et al., 2022), nilai benar dan salah tidak memungkinkan digunakan pada sistem yang menganut parameter lingkungan seperti sistem pencahayaan, karena sistem pencahayaan menggunakan parameter kondisi cahaya di lingkungan. Pada perancangan sistem pencahayaan ini, nilai dari masukkan sensor cahaya dibagi atas dua pengaturan cahaya yang berbeda, yaitu Redup dan terang. Jika menelaah penelitian (Ramadhani et al., 2022), dimana nilai pengaturan cahaya dibagi atas tiga yaitu redup, terang dan mati, maka dengan sistem pencahayaan penelitian ini untuk kondisi mati dan hidup diwakili oleh deteksi yang dilakukan menggunakan machine learning. Hal tersebut menjadi pembeda karena pendekatan menggunakan machine learning memungkinkan sistem untuk lebih responsif terhadap kondisi lingkungan yang beragam.

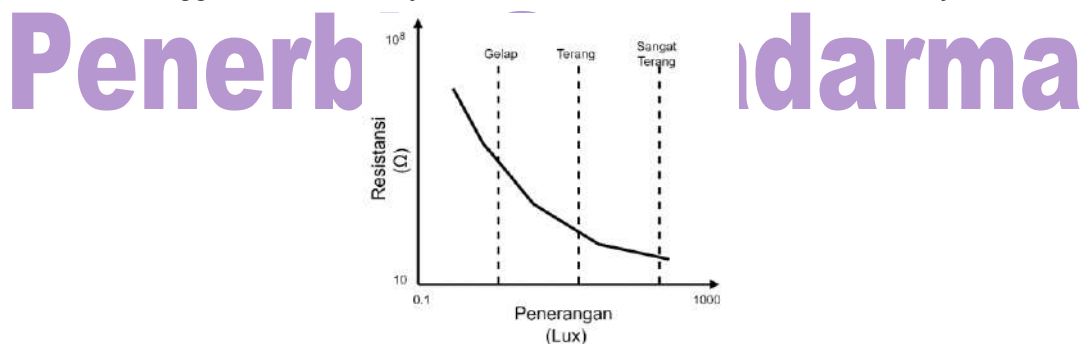
Rangkaian dasar seperti pada gambar 4 penempatan sensor cahaya dalam pembagi tegangan dengan resistor tetap, yang menghasilkan tegangan output yang berubah sesuai dengan intensitas cahaya yang diterima oleh sensor cahaya. Ketika cahaya meningkat, resistansi sensor cahaya menurun, menyebabkan tegangan output naik, dan sebaliknya, ketika cahaya berkurang, resistansi meningkat dan tegangan output turun. Ini membuatnya

ideal untuk aplikasi sensor cahaya dan kontrol otomatis di mana respons terhadap perubahan cahaya diperlukan. Hubungan antara cahaya sebagai input dan sinyal output yang dihasilkan oleh sensor cahaya dipengaruhi oleh sensitivitasnya. Intensitas cahaya yang diterima oleh sensor cahaya berbanding lurus dengan perubahan nilai resistansinya, dimana semakin tinggi intensitas cahaya, semakin rendah resistansi sensor cahaya tersebut. Nilai resistansi sensor cahaya pada tempat gelap biasanya mencapai sekitar 10 M $\Omega$  sedangkan ketika terang biasanya resistansi sensor cahaya turun menjadi sekitar 150  $\Omega$ .



**Gambar 4.** Skematik Dasar Sensor Cahaya

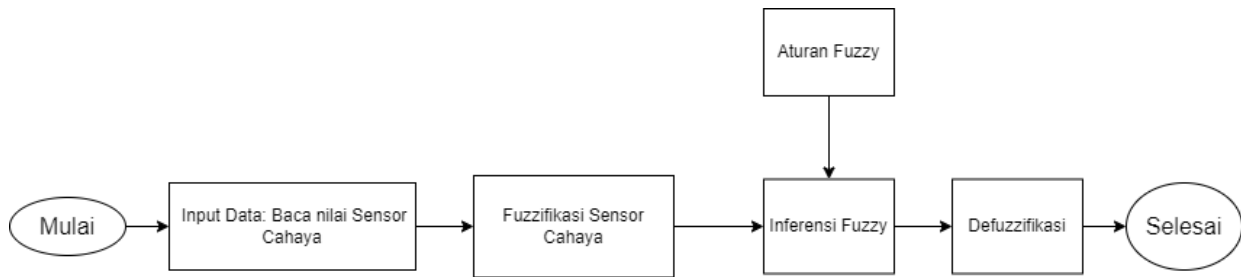
Grafik karakteristik tegangan pada sensor cahaya seperti pada gambar 5, menggambarkan hubungan terbalik antara intensitas cahaya dan tegangan sensor cahaya. Hal ini menandakan bahwa semakin tinggi intensitas cahaya, semakin rendah resistansi sensor cahaya.



**Gambar 5.** Grafik Karakteristik Sensor Cahaya

Data masukan atau input data pada sistem ini terdiri dari dua, Pertama adalah sensor cahaya: Dua sensor cahaya memberikan informasi tentang tingkat pencahayaan di dalam ruangan dan di luar ruangan. Kedua adalah Kamera (Teachable Machine): Memberikan informasi tentang keberadaan orang di ruangan. Proses pembentukan logika fuzzy seperti pada gambar 6 terdiri dari : Fuzzifikasi, Aturan Fuzzy, Inferensi Fuzzy, dan Defuzzifikasi. Fuzzifikasi adalah proses konversi nilai numerik yang diperoleh dari sensor menjadi nilai linguistik atau variabel linguistik. Dalam konteks penggunaan sensor cahaya untuk mengukur tingkat pencahayaan, fuzzifikasi akan mengubah nilai numerik yang diterima dari sensor menjadi kategori atau himpunan linguistik yang dapat dipahami oleh sistem logika fuzzy. Inferensi fuzzy adalah proses di mana aturan-aturan fuzzy dievaluasi berdasarkan kondisi input untuk menentukan tingkat pencahayaan yang sesuai berdasarkan kondisi ruangan, dalam penelitian ini sistem inferensi fuzzy menggunakan Mamdani seperti yang ditunjukkan pada gambar 7. Defuzzifikasi merupakan Konversi hasil inferensi fuzzy menjadi nilai konkret yang mewakili pengaturan

pencahayaannya yang akan diimplementasikan.



**Gambar 6.** Diagram Alir Proses Fuzzy Logic

### Potensi penghematan konsumsi listrik.

Rancangan arsitektur sistem pada gambar 1 dengan ide yang disampaikan berpotensi dalam penghematan listrik antara sebesar 10% sampai 30% penghematan listrik dengan simulasi logika fuzzy. Peran dari machine learning dalam hal ini adalah teachable machine mendukung sistem ini untuk menentukan keberadaan orang atau pekerja dalam suatu ruangan. Simulasi logika fuzzy berperan penting dalam menyesuaikan penggunaan listrik berdasarkan kondisi yang terus berubah, seperti variasi jumlah orang di dalam ruangan dan aktivitas yang mereka lakukan.

Dalam konteks ini, peran machine learning menjadi sangat krusial. Teknologi teachable machine diterapkan untuk mendukung sistem dalam menentukan keberadaan orang atau pekerja di dalam suatu ruangan. Melalui proses pembelajaran yang berkelanjutan, teachable machine dapat mengenali pola-pola keberadaan manusia berdasarkan data yang diperoleh dari berbagai sensor. Data ini kemudian diolah untuk memberikan respons yang tepat, seperti menyalakan atau mematikan perangkat listrik secara otomatis sesuai kebutuhan aktual.

### Tantangan dan Potensi Hambatan

Dalam mengimplementasikan sistem penerangan adaptif yang memanfaatkan machine learning dan logika fuzzy, terdapat sejumlah tantangan yang perlu diperhatikan guna mencapai kinerja optimal. Salah satu hal yang krusial adalah kompleksitas dalam pengumpulan dan pemrosesan data sensor, terutama dalam konteks lingkungan gedung yang cenderung besar dan beragam. Memilih sensor yang andal dan efisien menjadi langkah penting untuk memastikan akurasi pengumpulan data lingkungan yang diperlukan dalam proses pengaturan pencahayaan ruangan. Integrasi yang solid antara machine learning, logika fuzzy, serta sensor yang tepat akan mendukung pencapaian tujuan penghematan energi dan kenyamanan pengguna dalam lingkungan gedung.

Salah satu tantangan lainnya adalah kebutuhan akan interpretasi yang akurat terhadap aturan fuzzy dalam sistem. Penentuan aturan fuzzy yang tepat memerlukan pemahaman mendalam tentang kondisi lingkungan yang berubah-ubah. Oleh karena itu, memahami tantangan ini dan menerapkan strategi yang tepat dalam menafsirkan aturan fuzzy menjadi kunci dalam memastikan respons adaptif sistem penerangan. Keterbatasan daya komputasi

dan kebutuhan pemeliharaan rutin juga menjadi faktor yang perlu dipertimbangkan agar sistem dapat beroperasi secara optimal dalam jangka panjang.

Memahami bahwa implementasi praktis dari sistem penerangan adaptif juga menghadapi tantangan unik dalam hal integrasi dengan infrastruktur yang ada dalam lingkungan gedung. Proses ini memerlukan koordinasi yang baik dengan sistem manajemen gedung yang sudah ada, seperti sistem keamanan menggunakan CCTV, untuk memastikan interoperabilitas yang baik dan peningkatan efisiensi secara keseluruhan. Dengan integrasi antara simulasi logika fuzzy dan machine learning, sistem ini tidak hanya meningkatkan efisiensi energi tetapi juga menciptakan lingkungan kerja yang lebih cerdas dan responsif. Penggunaan teachable machine memastikan bahwa sistem dapat beradaptasi dengan perubahan dinamis dalam penggunaan ruangan, sementara logika fuzzy mengelola pengambilan keputusan yang optimal terkait penggunaan energi. Kombinasi teknologi ini menawarkan solusi yang cukup baik untuk tantangan penghematan listrik salah satunya di lingkungan gedung perkantoran

### **Tren Masa Depan dan Perkembangan**

Dalam konteks penerangan adaptif untuk meningkatkan efisiensi energi di ruang gedung, terdapat sejumlah tren masa depan yang berpotensi mempengaruhi pengembangan serta penerapan sistem ini. Salah satu tren yang signifikan adalah meningkatnya penggunaan Internet of Things (IoT) di lingkungan gedung. Hal ini memungkinkan integrasi sensor pintar untuk mengoptimalkan pencahayaan berdasarkan data real-time tentang kondisi lingkungan dan kehadiran orang. Selain itu, terobosan dalam teknologi sensor dan analitik data turut membuka pintu bagi pengembangan sistem penerangan adaptif yang lebih cerdas dan responsif terhadap perubahan lingkungan.

Di samping itu, juga terlihat lonjakan implementasi machine learning dalam sistem penerangan adaptif sebagai tren yang menjanjikan di masa depan. Dengan semakin melimpahnya data dan kemajuan komputasi yang terus meningkat, model-machine learning yang lebih canggih dan tepat guna dapat dikembangkan. Model ini dapat dioptimalkan untuk mengatur pencahayaan berdasarkan perilaku pengguna dan preferensi individu, memberikan kontribusi besar dalam meningkatkan kenyamanan dan produktivitas, sambil mengurangi konsumsi energi secara keseluruhan.

Namun, bersamaan dengan potensi perkembangan yang besar, juga dihadapkan pada sejumlah tantangan di masa depan. Misalnya, kekhawatiran terkait privasi data dan keamanan dalam pengumpulan serta pengolahan informasi yang sensitif oleh sistem penerangan adaptif. Selain itu, adopsi teknologi baru ini juga dipengaruhi oleh faktor eksternal seperti perubahan regulasi atau kondisi pasar. Oleh karena itu, penting bagi kita untuk terus memantau tren ini dan mengembangkan strategi adaptif agar sistem penerangan adaptif tetap relevan dan kompetitif di masa yang akan datang.

## KESIMPULAN

Metode dan konsep penerangan adaptif yang diuraikan dalam tulisan ini menggambarkan pendekatan yang inovatif dalam mengatur pencahayaan ruangan secara efisien dan responsif. Dengan menggunakan pendekatan inovatif yang melibatkan sensor cahaya dan integrasi dengan Teachable Machine, sistem penerangan adaptif yang diuraikan dalam tulisan ini telah berhasil menunjukkan potensi besar dalam meningkatkan efisiensi energi dan kenyamanan pengguna. Simulasi yang dilakukan menegaskan bahwa penggunaan teknologi ini dapat menghasilkan penghematan energi hingga 10% sampai 30% sambil meningkatkan kenyamanan visual dan produktivitas di lingkungan perkantoran. Pentingnya penggunaan machine learning, sensor cahaya dan logika fuzzy dalam menciptakan sistem yang responsif telah ditekankan, serta kesadaran terhadap aspek kenyamanan dan keamanan pengguna dalam desain pencahayaan ruangan. Dengan demikian, metode ini bukan hanya merupakan solusi untuk efisiensi energi, tetapi juga mendorong terciptanya lingkungan kerja yang lebih baik secara menyeluruh.

## REKOMENDASI KEBIJAKAN (*POLICY BRIEF*)

Sistem penerangan adaptif yang telah dijelaskan pada sub bab sebelumnya, terutama pada konsep sistem penerangan adaptif dapat dijadikan acuan dalam upaya untuk meningkatkan efisiensi energi dan mendorong keberlanjutan di Jakarta, Pemerintah Provinsi DKI Jakarta perlu mempertimbangkan implementasi sistem pencahayaan adaptif sebagai langkah strategis dalam pengelolaan energi di bangunan-bangunan perkotaan. Disamping itu Pemerintah Provinsi DKI Jakarta dapat mengeluarkan kebijakan yang merekomendasikan bangunan-bangunan kantor di wilayah DKI Jakarta untuk menggunakan sistem pencahayaan adaptif. Sistem ini akan secara otomatis menyesuaikan intensitas lampu berdasarkan kehadiran orang dan tingkat cahaya alami di ruangan. Dengan menerapkan kebijakan ini khusus untuk bangunan kantor, DKI Jakarta sebagai smart city dapat menjadi contoh dalam penggunaan teknologi hemat energi di lingkungan perkantoran, serta memberikan dorongan bagi sektor swasta untuk mengikuti langkah tersebut. Untuk menguji konsep ini secara lebih terperinci, disarankan agar Pemerintah Provinsi DKI Jakarta melakukan pilot project skala kecil dengan studi kelayakan lebih lanjut tentang implementasi sistem pencahayaan adaptif di beberapa bangunan perkotaan di Jakarta. Studi ini harus mencakup analisis biaya-manafaat, potensi penghematan energi, serta dampak lingkungan dari penggunaan teknologi ini. Langkah ini akan menjadi bentuk sosialisasi yang efektif mengenai efisiensi energi dan keberlanjutan perkotaan, sambil memastikan bahwa kebijakan yang diambil didasarkan pada data yang akurat dan analisis yang teliti.



## DAFTAR PUSTAKA

- 27-06 Teknis, K. (2020). *Konservasi Energi Pada Sistem Pencahayaan*. Badan Standarisasi Nasional. <https://akses-sni.bsn.go.id/dokumen/2020/SNI%206197-2020/#p=14>
- Ain, Q.-U., Iqbal, S., & Mukhtar, H. (2022). Improving Quality of Experience Using Fuzzy Controller for Smart Homes. *IEEE Access*, 10, 11892–11908. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2021.3096208>
- Cheng, Y., Chen, F., Yuan, J., & Zhu, L. (2020). Design and Application of a Smart Lighting System Based on Distributed Wireless Sensor Networks. *Applied Sciences*. <https://doi.org/10.3390/app10238545>
- Eriyadi, M., Abdullah, A. G., Hasbullah, H., & Mulia, S. B. (2021). Internet of things and fuzzy logic for smart street lighting prototypes. *IAES International Journal of Artificial Intelligence (IJ-AI)*, 10(3), 528. <https://doi.org/10.11591/ijai.v10.i3.pp528-535>
- Furger, F., Bernon, C., Georgé, J.-P., Pigenet, N., & Valiere, P. (2022). *Multi-Agent-Based Structural Reconstruction Of Dynamic Topologies For Urban Lighting*. [https://doi.org/10.1007/978-3-031-18192-4\\_16](https://doi.org/10.1007/978-3-031-18192-4_16)
- Gagliardi, G., Lupia, M., Cario, G., Tedesco, F., Gaccio, F. C., Scudo, F. L., & Casavola, A. (2020). Advanced Adaptive Street Lighting Systems for Smart Cities. *Smart Cities*. <https://doi.org/10.3390/smartcities3040071>
- Grari, M., Yandouzi, M., Mohammed, B., Boukabous, M., & Idrissi, I. (2024). Comparative study of teachable machine for forest fire and smoke detection by drone. *Bulletin of Electrical Engineering and Informatics*, 13(3), 1970–1979. <https://doi.org/10.11591/eei.v13i3.6578>
- Hajjaj, M., Miki, M., & Shimohara, K. (2020). The Effect of Utilizing Distributed Intelligent Lighting System for Energy Consumption in the Office. *Applied Sciences*. <https://doi.org/10.3390/app10062004>
- Ibrahim, M. S., Fan, J., Yung, W. K., Prisacaru, A., Driel, W. D. v., Fan, X., & Zhang, G. (2020). Machine Learning and Digital Twin Driven Diagnostics and Prognostics of Light-Emitting Diodes. *Laser & Photonics Review*. <https://doi.org/10.1002/lpor.202000254>
- Isdore Onyema Akwukwaegbu, Eleazar Benson Mfonobong, Jude-Kennedy Chibuzo Obichere, & Chiedozie Francis Paulinus-Nwammuo. (2023). Smart fuzzy logic-based model of traffic light management. *World Journal of Advanced Engineering Technology and Sciences*, 8(2), 344–358. <https://doi.org/10.30574/wjaets.2023.8.2.0108>
- Karapetyan, A., Chau, S. C.-K., Elbassioni, K., Azman, S. K., & Khonji, M. (2020). Multisensor Adaptive Control System for IoT-Empowered Smart Lighting with Oblivious Mobile Sensors. *ACM Transactions on Sensor Networks*, 16(1), 1–21. <https://doi.org/10.1145/3369392>
- Karyono, K., Abdullah, B. M., Cotgrave, A. J., & Bras, A. A. (2019). A Smart Adaptive Lighting System for a Multifunctional Room. *2019 12th International Conference on Developments in eSystems Engineering (DeSE)*, 990–995. <https://doi.org/10.1109/DeSE.2019.00184>
- Kim, J.-M., Son, K., & Son, S. (2020). GREEN BENEFITS ON EDUCATIONAL BUILDINGS ACCORDING TO THE LEED CERTIFICATION. *International Journal of Strategic Property Management*, 24(2), 83–89. <https://doi.org/10.3846/ijspm.2020.11097>
- Leccese, F., Salvadori, G., & Rocca, M. (2017). Critical Analysis of the Energy

- Performance Indicators for Road Lighting Systems in Historical Towns of Central Italy. *Energy*. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2017.07.093>
- Malahina, E. A. U., Hadjon, R. P., & Bisilisin, F. Y. (2022). Teachable Machine: Real-Time Attendance of Students Based on Open Source System. *The IJICS (International Journal of Informatics and Computer Science)*, 6(3), 140. <https://doi.org/10.30865/ijics.v6i3.4928>
- Naimah, K., Rahmatullah, A., As Tsabit, M. A., Akbar P, M., Kamilah, Lumban G, J. E., Hidayat, N., Alghozi, M. A., Damara, R., S, A., & S, A. (2023). Analisis Sistem Pencahayaan Pada Lantai 3 Gedung Kuliah Umum Institut Teknologi Sumatera. *ENERGI & KELISTRIKAN*, 15(1). <https://doi.org/10.33322/energi.v15i1.1978>
- Parjiman, P., Rahardjo, I. A., Subekti, M., & Sunawar, A. (2021). Analysis of electrical energy efficiency using LED in the bank building (Study case in Bank X). *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 1098(4), 042030. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/1098/4/042030>
- Rabaza, O., Molero-Mesa, E., Aznar-Dols, F., & Gómez-Lorente, D. (2018). Experimental Study of the Levels of Street Lighting Using Aerial Imagery and Energy Efficiency Calculation. *Sustainability*. <https://doi.org/10.3390/su10124365>
- Ramadhani, R. R., Yuliana, M., & Pratiarso, A. (2022). Smart Room Lighting System for Energy Efficiency in Indoor Environment. *International Journal of Artificial Intelligence & Robotics (IJAIR)*, 4(2), 48–58. <https://doi.org/10.25139/ijair.v4i2.5266>
- Syafitri, N., Ibnu Faderi, R., Suryani, D., & Labellapansa, A. (2022). Prototype of Lighting Intensity Administration in Work Room With Sound Control and Fuzzy Logic Control. *IT Journal Research and Development*, 7(1), 52–60. <https://doi.org/10.25299/itjrd.2022.10278>
- Wei, Q., & Shen, Z. M. (2019). A Smart-City Scope of Operations Management. *Production and Operations Management*. <https://doi.org/10.1111/poms.12928>
- Xie, C., El-Hajjar, M., & Ng, S. X. (2024). Machine learning assisted adaptive LDPC coded system design and analysis. *IET Communications*, 18(1), 1–10. <https://doi.org/10.1049/cmu2.12707>



## OPTIMALISASI TRANSPORTASI PUBLIK DI DKI JAKARTA DENGAN ARTIFICIAL INTELLIGENCE

**Bertinus Simanihuruk<sup>1\*</sup>, Hikma Dewita<sup>2</sup>, Herlina Trisnawati<sup>3</sup>, Jihaan Jamilah<sup>4</sup>**

<sup>1,2</sup>Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Tama Jagakarsa, Jakarta 12530, Indonesia

<sup>3</sup>Program Studi Sistem Informasi, Fakultas Teknik, Universitas Tama Jagakarsa, Jakarta 12530, Indonesia

<sup>4</sup>Mahasiswa Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Tama Jagakarsa, Jakarta 12530, Indonesia

\*Penulis Koresponden, e-mail: [bsimanihuruk@gmail.com](mailto:bsimanihuruk@gmail.com)

### ABSTRAK

Provinsi DKI Jakarta adalah satu dari provinsi dengan jumlah penduduk terpadat di Indonesia. Dengan berjalannya waktu, pengguna kendaraan yang ada di Provinsi DKI Jakarta mengalami peningkatan yang menyebabkan kemacetan. Provinsi DKI Jakarta telah melakukan upaya untuk mengatasi masalah kemacetan dengan menyediakan transportasi publik dengan fasilitas yang aman dan nyaman. Dengan adanya layanan transportasi publik yang disediakan perlu adanya pengaturan untuk integrasi layanan transportasi publik. Untuk dapat mengevaluasi kebijakan transportasi publik, perlu alat bantu berupa *artificial intelligence* (kecerdasan buatan) dalam optimalisasi pelaksanaan transportasi publik berdasarkan data-data yang ada. *Artificial intelligence* melakukan optimalisasi terhadap data yang belum dieksplorasi dari sekumpulan basis data pelaksanaan transportasi publik yang telah terlaksana, melakukan eksplorasi data dengan memanipulasi sekumpulan basis data menjadi informasi yang berharga dengan cara mengembangkan dan mengenali pola dari data informasi transportasi publik yang terlaksana sehingga data membantu dalam pengembangan transportasi publik di Provinsi DKI Jakarta.. Dengan *artificial intelligence* bisa menggali data lain yang membantu dalam integrasi transportasi publik sehingga dapat meminimalisir masalah yang terjadi saat integrasi transportasi publik di Provinsi DKI Jakarta. Dari analisis didapat beberapa kesimpulan yaitu kemacetan Provinsi DKI Jakarta merupakan masalah strategis yang harus diselesaikan, transportasi publik Provinsi DKI Jakarta harus memiliki standar layanan minimal dan *artificial intelligence* dapat menyelesaikan permasalahan transportasi publik di Provinsi DKI Jakarta. Selain ada masukan yang terbaik dari *Artificial Intelligence* yaitu integrasi moda transportasi melalui sistem pembayaran JakLingko, penggunaan teknologi dan digitalisasi dengan aplikasi JAKI, pengembangan infrastruktur transportasi dan pengadaan kendaraan untuk mendukung mobilitas berkelanjutan dan ramah lingkungan, penggunaan *smart mobility*, dan kerjasama dan *benchmarking* dengan kota lain. Selain itu ada beberapa tantangan yaitu kebutuhan pendanaan yang besar untuk pengembangan infrastruktur dan implementasi teknologi AI, perubahan perilaku masyarakat untuk bisa secara bertahap menggunakan transportasi dan kolaborasi antar pemangku kepentingan antara pemerintah, operator transportasi, dan masyarakat untuk mencapai tujuan bersama.

Kata Kunci : Optimalisasi, Transportasi Publik, DKI Jakarta, *Artificial Intelligence*

### PENDAHULUAN

Transportasi mempunyai peran penting dalam pembangunan dan pengembangan prasarana di perkotaan. Interaksi yang baik dan ideal antar unsur transportasi yang efektif, efisien dan komprehensif dapat mengoptimalkan dari fungsi transportasi di perkotaan. Peran transportasi harus disertai ketertiban dan keterlibatan aktif dari pihak yang terkait. Pertumbuhan jumlah kendaraan yang tidak sebanding dengan penambahan prasarana jalan menyebabkan terjadinya kemacetan pada jam sibuk di pagi hari dan sore hari. Kemacetan di jalan perkotaan dan jalan luar kota disebabkan oleh peningkatan jumlah kendaraan pribadi, keterbatasan

pembangunan jalan raya dan kurang optimalnya pengoperasian kendaraan umum yang tersedia (Sari, 2023). Transportasi mempunyai peran penting dalam pergerakan masyarakat Provinsi DKI Jakarta untuk memenuhi kebutuhan hidup. Kegiatan perjalanan masyarakat tidak dapat menghindari dari kemacetan lalu-lintas. Bus Transjakarta, JakLingko, *Comuter Line*, *Light Rail Transit* dan *Mass Rapid Transit* sebagai sarana umum dalam perjalanan yang perlu dikembangkan untuk mengurangi kemacetan lalu lintas. Sarana umum juga digunakan untuk melayani kota pendukung di sekitar DKI Jakarta. Rasio pertumbuhan jalan lebih kecil dari 7%, tingginya penambahan kendaraan pribadi dan layanan transportasi umum yang buruk memberikan kontribusi pada pengguna jalan dengan kepadatan yang tinggi. Upaya perubahan penggunaan transportasi berbasis jalan seperti Bus TransJakarta dan JakLingko perlu mempunyai kontribusi dengan meningkatkan mutu layanan sarana dan prasarana umum (Suryobuwono et al., 2021).

Transportasi berkelanjutan merupakan isu utama untuk kota-kota di seluruh dunia, termasuk kota pintar (*smart city*) dengan mengurangi kemacetan lalu lintas. Transportasi merupakan satu sektor penting yang dikembangkan pada *smart city*. *Intelligent energy service*, *smart mobility* dan *ICT* merupakan interkoneksi antara transportasi berkelanjutan dan *smart city*. *Konsep smart city pada transportasi di perkotaan merupakan pengembangan smart mobility sehingga menjadi sustainable smart transportation* seperti pengembangan *smart street*, *smart vehicle*, *smart parking* dan *smart mobility*. Beberapa hasil inovasi telah dikembangkan dan diimplementasikan seperti penerangan jalan umum cerdas (Pusat Studi Transportasi Dan Logistik Universitas Gadjah Mada, 2023).

Kota pintar (*smart city*) merupakan kota yang menggunakan teknologi canggih dengan tingkat kesejahteraan masyarakat sangat tinggi dan banyak tercipta sistem yang mengurangi beban biaya yang dikeluarkan pemerintah kota. Kota pintar sudah diadopsi kota maju di belahan dunia, seperti China yang telah menerapkan pada semua sudut di perkotaan dengan sistem lampu merah pintar, *zebra cross* pintar dan sistem yang lain. Kota pintar menjadi pilihan strategis dari sebuah kota. DKI Jakarta sebagai salah satu 5 (lima) kota besar di Indonesia yang seharusnya sudah mengadopsi sistem pintar dalam konsep kota pintar secara bertahap seperti China dengan sistem lalu-lintasnya dan Inggris dengan CCTV canggihnya. Masalah kemacetan setiap hari dihadapi oleh DKI Jakarta. Dengan terlaksananya E-Tilang di DKI Jakarta telah menyadarkan masyarakat sadar berlalu lintas yang membuat konsep kota pintar terwujud secara bertahap (Putra, 2019).

*Artificial intelligence (AI) atau kecerdasan buatan sering digunakan sebagai sistem teknologi untuk identifikasi dan penyelesaian masalah kompleks di bidang bisnis, perusahaan, dan pemerintahan. Tujuan utama AI adalah mengembangkan sistem atau mesin yang mempunyai kemampuan berpikir layaknya seperti manusia. Manusia dan AI dapat bekerja secara bersamaan dalam membuat keputusan yang tidak dipengaruhi oleh nilai pribadi manusia. Kecerdasan buatan mengungguli manusia dalam pemecahan masalah dengan tingkat ketidakpastian dan kompleksitas yang rendah serta kemampuan analisis yang tinggi, sementara manusia mengungguli AI dalam pemecahan masalah dengan tingkat ketidakpastian dan kompleksitas yang lebih tinggi serta persyaratan kemampuan analisis yang rendah (Wahyudi, 2023). Kecerdasan buatan menjadi teknologi yang diandalkan untuk yang menggunakan teknologi, utiliti, dan sistem mobilitas yang inovatif bagi warga kota. Kecerdasan buatan menjadi tulang punggung bagi smart city dalam memberikan mutu hidup lebih baik, kemudahan dalam transaksi, pertumbuhan bisnis digital dan terwujudnya pembangunan berkelanjutan berbasis teknologi. Teknologi yang harus dimiliki smart city dapat melakukan*

proses data dengan big data yang diproses dengan kecepatan tinggi yang dapat menelaah big data secara kompeten untuk membuat perkiraan dan solusi yang efektif terhadap biaya dengan teknologi yang inovatif. Di industri transportasi, teknologi AI yang terintegrasi dengan *traffic management system* sehingga mengurangi kepadatan dan kecelakaan lalu lintas. Kecerdasan buatan membantu menurunkan polusi udara akibat emisi kendaraan bermotor. Kecerdasan buatan dapat mendeteksi kejahatan di jalanan dengan sebenarnya yang terintegrasi dengan sistem kamera di jalan raya sehingga memudahkan petugas keamanan menangani masalah (Treestayanti, 2022). Dengan adanya kebutuhan layanan transportasi publik di DKI Jakarta yang aman dan nyaman dalam menyongsong *smart city* perlu dibantu dengan teknologi *artificial intelligence* sehingga layanan transportasi publik di DKI Jakarta memberikan rasa aman dan nyaman untuk digunakan oleh masyarakat DKI Jakarta.

## STATE OF THE ART

Dalam memahami Optimalisasi Transportasi Publik Dengan Menggunakan Artificial Intelligence yang berkaitan dengan Smart City maka ada beberapa kajian yang menjadi dasar kajian yaitu

1. Dari penelitian Evaluasi Penerapan Mobilitas Cerdas (*Smart Mobility*) di Jakarta yang dilakukan oleh Audrea Sifa Novwidia Agni dan kawan-kawan pada tahun 2021 yang dapat disimpulkan konsep Kota Pintar (*Smart City*) telah diimplementasi pada kota-kota besar di Indonesia, termasuk implementasi Kota Pintar yang telah dilakukan oleh Provinsi DKI Jakarta. Salah satu bagian dari konsep Kota Pintar adalah implementasi Mobilitas Cerdas (*Smart Mobility*) yang dapat menyelesaikan permasalahan layanan transportasi di perkotaan, khususnya layanan transportasi umum agar terjadi peningkatan mutu layanan transportasi umum yang efektif serta efisien. Dari hasil penelitian didapat hasil bahwa Provinsi DKI Jakarta sudah menerapkan Mobilitas Cerdas dengan telah dilakukannya perbaikan transportasi umum dan pengadaan kendaraan umum secara berkala (Agni et al., 2021). Dari hasil kajian didapat bahwa Provinsi DKI Jakarta telah menerapkan Mobilitas Cerdas dengan melakukan perbaikan layanan transportasi umum dan telah mengadakan kendaraan umum secara bertahap.
2. Dari penelitian Margaretha dan kawan-kawan tentang Optimalisasi terhadap Implementasi pada Mobilitas Cerdas (*Smart Mobility*) di Provinsi DKI Jakarta pada tahun 2023 yang dapat disimpulkan yaitu untuk mewujudkan visi dari Kota Pintar (*Smart City*) pada Provinsi DKI Jakarta telah berhasil menggunakan teknologi informasi dan komunikasi untuk mengimplementasikan konsep Kota Pintar dengan baik. Dari hasil analisis didapat hasil bahwa Provinsi DKI Jakarta sudah menggunakan indikator bergerak bebas dengan sistem tempat peralihan transportasi yang sudah terintegrasi dengan layanan transportasi yang bisa di akses dengan mudah. Upaya peningkatan untuk layanan transportasi umum yang optimal dengan indikator mobilitas lebih rendah (*less mobility*) dan waktu jarak tempuh pendek (*less travel time*) (Margaretha et al., 2023). Dari hasil penelitian didapat bahwa Provinsi DKI Jakarta telah mengimplementasikan salah satu indikator Kota Pintar dengan penggunaan teknologi informasi dan komunikasi di dalam layanan transportasi umum.
3. Dari hasil kajian bersama yang dilakukan oleh Dinas Perhubungan DKI Jakarta dan Google Indonesia tentang Artificial Intelligence Solusi Urai Kemacetan Jakarta telah melakukan uji coba penggunaan *Intelligent Traffic Control System* yang menggunakan teknologi Platform AI pada 5 (lima) ruas jalan utama di Provinsi DKI Jakarta di awal tahun 2023 yaitu ruas Jalan Imam Bonjol, Pangeran Diponegoro, Proklamasi, Pramuka, dan Pemuda. Penggunaan teknologi AI dari aplikasi Platform Google dengan bantuan Google Maps



telah menganalisis hasil dari volume lalu lintas pada 5 (lima) ruas jalan yang telah diuji coba dan membuat rekomendasi terhadap persimpangan jalan yang diberi durasi menyalanya lampu hijau lebih panjang sehingga tingkat kepadatan volume kendaraan di persimpangan jalan dapat terurai.. *Platform AI Google* digunakan untuk menganalisis data besar dari lalu lintas di persimpangan yang dihasilkan dari data *Google Maps* yang telah direkam untuk memprediksi lalu lintas di persimpangan, memprediksi lokasi terjadinya kemacetan lalu lintas dan pengembangan rencana dalam mengambil kebijakan di masa mendatang. Platform teknologi AI yang digunakan merupakan mesin untuk pembelajaran terhadap lalu lintas di persimpangan jalan dan mesin untuk penyimpanan data lalu lintas yang terkumpul dalam sistem data awan (*cloud*) yang digunakan dalam mengatur waktu lampu merah agar bisa bekerja dengan otomatis. Setiap lampu merah dilengkapi dengan *platform* teknologi AI untuk menentukan waktu lampu hijau menyala secara ideal di persimpangan jalan agar terhindar dari penumpukan kendaraan dan platform teknologi AI mengatur waktu lampu lalu lintas yang bekerja dengan otomatis sehingga bisa menguraikan kemacetan di persimpangan jalan. Penggunaan *platform* teknologi AI juga bisa menolong masyarakat untuk menggunakan bahan bakar kendaraan secara efisien dan dapat mengurangi polusi udara akibat asap kendaraan (Dinas, 2023). Dari hasil uji coba *platform* teknologi AI dari *Google* didapat hasil bahwa Pemerintah Provinsi DKI Jakarta bisa menyelesaikan permasalahan kemacetan di persimpangan jalan, menghemat penggunaan bahan bakar dan mengurangi polusi udara akibat asap kendaraan

Dari 3 (tiga) kajian di atas, ada beberapa hal yang dibahas yaitu kemacetan, transportasi publik, kota pintar (*smart city*), *smart mobility*, *artificial intelligence*, dan optimilisasi transportasi publik di DKI Jakarta untuk menjawab optimalisasi Tranportasi Publik di DKI Jakarta dengan *Artificial Intelligence*.

### **Kemacetan di Provinsi DKI Jakarta**

Keadaan lalu lintas di suatu jalan merupakan hasil perilaku dari pengguna lalu lintas di jalan. Perilaku pengguna lalu lintas merupakan hasil gabungan dari perilaku antara manusia, kendaraan, dan jalan pada lingkungan tertentu. Pemakai jalan atau manusia, kendaraan, jalan dan lingkungan merupakan unsur utama dalam transportasi jalan raya. Rekayasa lalu lintas dilakukan untuk mengatasi permasalahan yang muncul akibat dari pertumbuhan lalu lintasi di jalan. Pertumbuhan lalu lintas setiap tahun mengakibatkan peningkatan kebutuhan prasarana sehingga menimbulkan kemacetan. Kemacetan lalu lintas merupakan masalah transportasi perkotaan yang sangat mengganggu aktifitas penduduk. Kemacetan yang terjadi di Provinsi DKI Jakarta merupakan hal umum bagi kita semua. Selain itu, hampir semua masyarakat di perkotaan merasakan kemacetan lalu lintas setiap hari..

Berdasarkan data pada Lampiran II RPJMN (Rencana Pembangunan Jangka Menengah Nasional) tahun 2020-2024, Provinsi DKI Jakarta merupakan kota ke-7 termacet di dunia yang menyebabkan kerugian dari akibat kemacetan lalu lintas sebesar Rp. 65 triliun/tahun, emisi udara yang tinggi dengan dampak biaya kesehatan akibat sektor transportasi mencapai Rp. 4,2 milyar dollar/tahun. Dalam RPJMN, Provinsi DKI Jakarta masuk dalam rencana strategis untuk sistem angkutan umum massal di 6 wilayah metropolitan. Manfaat yang didapat dari pelaksanaan sistem adalah untuk mengurangi kerugian ekonomi dari akibat kemacetan lalu lintas di wilayah metropolitan, target dari penurunan akibat emisi gas rumah kaca dan meningkatkan mobilitas masyarakat di wilayah perkotaan.



Program Pemerintah Pusat dan Provinsi DKI Jakarta untuk menanggulangi kemacetan lalu lintas yaitu

1. Pemberlakuan Ganjil Genap bagi Kendaraan Pribadi Roda Empat  
Pemberlakuan ganjil genap bagi kendaraan pribadi roda empat pada jalan-jalan yang telah ditetapkan oleh Polda DKI Jakarta.
2. Pembangunan MRT  
MRT Jakarta terbangun dari Jalan M.H. Thamrin sampai Lebak Bulus. Rencana MRT koridor Selatan Utara sepanjang  $\pm 110.8$  km dari Lebak Bulus-Kampung Bandan. Rencana MRT koridor Timur Barat sepanjang  $\pm 87$  km.
3. Penambahan Armada Transjakarta  
Penambahan armada mulai dialokasikan dalam membuka rute di penyangga Provinsi DKI Jakarta yaitu Bogor, Tangerang, Bekasi, Depok dan Serpong. Pada saat ini, jumlah total armada Bus TransJakarta sebanyak 1.233 bus. Jumlah armada tersebut milik PT. TransJakarta, dan 8 mitra operator yang bekerja sama dengan PT. TransJakarta. Ada 244 armada bus yang dimiliki oleh PT. TransJakarta yang terdiri dari 66 bus single, 172 bus gandeng dan 6 bus tingkat. Kementerian Perhubungan telah memberikan bantuan untuk BRT (Bus Rapid Transit) single sebanyak 600 armada.
4. Membangun Jalan Layang  
Pemerintah Provinsi DKI Jakarta juga membangun Jalan Layang untuk mengatasi kemacetan di persimpangan.

Selain itu dalam mengatasi kemacetan, Pemerintah Provinsi DKI Jakarta melakukan langkah-langkah lain yaitu

1. Meningkatkan ketersediaan hunian di lokasi strategis dapat mengurangi jarak tempuh masyarakat sehingga mengurangi kemacetan. Hunian diperuntukkan bagi kelas menengah dan masyarakat berpenghasilan rendah. Penerapan konsep yang dapat mengurangi kemacetan ini.
2. Meningkatkan ketersediaan fasilitas parkir yang dekat dengan Stasiun KRL, MRL dan LRT.
3. Membuat jalur terpisah bagi pengendara sepeda motor.

### **Transportasi Publik Di DKI Jakarta**

Pergerakan manusia tumbuh di Jabodetabek, khususnya di Provinsi DKI Jakarta yang membutuhkan transportasi umum handal. Transportasi umum mempunyai peran penting bagi pergerakan masyarakat Provinsi DKI Jakarta untuk memenuhi kebutuhan sehari-hari. Kegiatan masyarakat dalam melakukan perjalanan setiap hari tidak dapat menghindari kemacetan lalu lintas. Ketersediaan sarana dan prasarana transportasi umum seperti Bus TransJakarta dan Kereta Commuter Line untuk perjalanan di dan antar kota perlu dikembangkan untuk mengatasi kemacetan dan mengurangi kecelakaan lalu lintas. Untuk itu layanan transportasi harus direncanakan seoptimal mungkin. Perencanaan transportasi adalah perencanaan sistem transportasi sistematis dalam menyediakan layanan transportasi umum dalam bentuk sarana dan prasarana sesuai dengan kebutuhan transportasi masyarakat. Dalam perencanaan transportasi perlu mempertimbangkan kebutuhan di masa depan dan model perencanaan harus memenuhi kebutuhan masyarakat sehingga masyarakat tertarik dalam menggunakan transportasi umum (Suryobuwono et al., 2021).

Dalam meningkatkan daya tarik masyarakat, transportasi umum memiliki 6 (enam) standar layanan yaitu keselamatan, kenyamanan, keamanan, keterangkauan, kesetaraan dan keteraturan. Integrasi dari beberapa moda transportasi umum harus dikembangkan sebagai

salah satu upaya untuk mengurangi kemacetan lalu lintas yang terjadi dan memberikan kemudahan untuk pengguna dalam mencapai tujuan. Bentuk integrasi antar moda transportasi umum dengan menyediakan prasarana pada titik simpul transportasi umum. Pemerintah Provinsi DKI Jakarta telah menyediakan sarana bus TransJakarta untuk melayani pergerakan masyarakat. Pemerintah Provinsi DKI Jakarta melibatkan pihak swasta juga menyediakan sarana bus yang terhubung dengan Jak Lingko. Sistem ini menghubungkan beberapa moda transportasi diantaranya MRT Jakarta, LRT Jakarta, TransJakarta, dan KRL Commuterline. Semua jenis moda transportasi yang terintegrasi, pembayaran dengan sistem elektronik dan tarif yang tetap, serta sistem operasi terintegrasi. Layanan transportasi umum yang terintegrasi di Provinsi DKI Jakarta tidak hanya mengintegrasikan antar bus besar, bus medium dan angkot tetapi juga menggabungkan dengan transportasi yang berbasis rel yang dimiliki oleh Provinsi DKI Jakarta dan KAI yaitu menggabungkan penggunaan LRT, MRT, TransJakarta, JakLingko, KRL, dan Kereta Bandara serta pembayaran pada pintu tol di wilayah Jabodetabek (Handayani et al., 2021).

### **Kota Pintar (*Smart City*)**

Kota pintar (*smart city*) yaitu pengelolaan dan pengembangan sebuah perkotaan dengan menggunakan teknologi informasi dan komunikasi (TIK) untuk memberdayakan sumber daya di dalam kota agar bisa efektif dan efisien dalam layanan masyarakat dan mendukung pembangunan yang berkelanjutan. Penggunaan TIK untuk menghubungkan memonitor dan mengendalikan sumber daya di dalam kota. (Devega, 2017). Menurut Professor Dr. Rudolf Giffinger dan tim risetnya, ada 6 (enam) indikator yang membangun keberhasilan sebuah *smart city* (Chusna, 2023) yaitu:

1. **Ekonomi Cerdas (*Smart Economy*)**  
Ekonomi Cerdas adalah Ekonomi masyarakat dalam pengelolaannya menggunakan teknologi informasi dan komunikasi (TIK) sehingga ekonomi masyarakat bisa bertumbuh dan berkembang. Dalam ekonomi cerdas, sumber daya manusia harus berkembang secara adaptif terhadap peluang di era ekonomi digital dan menghasilkan iklim investasi yang adaptif dengan menggunakan TIK sehingga menghasilkan langkah berkelanjutan dalam era ekonomi yang kompetitif
2. **Lingkungan Cerdas (*Smart Environment*)**  
Lingkungan Cerdas adalah pengelolaan lingkungan dengan menggunakan TIK sehingga menghasilkan lingkungan yang sehat. Pengelolaan lingkungan termasuk pengelolaan sampah, limbah serta polusi dan air sehingga bisa memberikan manfaat bagi masyarakat.
3. **Hidup Cerdas (*Smart Living*)**  
Hidup cerdas adalah masyarakat yang menggunakan TIK untuk meningkatkan kualitas hidup masyarakat yang nyaman dan kondusif dengan tercukupinya sarana dan prasarana dengan kondisi terbaik.
4. **Mobilitas Cerdas (*Smart Mobility*)**  
Mobilitas Cerdas adalah *transportasi umum bagi masyarakat menggunakan TIK* dalam rangka peningkatan layanan transportasi bagi masyarakat.
5. ***Smart People***  
*Smart people* adalah masyarakat yang mampu menggunakan teknologi informasi dan komunikasi (TIK) sehingga memiliki keunggulan dan mampu beradaptasi dengan tetap mempertahankan norma dan sopan santun
6. ***Smart Governance***  
*Smart Governane* merupakan sistem pemerintah yang menggunakan TIK yang memberikan layanan masyarakat dengan konsep digital.

Pada kuliah umum Ilmu Administrasi Negara di Fakultas Ilmu Administrasi Universitas

Indonesia (FIA UI), Yudhistira Nugraha menambahkan 1 (satu) indikator selain 6 (enam) indikator sebelumnya yaitu *Smart Branding* (FIA UI, 2023). *Smart Branding* merupakan identitas wilayah yang mempunyai image yang mudah dikenali yang dijadikan motivasi untuk mencapai tujuan.

Provinsi DKI Jakarta menjadi contoh kota besar di Indonesia dalam penerapan kota pintar (*smart city*) dalam upaya percepatan pembangunan. Provinsi DKI Jakarta telah memenangkan Sustainable Transport Award (STA) dan menjadi kota pertama di Asia Tenggara yang mendapatkan penghargaan STA dalam menerapkan kota pintar. Keberhasilan dapat dicapai berkat upaya Pemerintah Provinsi DKI Jakarta mengintegrasikan antar moda transportasi dan membangun jalur jalan yang rama terhadap pengendara sepeda dan pejalan kaki. Pengembangan sistem transportasi yang dilakukan oleh Pemerintah Provinsi DKI Jakarta merupakan aspek penting konsep *smart mobility* dan mencapai target yang berarti untuk mewujudkan kota pintar (Firdausi, 2021).

### **Mobilitas Cerdas (*Smart Mobility*)**

Dunia sudah memasuki era Revolusi Industri 4.0. Di era revolusi ini, teknologi informasi dan komunikasi digunakan untuk mencapai efisiensi dan efektifitas dalam mencapai tujuan. Penggunaan TIK pada sistem transportasi digunakan untuk pengembangan transportasi publik, salah satunya aplikasi *smart mobility*. *Smart mobility* adalah sistem transportasi yang menggunakan TIK untuk menyelesaikan masalah transportasi yang didukung dengan perangkat computer, teknologi elektronik dan telekomunikasi untuk dapat memberikan kemudahan dan efisiensi dari segi waktu, biaya ataupun sumber daya manusia serta ramah lingkungan. Salah satu bentuk penggunaan *smart mobility* dengan pengintegrasian antar moda transportasi dengan sistem pembayaran (Firdausi, 2021).

Konsep *smart mobility* melibatkan pengembangan transportasi berbasis TIK untuk peningkatan layanan transportasi umum agar transportasi umum bisa digunakan secara mudah, aman, nyaman, cepat dan terjangkau. *Smart mobility* memungkinkan pemenuhan kebutuhan dengan pergerakan minimal dan efisien. Penggunaan *Smart mobility* meningkatkan pergerakan pengguna sehingga penggunaan *smart mobility* bisa mengurangi biaya, memperkecil dampak lingkungan dan mempersingkat waktu perjalanan. Ada 3 (tiga) kriteria pada *smart mobility* yaitu

1. Responsif artinya sistem yang dapat memenuhi kebutuhan dan harapan dari pengguna terhadap pergerakan yang sebenarnya.
2. Inovatif artinya sistem memungkinkan pergerakan pengguna yang efektif dan efisien.
3. Kompetitif artinya sistem secara kuantitatif dan kualitatif bisa bekerja secara optimal lebih dari hanya sekadar penambahan sistem.

Karakteristik dianalisis melalui sistem matriks yang menjelaskan kondisi awal sebagai tahapan awal untuk mewujudkan kota pintar. Matriks digunakan sebagai panduan awal untuk menetapkan indikator dan harapan di masa mendatang yang berhubungan dengan tahapan pada mobilitas cerdas. Mobilitas cerdas melibatkan 3 (tiga) aspek yaitu

1. Mobilitas rendah dengan pergerakan pengguna terhadap perjalanan harian rata-rata terendah.
2. Bergerak bebas dengan pergerakan dengan tingkat kemudahan pergerakan sebanyak mungkin.
3. Waktu tempuh lebih singkat untuk mewujudkan kota pintar dengan waktu perjalanan harian rata-rata seminimal mungkin.

Perumusan pencapaian mobilitas cerdas merupakan bagian dari 6 (enam) komponen dari kota cerdas untuk tujuan mencapai mobilitas cerdas. Pada konteks mobilitas cerdas melibatkan mobilitas lebih rendah, pergerakan pengguna yang bebas dan waktu tempot perjalanan singkat, serta ada metode pengukuran untuk menganalisis dan mengevaluasi mobilitas yang terjadi di sebuah kota. Metode pengukuran disusun dalam tabel yang menghubungkan antar variabel yang mempengaruhi ketiga aspek mobilitas cerdas serta mencari keadaan yang ideal bagi variabel-variabel tersebut. (Margaretha et al., 2023).

Provinsi DKI Jakarta telah melakukan pengintegrasian antar moda transportasi dengan membuat titik simpul pertemuan antara stasiun perhentian MRT, LRT, dan kereta commuter line dengan halte bus TransJakarta dan tempat perhentian angkot JakLingko. Pengintegrasian titik simpul pertemuan memudahkan terjadinya perpindahan antar moda transportasi umum. Pengembangan dan peningkatan integrasi antar moda transportasi umum beriringan dengan pengembangan dan peningkatan integrasi sistem pembayaran. Secara bertahap sudah dilakukan integrasi sistem pembayaran antar moda transportasi di Provinsi DKI dengan menggunakan kartu elektronik yang berfungsi sebagai uang elektronik (*e-money*) untuk pengganti uang tunai yang dikeluarkan oleh beberapa bank. Uang elektronik ini dapat digunakan pada berbagai jenis transaksi untuk penggunaan moda transportasi seperti transaksi MRT, LRT, TransJakarta, kereta commuter line dan JakLingko. Uang elektronik juga digunakan dalam pembayaran jalan tol dan pembayaran parkir.

Penerapan integrasi antar moda transportasi dengan sistem pembayaran dengan uang elektronik di Provinsi DKI Jakarta memberikan dampak terhadap pengguna yang pergantian penggunaan transportasi dengan jalan kaki dengan jarak dekat sehingga penggunaan transportasi juga lebih ramah lingkungan. Penerapan layanan transportasi umum yang terintegrasi dengan biaya terjangkau untuk tujuan menarik minat pengguna kendaraan pribadi mulai menggunakan kendaraan umum untuk pergerakan dari satu tempat ke tempat lain. Sistem transportasi umum terintegrasi dan perubahan penggunaan kendaraan pribadi ke kendaraan umum dapat mengurangi kemacetan lalu lintas dan memperlancar lalu lintas serta menurunkan polusi kendaraan dan polusi suara. Penerapan *mobilitas cerdas* merupakan perwujudan kota pintar yang berdampak terintegrasinya transportasi umum bagi masyarakat sehingga terjadi pergerakan dari satu tempat ke tempat lain secara efektif dan efisien serta cepat. Penggunaan sistem terintegrasi secara ideal membantu masyarakat untuk mengakses berbagai layanan publik dan sistem dapat memberikan masukan terhadap keluhan atau ketidaknyamanan dalam penggunaan transportasi umum. (Firdausi, 2021)..

### ***Kecerdasan Buatan (Artificial Intelligence)***

Teknologi informasi dan komunikasi (TIK) berkembang dengan cepat. Satu terobosan yang telah berpengaruh dalam kehidupan manusia adalah penggunaan kecerdasan buatan (*artificial Intelligence* atau AI). Metode *Artificial intelligence* telah menjadi pondasi dalam berbagai bidang dan memberikan dampak yang besar dalam kehidupan, mulai dari cara bekerja, bersosialisasi, sampai pada tahap pengambilan keputusan. Metode *Artificial intelligence* merupakan ilmu dan teknik yang mempelajari suatu mesin cerdas buatan yang dapat memberikan keputusan atau rekomendasi bagi penggunanya. Kecerdasan merupakan kecerdasan mesin seperti kecerdasan yang dimiliki manusia seperti sebuah komputer yang dapat mengambil keputusan untuk menyelesaikan permasalahan yang kompleks yang hasil kecerdasannya seperti pemikiran seorang manusia (Haag dan Keen. 1996).

Metode AI mencakup berbagai pendekatan dan teknik yang digunakan untuk mengembangkan sebuah sistem yaitu:

1. **Mesin Pembelajaran (*Machine Learning*)**

Mesin pembelajaran merupakan mesin kecerdasan buatan yang menggunakan sistem kemampuan belajar otomatis dari kumpulan data yang tersedia untuk melakukan tugas yang diinstruksikan tanpa diprogram secara langsung. Jenis pembelajaran mesin ada 2 (dua) yaitu pembelajaran yang terawasi (*supervised learning*) dan pembelajaran yang tidak terawasi (*unsupervised learning*) (Mahesh, 2020).

2. **Jaringan Saraf Tiruan (*Artificial Neural Network*)**

Jaringan Saraf Tiruan merupakan jaringan sara yang dirancang seperti otak manusia untuk tujuan melaksanakan tugas yang diinstruksikan. Jaringan diimplementasikan dengan penggunaan sebuah komponen elektronik atau data dimasukkan pada sebuah aplikasi komputer (Vanneschi & Castelli, 2018).

3. **Pengolahan Bahasa Alami (*Natural Language Processing*)**

**Pengolahan Bahasa Alami** adalah penggunaan kecerdasan buatan pada linguistik komputasional (*computational linguistic*) untuk mengkaji dan menganalisis interaksi antara kemampuan komputer dengan bahasa manusia. Pengelolaan Bahasa Alami biasa juga disebut NLP berupaya untuk memecahkan permasalahan bahasa alami manusia dengan segala bentuk aturan gramatika dan semantik yang berlaku serta mengubah bahasa tersebut menjadi representasi bahasa forma yang diproses oleh mesin kecerdasan buatan.

4. **Penglihatan Komputer (*Computer Vision*)**

*Penglihatan Komputer* merupakan penggunaan kecerdasan buatan untuk menganalisis setiap gambar atau video secara otomatis oleh platform kecerdasan buatan untuk mendapatkan suatu pemahaman mengenai gambar atau video yang dianalisis.

Gabungan beberapa AI dan kemampuan komputasi yang semakin baik membuka peluang untuk menciptakan penemuan yang luar biasa dalam berbagai bidang, termasuk otomasi industri, kesehatan, transportasi otonom, dan banyak lagi. Salah satu bidang yang mengalami dampak kemajuan teknologi dari AI adalah sektor transportasi dengan kemampuannya untuk mengolah data dalam jumlah besar, mengambil keputusan cepat, dan belajar dari pengalaman, telah mengakibatkan perubahan yang substansial dalam dunia transportasi.

Penggunaan kecerdasan buatan (AI) dalam sektor transportasi, khususnya dalam mengurangi kemacetan lalu lintas dengan memberikan solusi yang berkelanjutan. Dari data lalu lintas yang didapat melalui sensor lalu lintas, CCTV, dan sistem pemantauan, dapat menjadi dasar informasi untuk mengurangi kemacetan lalu lintas. Menggunakan teknik-teknik AI, data yang terkumpul dianalisis sehingga dapat diidentifikasi pola-pola pada lalu lintas. Adapun beberapa cara yang dapat digunakan dalam mengurangi kemacetan lalu-lintas dengan menggunakan teknologi AI adalah:

1. **Analisis Data Lalu-Lintas**

Dari data yang terkumpul melalui sensor lalu lintas, CCTV, serta sistem pemantau dianalisis untuk mengetahui pola lalu lintas yang terjadi selama ini. Seperti kapan terjadinya kepadatan dan berapa lama waktu perjalanan. Dengan Teknik AI menggunakan algoritma cerdas seperti *machine learning* dapat mengetahui pola kemacetan, rute-rute yang rentan terjadinya kemacetan serta memberikan data waktu sebenarnya dari kondisi lalu lintas yang terjadi kepada para pengendara.

2. **Prediksi Kemacetan**

Data yang terkumpul selain dapat dianalisis untuk mendapatkan pola lalu lintas, dapat juga digunakan untuk memprediksi kemacetan masa mendatang dengan menerapkan Teknik



AI, seperti algoritma machine learning dan jaringan neural. Dalam analisis prediktif, model dapat dilatih untuk mengidentifikasi faktor-faktor yang berkontribusi pada terjadinya kemacetan, seperti acara besar, kondisi cuaca, atau kejadian tak terduga lainnya. Dengan memanfaatkan informasi ini, sistem dapat memberikan peringatan dini kepada pengguna jalan tentang kemungkinan kemacetan di suatu area atau rute tertentu.

### 3. Pengoptimalan Rute

Melalui data lalu lintas yang terkumpul juga dapat digunakan untuk pencarian rute perjalanan yang optimal sehingga dapat menghindari dari rute yang terjadi kemacetan. Penerapan teknik AI algoritma pencarian rute terbaik (*route optimization*), penggunaan data real-time tentang kondisi lalu lintas saat ini dapat memberikan alternatif solusi untuk menggunakan rute yang lebih cepat sehingga dapat menghinrute ungkinkan sistem untuk menyarankan rute alternatif yang lebih cepat sehingga terhindar dari jalur-jalur yang terjadi kemacetan. Dengan memberikan solusi alternatif dalam pengambilan Keputusan untuk memilih rute-rute yang optimal pada waktu yang tepat, sistem ini dapat membantu mengurangi kemacetan dan mengurangi waktu tempuh yang lama.

### 4. Pengelolaan Persimpangan Lampu Lalu Lintas

Dengan teknik AI data lalu lintas juga dapat digunakan untuk mengoptimalkan pengaturan persimpangan lampu lalu lintas. Untuk itu data yang dikumpulkan adalah data dari arus lalu lintas di setiap persimpangan, AI dapat mengatur waktu lampu merah dan lampu hijau agar lebih efisien. contoh, mengidentifikasi rute-rute yang paling padat, sistem akan memberikan waktu yang lebih lama pada fase lampu hijau untuk rute tersebut, sehingga dapat memotong waktu tunggu lebih cepat sehingga akan berdampak dengan meningkatkan gerakan alur lalu lintas.

### 5. Integrasi dengan Sistem Transportasi Lainnya

Analisis data lalu lintas menggunakan Teknik AI juga dapat dimanfaatkan untuk melakukan integrasi dengan sistem transportasi lainnya, contohnya transportasi umum atau aplikasi ride-sharing. Dengan menggunakan data lalu lintas yang real-time juga, sistem ini dapat menyediakan layanan informasi tentang ketersediaan transportasi umum, perkiraan waktu kedatangan, atau memberikan saran sebagai Solusi alternatif untuk penggunaan moda transportasi yang lebih efisien. Manfaatnya yang didapat dengan menggunakan sistem ini adalah meningkatkan jumlah penumpang transportasi umum agar dapat mengurangi jumlah kendaraan di jalan, sehingga mengurangi kemacetan.

Ada banyak software AI yang umum dan khusus yang bisa digunakan untuk menyelesaikan masalah transportasi publik seperti ChatGPT, Gemini, Cici, Claude, AI Chatting, Bing, AI yang terintegrasi dengan perangkat keras dan AI yang lain baik yang berbayar maupun yang tidak berbayar.

Penerapan AI untuk menghadapi dinamika perkembangan kota modern dipenuhi tantangan transportasi yang kompleks. Dengan AI diharap dapat mengubah paradigma perencanaan dan pengelolaan sistem transportasi kota. hal ini melibatkan beberapa aspek krusial yaitu, prediksi lalu lintas, optimalisasi rute transportasi umum, keselamatan lalu lintas, dan keberlanjutan(Freepik, 2024). Langkah sudah dilakukan oleh Dinas Perhubungan Pemerintah Provinsi DKI Jakarta dengan Google Indonesia diiterapkan *Intelligent Traffic Control System* yang menggunakan platform AI yang diuji coba pada 5 persimpangan jalan didapat hasil yaitu

1. Terjadinya efisiensi terhadap pengurangan waktu tundaan atau waktu tunggu dari kendaraan di persimpangan menjadi 15- 20%.
2. Mengurangi tingkat emisi kendaraan dan konsumsi penggunaan bahan bakar kendaraan.



3. Data pergerakan real time kendaraan yang didapatkan dapat dianalisis untuk digunakan sebagai penetapan strategi dan kebijakan transportasi yang ada di Provinsi DKI Jakarta. Hasil ITCS dapat diterapkan di semua persimpangan yang menjadi data dalam perencanaan transportasi publik di Provinsi DKI Jakarta.

### **Optimalisasi Transportasi Publik Di DKI Jakarta Dengan *Artificial Intelligencce***

Untuk mengetahui penggunaan AI maka dilakukan beberapa uji coba *software* AI tidak berbayar terhadap Optimalisasi Transportasi Publik di DKI Jakarta dengan *Artificial Intelligencce*. Pada uji coba dilakukan terhadap tiga AI yaitu ChatGPT, Gemini, dan Cici. Pada saat uji coba dimasukan kata Optimalisasi Transportasi Publik di DKI Jakarta Menuju Smart City.

Hasil dari ChatGPT terhadap pernyataan Optimalisasi Transportasi Publik di Provinsi DKI Jakarta Menuju Smart City yang dituliskan didapatkan tahapan penyelesaian yang dilakukan oleh Provinsi DKI Jakarta yaitu:

1. Integrasi Moda Transportasi melalui sistem pembayaran JakLingko.
2. Penggunaan Teknologi dan Digitalisas dengan aplikasi JAKI yang menyediakan informasi transportasi, rute, jadwal, dan tarif, serta fitur interaksi masyarakat dengan pemerintah dan layanan publik lainnya.
3. Pengembangan Infrastruktur Transportasi dan pengadaan kendaraan untuk mendukung mobilitas yang lebih berkelanjutan dan ramah lingkungan serta menyediakan jalur sepeda dan pejalan kaki untuk mendukung mobilitas non-motor.
4. Smart Mobility untuk mengoptimalkan layanan transportasi publik yang mencakup monitoring kondisi lalu lintas secara real-time, pengelolaan transportasi berbasis data, dan penerapan teknologi canggih pada armada transportasi umum seperti bus listrik dan Mikrotrans.
5. Kerjasama dan Benchmarking dengan kota Lain yang telah lebih dulu menerapkan konsep smart city untuk mengadopsi praktik terbaik dan teknologi terbaru untuk meningkatkan sistem transportasi publiknya.

Hasil dari Gemini terhadap pernyataan Optimalisasi Transportasi Publik di DKI Jakarta Menuju Smart City yang dituliskan didapatkan tahapan penyelesaian yang dapat ditindaklanjuti oleh Provinsi DKI Jakarta sebagai berikut:

1. Integrasi moda transportasi yang terdiri dari JakLingko 2.0 dengan aplikasi pembayaran, integrasi antar moda, dan perluasan jangkauan layanan.
2. Penggunaan teknologi dan digitalisasi yang terdiri dari penggunaan Aplikasi JAKI, data dan analitik serta kecerdasan buatan.
3. Pengembangan infrastruktur transportasi yang terdiri dari kendaraan ramah lingkungan, pesebaran ramah lingkungan dan peningkatan infrastruktur untuk pejalan kaki dan pesepeda.
4. Smart Mobility yang terdiri dari sistem manajemen lalu-lintas, penggunaan sensor Internet of Things (IoT) dan mobilitas multimoda.
5. Kerjasama dan benchmarking dengan kota lain yang terdiri dari kemitraan internasional dan transfer teknologi.

Hasil dari Cici terhadap pernyataan Optimalisasi Transportasi Publik di DKI Jakarta Menuju Smart City yang dituliskan didapatkan tahapan penyelesaian yang dapat dilakukan oleh Provinsi DKI Jakarta yaitu:

1. Integrasi moda transportasi dan sistem pembayaran melalui JakLingko
2. Penggunaan teknologi dan aplikasi JAKI yang menyediakan informasi transportasi, rute,

jadwal, dan tarif, serta fitur interaksi masyarakat dengan pemerintah dan layanan publik lainnya.

3. Pengembangan infrastruktur dan armada yang ramah lingkungan serta menyediakan jalur sepeda dan pejalan kaki untuk mendukung mobilitas non-motor
4. Penerapan Smart Mobility yang bisa memonitoring kondisi lalu lintas secara real-time dan pengelolaan transportasi berbasis data.
5. Kerjasama internasional dan benchmarking dengan negara yang telah menerapkan konsep smart city untuk meningkatkan transportasi publik.

Dari ketiga hasil *Artificial Intelligence* yang dilakukan terhadap pernyataan Optimalisasi Transportasi Publik di DKI Jakarta Menuju Smart City dapat disimpulkan bahwa dari ketiga jenis AI mempunyai jawaban yang hampir sama. Dari ketiga AI, Gemini lebih memberikan jawaban yang lebih membantu Pemerintah Provinsi DKI Jakarta untuk bisa menjalankan transportasi publik secara optimal. Dalam menentukan keputusan yang tepat terhadap pernyataan Optimalisasi Transportasi Publik di DKI Jakarta Menuju *Smart City* tidak hanya mengandalkan AI, tetapi juga perlu menggabungkan pengetahuan dari tim Pemerintah Provinsi DKI Jakarta untuk mengambil keputusan. *Artificial Intelligence* dan *Human Intelligence* bisa menghasilkan hasil yang tepat terhadap Optimalisasi Transportasi Publik di DKI Jakarta Menuju *Smart City*. Selain ada langkah-langkah, dari Gemini juga mengeluarkan beberapa tantangan yang harus dihadapi yaitu

1. Kebutuhan pendanaan yang besar untuk pengembangan infrastruktur dan implementasi teknologi.
2. Perubahan perilaku dari masyarakat untuk bisa secara bertahap menggunakan transportasi umum dalam melakukan perjalanan.
3. Kolaborasi antar pemangku kepentingan antara pemerintah, operator transportasi, dan masyarakat untuk mencapai tujuan bersama.

## KESIMPULAN

Dari penelitian terhadap Optimalisasi Transportasi Publik Di DKI Jakarta dengan *Artificial Intelligence* didapat beberapa kesimpulan yaitu:

1. Kemacetan Provinsi DKI Jakarta merupakan masalah strategis yang harus segera diselesaikan.
1. Transportasi publik Provinsi DKI Jakarta harus memiliki standar layanan minimal yaitu Keselamatan, kenyamanan, keamanan, keterjangkauan, kesetaraan dan keteraturan agar masyarakat mau menggunakan transportasi publik.
2. *Artificial Intelligence* dapat menyelesaikan permasalahan transportasi publik di Provinsi DKI Jakarta dengan dikombinasikan pengetahuan pengambil keputusan sehingga didapat hasil yang optimal.
3. Hasil dari Gemini untuk Optimalisasi Transportasi Publik di DKI Jakarta yang dipakai sebagai masukan yang terbaik yaitu:
  - a. Integrasi Moda Transportasi melalui sistem pembayaran JakLingko.
  - b. Penggunaan Teknologi dan Digitalisas dengan aplikasi JAKI yang menyediakan informasi transportasi, rute, jadwal, dan tarif, serta fitur interaksi masyarakat dengan pemerintah dan layanan publik lainnya.
  - c. Pengembangan Infrastruktur Transportasi dan pengadaan kendaraan untuk mendukung mobilitas yang lebih berkelanjutan dan ramah lingkungan serta menyediakan jalur sepeda dan pejalan kaki untuk mendukung mobilitas non-motor.
  - d. Smart Mobility untuk mengoptimalkan layanan transportasi publik yang mencakup

monitoring kondisi lalu lintas secara real-time, pengelolaan transportasi berbasis data, dan penerapan teknologi canggih pada armada transportasi umum seperti bus listrik dan Mikrotrans.

- e. Kerjasama dan Benchmarking dengan kota Lain yang telah lebih dulu menerapkan konsep smart city untuk mengadopsi praktik terbaik dan teknologi terbaru untuk meningkatkan sistem transportasi publiknya.
4. Ada beberapa tantangan bagi Pemerintah Provinsi DKI Jakarta terhadap implementasi *Artificial Intelligence* dalam pengelolaan transportasi publik yaitu
  - a. Kebutuhan pendanaan yang besar untuk pengembangan infrastruktur dan implementasi teknologi.
  - b. Perubahan perilaku dari masyarakat untuk bisa secara bertahap menggunakan transportasi umum dalam melakukan perjalanan.
  - c. Kolaborasi antar pemangku kepentingan antara pemerintah, operator transportasi, dan masyarakat untuk mencapai tujuan bersama.

Dari kesimpulan didapatkan hasil bahwa *Artificial Intelligence* bisa membantu menyelesaikan masalah transportasi publik. Bila semua data lengkap, perangkat lengkap, jaringan internet bagus, sumber daya manusianya siap, adanya dana, masyarakat mau berubah dan kolaborasi antar pemangku kepentingan bisa berjalan dengan baik maka *Artificial Intelligence* bisa menyelesaikan masalah transportasi publik. Apabila dari salah satu dari syarat tidak terpenuhi maka *Artificial Intelligence* tidak menyelesaikan masalah transportasi publik

## REKOMENDASI KEBIJAKAN (POLICY BRIEF)

Masalah kemacetan di Pemerintah Provinsi DKI Jakarta merupakan masalah strategi yang harus diselesaikan oleh Pemerintah Pusat dan Provinsi DKI Jakarta. Salah satu langkah terbaik adalah pengelolaan prasarana dan sarana transportasi publik yang baik dan merubah pola pikir masyarakat untuk menggunakan transportasi publik. Untuk bisa mengelola prasarana dan sarana transportasi publik, Pemerintah Provinsi DKI Jakarta harus menggunakan *Artificial Intelligence* dan membangun kerjasama dengan pihak yang mempunyai teknologi informasi dan komunikasi. Kerjasama juga dilakukan dengan pihak yang mempunyai data. Integrasi *Artificial Intelligence* bersama dengan teknologi informasi dan komunikasi membantu penyelesaian masalah transportasi publik. Selain itu, Provinsi DKI Jakarta harus menyediakan dan menyiapkan sumber daya manusia (SDM) untuk dapat menggunakan *Artificial Intelligence* bersama dengan teknologi informasi dan komunikasi agar dapat memelihara sistem transportasi publik dan dapat mengembangkan sistem transportasi publik di masa mendatang. Provinsi DKI Jakarta juga harus mensosialisasikan kepada masyarakat agar mau menggunakan transportasi publik. Dengan adanya data lengkap, perangkat lengkap, jaringan internet bagus, sumber daya manusianya siap, adanya dana, masyarakat mau berubah dan kolaborasi antar pemangku kepentingan bisa berjalan dengan baik maka penggunaan *Artificial Intelligence* bisa efektif dan efisien dalam menyelesaikan masalah transportasi publik saat ini dan di masa mendatang untuk menyosong pelaksanaan *smart city* di Provinsi DKI Jakarta..

## DAFTAR PUSTAKA

- Agni, S. N., Djomiy, M. I., Fernando, R., & Apriono, C. (2021). Evaluasi Penerapan Smart Mobility di Jakarta (Evaluation of Smart Mobility Implementation in Jakarta). *Jurnal Nasional Teknik Elektro dan Teknologi Informasi* |, 10(3), 214–220.
- Chusna, F. (2023). 6 Indikator Smart City untuk Mengukur Keberhasilan Kota Pintar. <https://www.linknet.id/article/indikator-smart-city>. <https://www.linknet.id/article/indikator-smart-city>
- Devega, E. (2017). *Langkah Menuju “100 Smart City.”* <https://www.kominfo.go.id>. [https://www.kominfo.go.id/content/detail/11656/langkah-menuju-100-smart-city/0/sorotan\\_media](https://www.kominfo.go.id/content/detail/11656/langkah-menuju-100-smart-city/0/sorotan_media)
- Dinas, P. (2023). *Artificial Intelligence Solusi Urai Kemacetan Jakarta.* <https://www.jakarta.go.id>. <https://www.jakarta.go.id/page/artificial-intelligence-solusi-urai-kemacetan-jakarta>
- FIA UI. (2023). *Smart City DKI Jakarta: Menuju Masa Depan Pemerintahan Digital.* <https://fia.ui.ac.id>. <https://fia.ui.ac.id/smart-city-dki-jakarta-menuju-masa-depan-pemerintahan-digital/>
- Firdausi, D. A. (2021). Information Technology: Tomorrow's Advantage Today. In <https://hmgp.geo.ugm.ac.id>.
- Freepik. (2024). *Penerapan AI dalam Perencanaan Transportasi Kota.* <https://widya.ai/>. <https://widya.ai/penerapan-ai-dalam-perencanaan-transportasi-kota/>
- Handayani, S., Afrianti, D. A., Suryandari, M., & Bekasi, K. (2021). *Implementasi kebijakan angkutan umum di dki jakarta.* 2(1), 19–28.
- Mahesh, B. (2020). Machine Learning Algorithms - A Review. *International Journal of Science and Research*, 9(1), 381–386. <https://doi.org/10.21275/ART20203995>
- Margaretha, A. M., Nugroho, A. A., Stia, P., & Jakarta, L. (2023). Transportasi Publik Terintegrasi: Optimalisasi Implementasi Smart Mobility di DKI Jakarta. *Journal Of Public Policy and Applied Administration*, 5(2), 2023.
- Pusat Studi Transportasi Dan Logistik Universitas Gadjah Mada. (2023). *No Title.* <https://pustral.ugm.ac.id/>. <https://pustral.ugm.ac.id/smart-city-dan-transportasi-berkelanjutan-tantangan-dan-implementasi-di-indonesia/>
- Putra, A. S. (2019). Smart City: konsep Kota pintar di DKI Jakarta. *Tekinfo*, 20(2), 73–79.
- Sari, F. B. (2023). Analisis Penanganan Kemacetan Lalu Lintas Di Koridor Jalan Raya Pondok Gede Jakarta Timur. *Teknokris*, 26(1), 33–44. <https://doi.org/10.61488/teknokris.v26i1.260>
- Suryobuwono, A. A., Raga, P., Nugroho, A., Tampubolon, I. A., Aura, Z., Basalamah, R., & Irenita, N. (2021). Analisis Prioritas Pengembangan Moda Transportasi Umum Di DKI Jakarta. *Jurnal Sistem Transportasi & Logistik*, 1(2), 61–71.
- Treestayanti, L. (2022). *Contoh Artificial Intelligence untuk Smart City dan Manfaatnya.* <https://infokomputer.grid.id>. <https://infokomputer.grid.id/read/123601422/contoh-artificial-intelligence-untuk-smart-city-dan-manfaatnya?page=all>
- Vanneschi, L., & Castelli, M. (2018). Multilayer perceptrons. In *Encyclopedia of Bioinformatics and Computational Biology: ABC of Bioinformatics* (Vol. 1–3). <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-809633-8.20339-7>
- Wahyudi, T. (2023). Studi Kasus Pengembangan dan Penggunaan Artificial Intelligence (AI) Sebagai Penunjang Kegiatan Masyarakat Indonesia. *Indonesian Journal on Software Engineering (IJSE)*, 9(1), 28–32.



## TANTANGAN ENERGI TERBARUKAN UNTUK TRANSPORTASI KOTA JAKARTA CERDAS BERKELANJUTAN BERBASIS AI

Siti Maemunah<sup>1\*</sup>, Yuliantini<sup>2</sup>, Lira Agusinta<sup>3</sup>, Muhammad Rafi Casey Susanto<sup>4</sup>

<sup>1,2,3</sup>Institut Transportasi dan Logistik Trisakti, Jakarta, Indonesia

<sup>4</sup>Universitas Siber Asia, Jakarta, Indonesia

\*Penulis Korespondensi, email: [unacsy2015@gmail.com](mailto:unacsy2015@gmail.com)

### ABSTRAK

Jakarta sebagai Ibu Kota Negara Indonesia terus berkembang dan maju untuk menjadi kota cerdas, sama dengan kota-kota besar lainnya di dunia. Tantangan kota Jakarta menjadi kota cerdas adalah bagaimana meningkatkan kualitas layanan transportasi darat yang ramah, sehat dan aman serta berkelanjutan. Pembangunan infrastruktur di kota Jakarta sangat pesat, harus diimbangi peningkatan sumber daya manusia di sektor energi untuk transportasi. Kota Jakarta terkenal memiliki kualitas udara terburuk dan juga sebagai salah satu kota termacet di dunia. Lingkungan alam, kesejahteraan sosial dan pembangunan ekonomi biasanya berkaitan dengan sistem transportasi. Sebagian besar kasus, sistem transportasi yang aman, bersih, dan berkelanjutan, terutama di perkotaan dan pusat perkotaan, untuk berkembang. Kota Jakarta cerdas berkelanjutan mengelola sumber daya fokus pada kenyamanan dalam bertransportasi dan pemeliharaan lingkungan. Transportasi cerdas berkelanjutan berbasis AI dengan memanfaatkan energi terbarukan untuk mengurangi emisi gas rumah kaca. Transportasi dengan menggunakan energi terbarukan melalui kendaraan listrik berbasis baterai mengatasi perubahan iklim yang tidak menentu dan emisi gas rumah kaca. Peningkatan efisiensi energi dan pengurangan emisi menjadi motivasi utama dalam menjadikan kota Jakarta cerdas, sehat, ramah lingkungan dan berkelanjutan. Beberapa aspek yang perlu mendapatkan perhatian sebagai tantangan bagi kota Jakarta cerdas adalah transportasi cerdas dan kebersihan udara sebagai dampak dari kemacetan lalu-lintas. Sosialisasi penggunaan sarana transportasi umum sebagai sarana transportasi berkelanjutan perlu mendapatkan perhatian dan perlu dukungan aturan pihak-pihak yang kompeten dan kerjasama masyarakat untuk mencapai Kota Jakarta cerdas.

**Kata Kunci:** energi terbarukan, transportasi berkelanjutan, AI, lingkungan, kota Jakarta cerdas

### PENDAHULUAN

Membicarakan *Smart City* atau kota cerdas tidak hanya mengenai penggunaan teknologi, tetapi juga tak lepas dari kegiatan warganya, aktivitas penduduk, pertumbuhan industri, pergerakan transportasi, jaringan infrastruktur, pengelolaan lingkungan dan penggunaan energi serta kebijakan pemerintah (Yamamura et al., 2017). Tidak kalah pentingnya adalah bagaimana pengelolaan transportasi. Kota cerdas tidak hanya tentang penggunaan teknologi baru (Bankins et al., 2024), tetapi juga peningkatan kualitas hidup dan pemberdayaan penduduknya (Nikitas et al., 2020).

Kota Jakarta merupakan kota urban dan menjadi tujuan pencari kerja berdampak pada pertumbuhan jumlah penduduk dan pergerakannya, sehingga memerlukan dukungan sarana transportasi dan infrastruktur yang memadai. Kota Jakarta telah melalui berbagai kajian, penelitian, uji coba, dan penyempurnaan hingga mencapai kondisi saat ini. Kota Jakarta masih belum sempurna dalam hal pengelolaan lingkungan yang bersih dan nyaman (Zhang & Zhang, 2022). Kota Jakarta berupaya mengurangi emisi gas karbon sebagai akibat dari pembuangan gas kendaraan bermotor dan rumah kaca. Untuk menangani itu semua diperlukan adanya



keseriusan tindakan dan kerjasama semua pihak, baik pemerintah, masyarakat dan pelaku usaha secara simultan dan berkesinambungan. Mengingat pentingnya mengelola penggunaan energi terbarukan dan teknologi dalam sistem transportasi berbasis AI (Shafiullah et al., 2022).

Kota Jakarta cerdas berkelanjutan berbasis AI diharapkan memiliki transportasi yang kendaraannya dapat bernavigasi dan bergerak tanpa bantuan manusia. Kemajuan teknologi telah memungkinkan sektor transportasi untuk bergerak maju dalam perjalanan inovasi dan pengembangannya. Salah satu teknologi zaman baru yang berkontribusi pada bidang ini adalah AI. Penggunaan AI dalam transportasi dapat membantu meningkatkan keselamatan penumpang, mengurangi kemacetan dan kecelakaan lalu lintas, mengurangi emisi CO<sub>2</sub>, dan juga meminimalkan pengeluaran finansial secara keseluruhan.

## STATE OF THE ART

Sebagai kota metropolitan, Jakarta telah berkembang pesat dan memiliki berbagai permasalahan yang kompleks, baik dalam hal pengelolaan transportasi, pengelolaan lingkungan, kehidupan sosial ekonomi (Doost Mohammadian & Rezaie, 2020) penggunaan teknologi dan pertumbuhan penduduk. Sebagai ibukota negara Jakarta dan pusat kegiatan ekonomi menjadi magnet tujuan utama masyarakat dari berbagai daerah di Indonesia, datang ke Jakarta untuk meningkatkan kesejahteraan.

Tantangan penggunaan energi terbarukan dan transportasi di Jakarta sebagai kota cerdas berbasis pada AI (Ali et al., 2021; Zhu et al., 2015). Pertama adalah mengenai energi terbarukan. Pada bagian ini dibahas mengenai arti penting energi terbarukan bagi pemenuhan permintaan energi global dan berkontribusi terhadap pengurangan emisi gas rumah kaca, sehingga dapat mengurangi pemanasan global. Pengaruh penghematan energi dan solusi mobilisasi cerdas baik jangka pendek maupun jangka panjang terhadap pengambilan kebijakan. Tidak hanya pada kebijakan tetapi juga mengenai tantangan transportasi energi saat ini adalah penuaan infrastruktur (Zhao et al., 2019). Banyak negara di dunia termasuk kota Jakarta bergantung pada jaringan transmisi dan distribusi energi yang dibangun beberapa dekade lalu dan kesulitan memenuhi kebutuhan saat ini (Roblek et al., 2020). Meningkatkan efisiensi infrastruktur yang ada saat ini untuk mengakomodasi transmisi energi listrik yang lebih besar sangatlah penting. Untuk menjamin masa depan energi yang berkelanjutan, sangat penting untuk menyesuaikan infrastruktur yang ada untuk meningkatkan kinerja dan menangani fluktuasi permintaan tanpa memerlukan perluasan permanen. Pendekatan pemantauan infrastruktur yang proaktif ini memastikan penyaluran energi yang optimal, menjadikan jaringan listrik lebih responsif dan mudah beradaptasi terhadap permintaan energi yang berfluktuasi. Mengintegrasikan energi erbarukan adalah tantangan transisi. Mengintegrasikan sumber energi terbarukan ke dalam jaringan listrik yang ada menghadirkan serangkaian tantangan unik. Energi terbarukan memerlukan sistem jaringan listrik yang lebih fleksibel dan mudah beradaptasi. Terkait dengan penggunaan energi terbarukan untuk transportasi cerdas kota Jakarta. Transportasi cerdas berbasis energi terbarukan juga pada pemanfaatan teknologi AI. Penggunaan energi terbarukan terutama pemanfaatan energi Listrik di kota Jakarta sebagai *Smart City* dalam menggunakan dan memanfaatkan teknologi cerdas, energi cerdas dan transportasi cerdas.



Kedua adalah mengenai transportasi menggunakan energi terbarukan yaitu energi listrik berkelanjutan. Mobilitas transportasi perkotaan berdampak besar terhadap konsumsi energi dan tingkat polusi perkotaan serta manfaat sistem transportasi cerdas terhadap penghematan dan transisi energi (Chen et al., 2017). Kebijakan pemerintah untuk mendukung sistem transportasi berkelanjutan kota pintar Jakarta adalah dengan mempercepat adopsi kendaraan listrik. Peraturan tentang modifikasi sepeda motor dan kendaraan lain mengatur pengujian jenis kendaraan listrik yang lebih murah dengan partisipasi organisasi swasta. Transportasi pada Jakarta Smart City, pemerintah bertujuan untuk mengurangi emisi gas rumah kaca sejalan dengan kebijakan ekonomi hijau dan pembangunan rendah karbon. Era Emas Indonesia bertujuan untuk mengurangi dampak gas rumah kaca sebesar 81,9% untuk memenuhi instrumen Enhanced Nationally Determined Contribution (ENDC) Perjanjian Paris yang bertujuan untuk mengurangi dampak pemanasan global.

Ketiga adalah pemanfaatan teknologi AI dalam konteks kota Jakarta cerdas. Menyoroti manfaat penggunaan AI dalam memberikan layanan sosial dan transportasi serta dalam menggantikan aktivitas manusia. Konsep kota Jakarta cerdas berkelanjutan berbasis AI merupakan pembangunan berkelanjutan yang meliputi berbagai prioritas, mulai dari penggunaan teknologi, pemberdayaan penduduk hingga pemanfaatan dan pengelolaan sumber daya alam secara bijak. Kota Jakarta cerdas dapat mendorong pertumbuhan ekonomi berkelanjutan dan meningkatkan taraf hidup warganya. Kota cerdas merupakan transportasi dan layanan masyarakat Jakarta dibuat lebih fleksibel, efisien, dan berkelanjutan dengan penggunaan teknologi informasi, digital dan telekomunikasi, untuk kepentingan penduduknya lebih hijau, lebih cepat, dan ramah. Jakarta cerdas merupakan integrasi penggunaan teknologi berbasis AI dan pemanfaatan sumberdaya alam melalui pembangunan berkelanjutan dan pemberdayaan penduduk kota Jakarta dengan tujuan meningkatkan kualitas hidup warga dan menjaga lingkungan bersih.

Penggunaan transportasi menggunakan energi terbarukan yaitu energi listrik berkelanjutan berbasis AI, kota Jakarta akan menjadi lebih cerdas, terhadap penghematan dan transisi energi. Semua pengaruh tersebut tertuju pada inisiatif dan solusi yang inovatif yang membawa pada perbaikan masa depan kota Jakarta cerdas, baik bagi alam maupun khususnya kehidupan warga Jakarta. Berbagai penelitian dan usaha telah dilakukan para ilmuwan, pihak pemerintah maupun lembaga-lembaga yang kompeten untuk perbaikan dan kemajuan kota Jakarta.

## PEMBAHASAN

### Energi Terbarukan

Energi terbarukan tidak terlepas dari kebijakan dan tindakan efisiensi energi dan teknologi energi terbarukan yang merupakan elemen inti transisi energi (Gielen et al., 2019). Sinergi keduanya juga penting. Adanya aktivitas perekonomian yang menguntungkan, sumber daya yang melimpah, teknologi yang terukur, dan manfaat sosio-ekonomi yang signifikan mendukung transisi tersebut. Energi terbarukan dapat memasok dua pertiga dari total permintaan energi global (Ho et al., 2019) berkontribusi terhadap sebagian besar pengurangan emisi gas rumah kaca yang diperlukan saat ini hingga tahun 2050 serta untuk membatasi kenaikan rata-rata suhu permukaan global di bawah 2 °C.

Untuk mendukung pertumbuhan energi terbarukan pada teknologi pembangkit listrik tenaga air, angin dan surya, dilengkapi dengan tingkat efisiensi energi yang tinggi diperlukan kebijakan dan peraturan pemerintah. Sebaliknya, untuk penghapusan emisi karbon dioksida diperlukan teknologi dan inovasi baru, terutama pada sektor transportasi dan manufaktur, yang masih banyak diabaikan. Peralihan penggunaan energi dari bahan bakar fosil ke solusi rendah karbon memainkan peran penting, emisi karbon dioksida (CO<sub>2</sub>) (Lv & Shang, 2023) terkait dengan energi mewakili dua pertiga dari seluruh gas rumah kaca (Christmann, 2021). Transisi energi ini dimungkinkan melalui inovasi teknologi, khususnya di bidang energi terbarukan. Penambahan kapasitas pembangkit listrik energi terbarukan disebabkan oleh turunnya biaya dan daya saing dengan cepat, khususnya untuk tenaga surya dan tenaga angin. Seperempat dari seluruh listrik di seluruh dunia dihasilkan dari energi terbarukan (Chen et al., 2017).

Memprediksi waktu dan tingkat transisi energi tidaklah mudah. Transisi energi membutuhkan waktu, biasanya setengah abad dari penggunaan pasar pertama hingga pangsa pasar mayoritas untuk transisi energi (Wu et al., 2018). Tingkat transisi energi sebelumnya didorong oleh perubahan teknologi, ekonomi, akses terhadap sumber daya, atau layanan energi yang unggul bagi konsumen. Proyeksi gas alam yang meningkat dan perkiraan struktural yang terlalu rendah terhadap pertumbuhan energi terbarukan (Reza & Azmi, 2021).

Jakarta yang ingin menjadi kota cerdas harus terlebih dahulu melakukan uji emisi kendaraan untuk mengurangi polusi udara dan meminimalkan polusi terburuk di Jakarta. Sektor transportasi merupakan sektor yang paling banyak mengeluarkan CO<sub>2</sub>. Kekhawatiran emisi karbon dioksida dapat mempengaruhi kesehatan warga. Kasus Infeksi Saluran Akut (ISPA), influenza, batuk dan pilek akibat udara yang tidak sehat. Uji coba gas emisi bersifat wajib sebagaimana diatur dalam Pasal 206 Peraturan Pemerintah (PP) Nomor 22 Tahun 2021 tentang Perlindungan Lingkungan Hidup dan Penyelenggaraan Perlindungan Lingkungan Hidup. Kelestarian lingkungan, yaitu pengurangan energi dan mitigasi perubahan iklim (Solihati & Indriyani, 2021). Dekade terakhir hampir di semua negara termasuk Jakarta berupaya pelestarian lingkungan mendukung untuk mengurangi atau meninggalkan energi yang berbahan dasar fosil, terutama sumber energi yang berasal dari batubara dan minyak bumi. Energi berkelanjutan ini Indonesia telah selangkah lebih maju dari negara-negara lain, yaitu dalam hal penggunaan bahan bakar yang berasal dari minyak kelapa sawit (Munasinghe et al., 2019) yang saat ini lebih dikenal dengan Biodiesel B40. Bahan bakar ini merupakan inovasi dari energi terbarukan berkelanjutan. Minyak Biodiesel B40 ini akan terus dikembangkan sampai menjadi Biodiesel B100. Minyak ini dapat digunakan sebagai bahan bakar kendaraan bermotor juga akan digunakan sebagai bahan bakar pesawat terbang. Mengoptimalkan penggunaan sumber daya energi tergantikan.

Tindakan penghematan energi dalam jangka pendek dapat dicapai ketika warga Jakarta mau mengubah perilaku dalam penggunaan energi atau mengurangi perjalanan yang tidak perlu (Pindarwati & Wijayanto, 2015). Adanya solusi mobilitas cerdas bagi warga Jakarta memungkinkan adanya kebijakan atau inisiatif penghematan energi lainnya. Perilaku dan gaya hidup warga Jakarta diharapkan menumbuhkan kesadaran untuk berubah dan mengarah pada penghematan energi secara keseluruhan lebih lanjut.

Alasan utama kota Jakarta dapat berinvestasi menjadi kota cerdas adalah untuk efisiensi energi dan pengurangan emisi (Ponte, 2019). Penghematan energi dan/atau pengurangan emisi gas rumah kaca dianggap sebagai salah satu manfaat utama dan diperhitungkan dalam analisis biaya investasi Sistem Transportasi Cerdas (Chen et al., 2017). Sektor transportasi di Jakarta ikut bertanggung jawab atas penggunaan energi dan menciptakan polusi.

Sistem Transportasi Cerdas sebagian besar terbatas pada sektor transportasi dan didominasi oleh sebagian kecil perusahaan yang sangat terspesialisasi. Kota Jakarta cerdas merupakan pendekatan holistik yang mempengaruhi berbagai aspek kehidupan masyarakat (Pindarwati & Wijayanto, 2015). Mobilitas cerdas merupakan salah satu cara untuk menyelesaikan permasalahan transportasi di Jakarta, saling berhubungan sesuai dengan perencanaan tata ruang kota, antara lain penggunaan perumahan, lingkungan hidup, energi, kesehatan, keamanan publik, pembangunan ekonomi, dan teknologi informasi. Agar penerapannya bisa berhasil memerlukan kolaborasi dan integrasi lintas sektoral merupakan hal yang penting (Syalianda & Kusumastuti, 2021).

Kota Jakarta cerdas, melahirkan inovasi-inovasi terkait transportasi ramah lingkungan dan berkelanjutan berbasis AI dari bawah ke atas untuk menghasilkan lapangan kerja, layanan publik berbiaya rendah, serta kewirausahaan, ketrampilan, dan pertumbuhan pasar tenaga kerja (Shwedeh et al., 2020). Inovasi juga membawa perubahan dan tantangan peraturan bagi kota. Misalnya, Gojek, Grab dan perusahaan jaringan transportasi berbasis teknologi lainnya telah mengguncang industri taksi tradisional di kota Jakarta. Bahkan menimbulkan perselisihan. Salah satu penyebabnya adalah kelambanan dalam mengantisipasi tumbuhnya aktivitas baru dalam masyarakat berupa undang-undang dan peraturan (Haarstad & Wathne, 2019). Perusahaan-perusahaan mobilitas cerdas ini menghadapi kebijakan kota dalam hal tata kelola lingkungan dengan banyak ketidakpastian, bahkan diantaranya harus mundur. Di sisi lain, kota-kota mengalami kesulitan menemukan keseimbangan yang tepat antara mendorong inovasi dan memenuhi tuntutan masyarakat dengan tetap menjaga kendali atas keselamatan publik dan keadilan sosial.

Kota Jakarta mulai memahami konsumsi energi dan emisi gas rumah kaca di sektor transportasi dan membagi penggunaan energi transportasi menjadi aktivitas berkelanjutan berbasis AI, pembagian moda, dan intensitas energi (Navarro et al., 2016). Di sisi lain langkah-langkah mitigasi terbagi menjadi beberapa, penghindaran, peralihan, peningkatan, dan pendanaan. Fokus investasi dalam konteks kota cerdas bersifat "*people-centric*", fokus pada aktivitas manusia (Pinna et al., 2017), bukan murni pada kendaraan atau teknologi komunikasi, misalnya kendaraan listrik atau kendaraan sel baterai, merupakan perubahan penghematan energi melalui perilaku pengguna (Hollands, 2015).

Perubahan perilaku penggunaan solusi mobilitas cerdas dapat dikelompokkan ke dalam tiga kategori (Bıçaksız & Özkan, 2016; Glasmeier & Christopherson, 2015; Grzelakowski, n.d.; Lindau et al., 2021), yaitu:

(i) Mengurangi total jarak tempuh transportasi,

Misalnya, aplikasi pemanggil taksi mencocokkan lokasi dan rute pengemudi taksi dengan permintaan waktu nyata, sehingga pengemudi tidak perlu berkeliling mencari penumpang. Berbagi mobil dan *carpooling* dapat menggabungkan dua perjalanan menjadi satu, sehingga mengurangi perjalanan kendaraan. Aplikasi parkir cerdas yang membantu pengemudi menemukan tempat parkir yang tersedia dengan mudah.

(ii) Peralihan moda transportasi

Masyarakat pengguna beralih ke moda yang lebih hemat energi. Misalnya dengan meningkatkan daya tarik moda yang lebih hemat energi dan lebih ramah lingkungan, sehingga pengguna mungkin beralih dari mobil pribadi ke moda yang lebih ramah lingkungan. Contoh: jalan kaki, bersepeda atau naik kendaraan umum. Aplikasi informasi real-time seluler, tidak hanya mengurangi waktu tunggu yang dirasakan,

namun juga waktu tunggu sebenarnya yang dialami oleh penumpang angkutan umum. Solusi *eco-driving* mempromosikan gaya mengemudi yang ditandai dengan akselerasi perlahan, melaju dengan kecepatan sedang, menghindari pengereman mendadak, dan mengurangi waktu idle, serta memilih rute terdekat. Mengurangi konsumsi energi per KM. Misalnya lebih sedikit berhenti, kecepatan lebih tinggi. Salah satu eksperimen yang memberikan informasi efisiensi bahan bakar secara real-time di dasbor kepada pengemudi menunjukkan rata-rata peningkatan efisiensi bahan bakar sebesar 2,9%.

Dalam hal manfaat penghematan energi secara berkelanjutan dari usaha mobilitas cerdas serta mekanisme perilaku untuk menghemat energi dan potensi penghematan energi dari (Gohar & Nencioni, 2021) mobilitas cerdas. Empat langkah utama intervensi kota Jakarta dapat menerapkan penghematan energi. dalam konteks kota cerdas untuk mencapai penghematan energi (Gambar 1), yaitu :



Gambar 1. Model konseptual investasi ITS pada kota cerdas untuk menghemat energi

Penjelasan Gambar 1:

- a) Melakukan Identifikasi dan merancang solusi masalah mobilitas cerdas.

Hal ini bertujuan untuk memecahkan masalah kota Jakarta yang ada dan menjadi perhatian masyarakat. Permasalahan utama yang terkait dengan mobilitas perkotaan, misalnya kemacetan, ketersediaan moda transportasi umum dan polusi udara—semuanya mempunyai implikasi energi.

- b) Penerapan dan pengoperasian solusi mobilitas cerdas.

Kota harus memiliki sumber daya dan kemampuan untuk menerapkan solusi tersebut dan menjaganya agar Jakarta cerdas tetap berjalan secara berkelanjutan.

- c) Masyarakat pengguna menggunakan solusi dan berperilaku.

Keinginan dan kemampuan pengguna jasa transportasi di kota Jakarta untuk menggunakan aplikasi dan mengubah perilakunya merupakan langkah yang paling penting. Perubahan perilaku diharapkan dapat menghasilkan konsumsi energi yang lebih rendah, misalnya pengguna bepergian jika benar-benar penting, beralih ke moda yang tidak terlalu boros energi, beralih ke rute yang tidak terlalu padat, mengubah waktu keberangkatan, atau mengemudi dengan tidak terlalu agresif.

- d) Meningkatkan dan mengembangkan solusi mobilitas cerdas.

Solusi mobilitas kota Jakarta cerdas harus berkelanjutan secara finansial dalam jangka panjang, dengan memanfaatkan jaringan ekonomi untuk memaksimalkan manfaat serta mengembangkan lingkungan yang sehat agar dapat beradaptasi dengan perubahan di masa depan.

Keempat langkah tersebut sangat diperlukan agar intervensi mobilitas kota Jakarta cerdas dapat memberikan manfaat penghematan energi yang berarti untuk tujuan pembuatan kebijakan oleh pemerintah.

### **Efek Jangka Pendek dan Jangka Panjang**

Dalam jangka pendek, solusi mobilitas Jakarta cerdas (Greenblatt & Shaheen, 2015; Lisi et al., 2020) sebagai faktor pendukung dapat mengarah pada kebijakan atau inisiatif penghematan energi lainnya (Kementerian\_PPN/Bappenas, 2020). Jangka panjang, gaya hidup pengguna transportasi di Jakarta dapat berubah dan perubahan kepemilikan kendaraan, lokasi kerja, lokasi pemukiman, dan pola aktivitas dapat menghasilkan penghematan energi lebih lanjut. Solusi mobilitas cerdas dapat mengubah gaya hidup dan perilaku perjalanan masyarakat (Gohar & Nencioni, 2021; Cen et al., 2017). *Ride-sharing* dapat menggabungkan transportasi berkelanjutan perjalanan yang mengarah pada pengurangan perjalanan, seperti Uber, GrabTaxi, dan Gojek yang menyediakan layanan *ridesourcing* akan mengubah perilaku perjalanan masyarakat dan dampak agregat terhadap penggunaan energi. Banyak pilihan mobilitas, dan lebih banyak layanan transportasi nyaman yang disediakan di kota Jakarta melalui solusi mobilitas cerdas, maka insentif bagi warga untuk memiliki mobil pribadi akan berkurang. Selain itu, aplikasi *ridesourcing* dan usaha sejenis lainnya (penyewaan mobil, layanan antar-jemput, layanan sopir, dan layanan pengiriman) membuat kepemilikan mobil pribadi semakin tidak menarik bagi masyarakat, terutama kaum muda. Perubahan gaya hidup juga dapat mencakup lokasi kerja dan tempat tinggal serta pola aktivitas (Bamwesigye & Hlavackova, 2019). Warga Jakarta diharapkan menggunakan angkutan umum, sepeda, dan berjalan kaki untuk bepergian diharapkan jumlah kendaraan pribadi menjadi lebih sedikit sehingga kota Jakarta tidak perlu membangun lebih banyak infrastruktur seperti jalan raya dan tempat parkir. Penghematan energi dapat dicapai dalam jangka panjang. bahwa besarnya efek balik (*rebound effect*) meningkat seiring dengan tingkat kemacetan, namun secara umum tidak terlalu besar. Langkah-langkah efisiensi energi umumnya mempunyai efek balik sebesar 20% atau kurang, dan kenaikan sebesar 20% juga berkontribusi terhadap peningkatan kenyamanan konsumen.

### **Transportasi Berkelanjutan**

Sektor transportasi memiliki dampak terbesar terhadap konsumsi energi dan tingkat polusi kota Jakarta (Lv & Shang, 2023). Mengacu pada negara-negara di Uni Eropa, dimana 25% emisi gas rumah kaca, dan lebih dari 30% total energi yang dikonsumsi pada tahun 2010 disebabkan oleh sektor transportasi. Selain itu, mobilitas perkotaan menyumbang 40% emisi CO<sub>2</sub> dari sektor transportasi (Yamamura et al., 2017). Oleh karena itu, tantangan transportasi menggunakan energi terbarukan membuat kota Jakarta cerdas berkelanjutan. Hal tersebut menjadi perhatian utama bagi sistem transportasi modern dan juga bagi perencanaan kota Jakarta (Yamamura et al., 2017). Urbanisasi modern menyebabkan perluasan wilayah Jakarta secara terus-menerus, dan sebagai konsekuensinya memperkuat fenomena



perjalanan pulang pergi (*commuting*) yang menghasilkan peningkatan tuntutan mobilitas sekaligus menciptakan kemacetan. Hal ini meningkatkan waktu tempuh yang dihabiskan untuk bepergian, polusi yang ditimbulkan, dan preferensi kendaraan pribadi dibandingkan angkutan umum (Karsono et al., 2024). Angkutan pada umumnya dan angkutan perkotaan pada khususnya adalah sektor-sektor yang terbukti sulit mengurangi penggunaan energi secara hemat biaya. Manajemen transportasi perkotaan berkelanjutan berbasis AI yang ramah lingkungan dianggap sebagai solusi utama untuk memitigasi perubahan iklim.

Sistem Transportasi Cerdas di kota Jakarta dengan memanfaatkan Teknologi Informasi dan Komunikasi (TIK) (Gohar & Nencioni, 2021) untuk lebih mengefisienkan penggunaan infrastruktur transportasi yang ada dengan tujuan meningkatkan pelayanan transportasi dan mengurangi kemacetan, kecelakaan, dan polusi udara. Kemajuan pesat TIK dan advokasi intensif dari vendor teknologi adalah konsep kota Jakarta cerdas. Fokus dan definisi kota Jakarta cerdas (Bellastuti & Fathurrahman, 2023) intinya terletak pada pemanfaatan teknologi untuk kenyamanan warga, untuk meningkatkan kualitas hidup.

Manfaat dari investasi mobilitas cerdas berkelanjutan berbasis AI yang akan diadopsi di Jakarta (Nikitas et al., 2020) adalah : (1) melibatkan semua pihak, baik dari pemerintah maupun swasta dalam pengaturan yang kolaboratif dan transparan; (2) mengembangkan kapasitas teknis untuk pengadaan dan pemantauan layanan informasi; dan (3) fokus pada infrastruktur dasar, termasuk jaringan jalan yang koheren dan manajemen lalu lintas.

Transportasi kota Jakarta cerdas berkelanjutan berbasis AI menjadi perhatian semua pihak (Haarstad & Wathne, 2019) menghasilkan penghematan energi. Inisiatif mobilitas cerdas menargetkan semua jenis pengguna transportasi berinovasi akan memberikan berbagai layanan mulai dari navigasi, hiburan, tol, parkir, hingga mengemudi otonom. Transportasi cerdas berinovasi dan berkelanjutan di Jakarta (Ho et al., 2019) pertama akan memberikan informasi layanan real-time bagi pengguna di ponselnya dan tidak perlu lagi membawa uang tunai. Kedua adalah industri logistik dapat memanfaatkan platform pencocokan pengiriman untuk menghemat biaya dan meningkatkan efisiensi pengiriman.

Pengelolaan transportasi berkelanjutan (Suling et al., 2022) di Jakarta sebagai Ibukota Negara Indonesia dikenal dengan tingkat kepadatan kendaraan berbahan bakar fosil dan tingkat "kemacetan" yang tinggi, meski telah beberapa kali dilakukan rekayasa lalu lintas. Untuk mengatasi kemacetan lalu lintas di beberapa jalan utama telah dilakukan beberapa cara, antara lain pengaturan jadwal masuk kerja sesuai wilayah kerja, menerapkan 3 in 1 (*three in one*), menaikkan tarif parkir dan terakhir pengaturan ganjil genap, dimana kendaraan yang pada akhir angka nomor polisi ganjil hanya boleh melewati jalan tertentu sesuai dengan tanggal berangka ganjil dan sebaliknya pada tanggal genap hanya diperuntukkan kendaraan yang bernomor polisi genap. Namun dalam kenyataannya masih tetap terjadi kemacetan.

Sebagai dampak dari tingkat kemacetan yang tinggi penggunaan bahan bakar fosil juga tinggi tingkat polusi dan pencemaran udara dan kelembaban udara dirasa juga sangat tinggi. Hal ini berpengaruh pada tingkat Kesehatan warga Jakarta yang menurun, termasuk kecenderungan tingkat emosional yang tinggi (Nikitas et al., 2020).

Beberapa hal perlu dipertimbangkan untuk kendaraan listrik yang akan beroperasi di Jakarta, apakah akan menghemat energi atau tidak, juga tergantung pada pengisian daya, dengan mempertimbangkan peningkatan permintaan listrik. Kendaraan elektrik dapat menghemat



hingga 80% energi, arus lalu lintas dan parkir yang efisien, bobot ringan yang didorong oleh keselamatan, dan berbagi tumpangan otomatis (Djajasinga, 2017). Setiap kendaraan otonom dapat menggantikan sekitar sebelas kendaraan konvensional, namun menambah jarak tempuh hingga 10% lebih jauh dibandingkan perjalanan mobil konvensional, sehingga tetap menghasilkan penghematan energi secara keseluruhan. Di sisi lain, jarak tempuh kendaraan elektrik dapat meningkat secara dramatis, karena kombinasi beberapa faktor termasuk: peningkatan penggunaan kendaraan elektrik. Ada tiga kategori faktor-faktor yang mempengaruhi besaran dan arah dampak penggunaan energi kendaraan elektrik (Gohar & Nencioni, 2021) karakteristik kendaraan, jaringan transportasi, dan pilihan konsumen.

### **AI (*Artificial Intelligence*- Kecerdasan Buatan)**

Perkembangan penggunaan teknologi AI (*Artificial Intelligence*- Kecerdasan Buatan) (Anthony et al., 2017; Asaithambi et al., 2020; Sunitiyoso et al., 2023) untuk digunakan di Jakarta untuk mengatasi tantangan pemasaran dan bisnis, di sejumlah besar konteks penggunaan, termasuk tidak hanya layanan sosial tetapi juga teknologi transportasi, contohnya mobil tanpa pengemudi (misalnya Tesla). Kerangka kerja AI yang menyoroti penggunaannya untuk otomatisasi tugas dalam jangka pendek dan menengah, sebagian besar untuk tugas-tugas terstandarisasi dan berbasis aturan. AI juga mempunyai potensi untuk mencapai kesadaran dapat memahami konteks baru dan kompleks serta menciptakan solusi. Solusi AI adalah mampu menyelesaikan tugas-tugas khusus dengan menggunakan respon yang adaptif, holistik, dan konteks spesifik.

AI mencakup analisis gabungan angka, teks, suara, wajah, dan gambar. AI dapat berbentuk digital atau robot. Robotika baru saja mulai menarik perhatian penelitian besar di bidang pemasaran. perlunya mempertimbangkan apakah robot harus terlihat seperti mesin atau malah menyerupai manusia. AI dengan fungsi dan kemampuan pembelajaran mendalamnya dapat digunakan sebagai alat yang memberdayakan mesin untuk memecahkan masalah yang dapat mereformasi lanskap perkotaan di Jakarta selama beberapa dekade dan membantu membangun era baru smart city (Gath-Morad et al., 2017; Navarro et al., 2016; Shelton et al., 2015).

Salah satu bidang utama yang dapat didefinisikan ulang oleh AI adalah transportasi cerdas. Penyediaan moda transportasi dan dampaknya terhadap pembangunan mobilitas perkotaan dapat ditingkatkan secara signifikan melalui penggunaan sistem transportasi cerdas (ITS) pada umumnya dan transportasi otomatis pada khususnya. Mobilitas berbasis AI ini, meskipun berorientasi pada mesin, harus menjadi teknologi yang fokus pada “memahami” dan “memuaskan” penggunaanya, yaitu manusia, pasar, dan masyarakat secara keseluruhan. Kepercayaan harus dibangun, dan risiko harus dihilangkan, agar transisi ini dapat berjalan dengan baik, dapat diterapkan membangun kota Jakarta cerdas berkelanjutan berbasis AI.

### **Pengertian AI**

Kecerdasan buatan atau Artificial Intelijen (AI) mempunyai potensi untuk menyediakan sarana transformasi. AI didefinisikan sebagai sebuah konsep kemampuan sistem untuk menafsirkan data eksternal dengan benar, belajar dari data tersebut, dan menggunakan pembelajaran tersebut untuk mencapai tujuan dan tugas tertentu melalui adaptasi yang fleksibel (Creß et al., 2021). Pengembangan otonom dapat bernalar dan membuat rencana mencapai tujuan kota cerdas. AI menjanjikan untuk menjadikan manusia lebih sehat, sejahtera, dan bahagia dengan mengurangi kebutuhan akan tenaga kerja manusia dan meningkatkan kemajuan ilmu pengetahuan dan teknologi secara signifikan (Mourtzis et al., 2022). AI telah mengubah kehidupan manusia dalam banyak aspek, mulai dari mobil semi-otomatis di jalan hingga penyedot debu robotik di rumah kita dan di masa mendatang. masa depan akan terus memasuki setiap bidang kehidupan manusia, mulai dari layanan kesehatan hingga pendidikan, hiburan dan keamanan.

Salah satu bidang utama dimana AI memberikan dampak perubahan paling besar adalah bidang transportasi (Soori et al., 2023) mobilitas di masa depan. Hal ini terutama diatur untuk melihat konteks prioritas kebijakan untuk pertumbuhan perkotaan khususnya di Jakarta yang berkelanjutan melalui inovasi transportasi. Intervensi AI ini mempunyai potensi penerapan pada kendaraan (Gerke et al., 2020; Nikitas et al., 2020) , infrastruktur, pengemudi atau pengguna transportasi, dan bagaimana hal ini berinteraksi secara dinamis untuk memberikan layanan transportasi yang mendorong pemberdayaan pengguna dan mendukung interaksi manusia-mesin.

### **Konsep Kota Jakarta Cerdas**

Perkembangan perkotaan dan sistem transportasi saling berhubungan erat sebagaimana dibuktikan oleh teori sewa lahan perkotaan dan teori lokasi, yang mengonseptualisasikan hubungan antara transportasi dan penggunaan lahan (Yamamura et al., 2017). Sistem transportasi kota Jakarta di masa depan berupa penyediaan solusi mobilitas untuk mengatasi kemacetan, polusi dan degradasi lingkungan melalui teknologi AI bersama dengan aplikasi telekomunikasi dan energi mampu memberikan cara bergerak yang lebih baik, lebih cepat, lebih bersih, dan lebih murah. Perhatian para profesional transportasi dan perencana kota saat ini tidak hanya berpusat pada transportasi perkotaan kota Jakarta berkelanjutan dan kota berkelanjutan, kini telah bergeser atau diperluas, dengan mengacu pada kota cerdas dan mobilitas perkotaan cerdas yang mencerminkan berkembangnya era digital (Joghee et al., 2020; Shelton et al., 2015; Telang et al., 2021)

Konsep kota cerdas tidak hanya terbatas pada penerapan teknologi digital, tetapi juga meliputi dan memiliki kualitas pengambilan keputusan yang kreatif, berkelanjutan, strategis, terintegrasi, menghasilkan pengetahuan, dan berfokus pada masyarakat. Kota Jakarta cerdas menggabungkan Teknologi Informasi dan Komunikasi (TIK) (Lacinák & Ristvej, 2017; Papa et al., 2017) untuk mengurangi biaya, mengoptimalkan konsumsi sumber daya, meningkatkan inter-aktivitas dan meningkatkan kualitas hidup warga.

Gagasan tentang kota Jakarta cerdas (Thellufsen et al., 2020) terutama di sektor mobilitas masa depan, diatur untuk menentukan prioritas kebijakan yang akan diambil untuk pertumbuhan perkotaan yang berkelanjutan melalui inovasi transportasi, yaitu mengenai bagaimana transisi tersebut akan dikelola dan intervensi apa yang akan menentukan transisi tersebut. Mobilitas baru yang berhubungan dengan AI yang merupakan bagian penting dari

kota Jakarta cerdas (Chocholac et al., 2020; Nikitas et al., 2020) dapat berdampak langsung atau tidak langsung pada transportasi adalah mencakup intervensi yang mengacu pada kendaraan terhubung dan otomatis (CAV) sebagai perwujudan utama AI di bidang transportasi, Kendaraan Udara Tanpa Awak dan Pribadi (UAV dan PAV), serta Mobilitas sebagai Layanan (Mobility-as-a-Service, MaaS), serta *Internet of Things* (IoT), Physical Internet (PI) dan Industri 4.0. Semua teknologi yang cenderung berorientasi pada transportasi tersebut mengacu pada kota Jakarta cerdas yang berpusat pada AI, sehingga dapat mempengaruhi atau dipengaruhi oleh mobilitas di masa depan, seperti IoT, PI, dan Industri 4.0, menjadi semakin relevan.

*Eco-driving* (Sarkar et al., 2020) dan hemat energi, peningkatan standar keselamatan dan keamanan, dan manajemen kemacetan lalu lintas serta menggantikan waktu yang dihabiskan untuk mengemudi dengan waktu yang dapat dimanfaatkan untuk aktivitas yang lebih produktif. UAV dan PAV di masa depan akan sangat penting bagi logistik dan juga pergerakan manusia; Mengharapkan mengubah pola perjalanan seperti yang telah ada selama beberapa dekade dengan memperluas lanskap perkotaan dan jaringan transportasi kota-kota masa depan secara vertikal. Konsep transportasi terbaru dengan penerapan parsial yang terbatas, menjanjikan paket digital mobilitas yang dipersonalisasi. IoT kota cerdas perlu memiliki tiga fitur utama yang dapat disediakan oleh IoT, yaitu : kecerdasan, interkoneksi, dan instrumentasi (Pira et al., 2021).

## 1. Lingkungan

Pembangunan berkelanjutan merupakan pembangunan di segala aspek kehidupan yang menjamin kemungkinan terpenuhinya kebutuhan hidup dasar generasi sekarang dan generasi mendatang dengan tidak merusak dan mempertahankan keanekaragaman hayati dan fungsi alami ekosistem (Alexander & Delabre, 2019). Salah satu komponen kota Jakarta cerdas adalah dikelolanya lingkungan tersebut secara cerdas. Berkenaan dengan efisiensi energi dan energi terbarukan dalam tulisan ini kami akan membahas dari sisi transisi energi dan pengaruhnya terhadap lingkungan.

Perubahan iklim dan polusi udara lokal merupakan salah satu penyebab utama transisi energi di seluruh dunia (Alamouh et al., 2020; Yanarella, 2020)(Gohari et al., 2022). Polusi udara lokal menjadi penyebab utama di negara negara seperti Tiongkok dan India. Namun juga di Eropa, terdapat peningkatan perhatian terhadap dampak buruk polusi udara terhadap kesehatan, yang sebagian besar berkaitan dengan pasokan dan penggunaan energi.

Efisiensi energi yang lebih tinggi dan penggunaan energi terbarukan yang lebih besar merupakan dua pilar transisi energi (Ernst et al., 2019). Energi terbarukan dan upaya efisiensi energi berpotensi mencapai 94% pengurangan emisi yang diperlukan pada tahun 2050. Sisanya sebesar 6% akan dicapai melalui pilihan lain untuk pengurangan emisi CO<sub>2</sub> terkait energi, yaitu peralihan bahan bakar fosil, penggunaan energi nuklir secara terus-menerus, serta penangkapan dan penyimpanan karbon (CCS). Antara 41% dan 54% dari total pengurangan ini disebabkan langsung oleh energi terbarukan. Pengurangan tersebut menunjukkan kontribusi elektrifikasi berdasarkan peningkatan penggunaan energi terbarukan sekaligus meningkatkan efisiensi energi dan pangsa energi terbarukan.

Negara-negara di seluruh dunia sedang berada di tengah-tengah transisi energi yang tampaknya lebih memilih listrik sebagai pembawa energi akhir. Hal ini menguntungkan baik dari sudut pandang energi terbarukan maupun efisiensi energi. Tenaga listrik merupakan

pembawa energi yang efisien dan menjadi sumber energi bersih bersumber dari energi terbarukan.

Mobil penumpang menyumbang sekitar setengah dari penggunaan energi transportasi, sehingga elektrifikasi dapat mengurangi emisi gas rumah kaca secara besar-besaran. Setengah lainnya terdiri dari truk, penerbangan, perkapalan dan kereta api. Meskipun truk pengiriman listrik mulai membuat terobosan, belum ada solusi serupa untuk penerbangan, pelayaran, atau angkutan truk jarak jauh. Hal ini memerlukan solusi terobosan teknologi dalam penyimpanan listrik (baterai) bagi kendaraan listrik (EV).

Prospek energi terbarukan di Jakarta. Ketersediaan sumber daya energi, proyeksi permintaan energi, pangsa energi terbarukan saat ini dan faktor-faktor lainnya. Namun, bagi semua negara, pangsa energi terbarukan harus meningkat secara signifikan. Peningkatan intensitas energi dapat dicapai melalui penerapan langkah-langkah efisiensi energi (termasuk elektrifikasi) serta penghematan energi melalui teknologi energi terbarukan yang lebih efisien.

Efisiensi energi yang lebih tinggi dan penggunaan energi terbarukan yang lebih besar merupakan dua pilar transisi energi pentingnya efisiensi energi dan energi terbarukan untuk transisi energi global, sementara IEA lebih optimis terhadap prospek bahan bakar fosil dengan CCS dan energi nuklir. Fakta bahwa hasilnya menunjukkan adanya konvergensi mengenai arah transisi energi yang diinginkan. Namun, kedua analisis tersebut juga menunjukkan bahwa transisi tersebut tidak terjadi begitu saja, dan bahwa laju transisi saat ini terlalu lambat.

Sinergi antara efisiensi energi dan energi terbarukan terlihat ketika sektor-sektor energi digabungkan, seperti halnya energi terbarukan dan transportasi, karena elektrifikasi transportasi mewakili hampir seperempat peningkatan intensitas energi sektor industri intensif seperti pembuatan besi dan baja, kimia dan petrokimia, serta pembuatan semen. Ini juga mencakup transportasi angkutan jalan raya, pelayaran dan penerbangan. Semua sektor ini merupakan sektor pengguna akhir yang paling mendesak untuk mengatasi tantangan inovasi guna meningkatkan teknologi yang sudah ada, mengembangkan terobosan, dan melakukan perubahan besar.

Inovasi dapat diperkuat melalui kerja sama global mendorong inovasi untuk menciptakan kota Jakarta cerdas (Maemunah, 2019; Maemunah et al., 2018) menerapkan teknologi energi ramah lingkungan. Terdapat delapan tantangan dalam inovasi energi, yaitu berupa jaringan listrik cerdas (*smart grid*), biofuel berkelanjutan, offgrid, pemanasan dan pendinginan serta hidrogen terbarukan dan bersih. Konversi sinar matahari langsung adalah tantangan lainnya yang sedang berlangsung.

Transisi energi memerlukan pendekatan inovasi holistik yang disesuaikan dengan kebutuhan masing-masing energi terbarukan dan teknologi efisiensi energi karena berbagai pendekatan akan diperlukan di semua sektor sistem energi.

Meskipun banyak solusi inovatif yang ada dan pengembangan energi tradisional pemerintah, sektor-sektor dengan kemajuan terendah dalam inovasi dekarbonisasi, seperti industri berat serta transportasi barang dan penerbangan, adalah sektor-sektor yang tidak memiliki insentif

kebijakan yang tepat dan perspektif jangka panjang sehingga di masa mendatang akan meningkatkan biaya transisi energi.

## 2. Kota Jakarta Cerdas

Membicarakan kota Jakarta cerdas tidak terlepas dari dua hal, yaitu konsep kota cerdas dan sistem kota cerdas. Kota cerdas tidak hanya mengenai penggunaan teknologi cerdas, tetapi juga meliputi pengelolaan yang bersifat wirausaha yang beradaptasi dengan pasar global secara efisien dan efektif. Kota Jakarta cerdas sektor teknologi menggerakkan kehidupan ekonomi yang sudah jenuh dan sebagai peluang pasar bagi perusahaan-perusahaan yang mencari pasar untuk teknologi dan manajemen modern (Shafiullah et al., 2022).

Kota Jakarta cerdas diupayakan pemerintahannya bertransformasi dari organisasi yang bersifat tradisional menjadi model pemberi layanan yang lebih kolaboratif dan terintegrasi. Pengelolaan kota-kota disekitar kota Jakarta akan saling berkolaborasi satu sama lainnya untuk menjalin kerjasama dan kemitraan guna mencapai tujuan sebagai kota cerdas. Kota cerdas didukung oleh kegiatan ekonomi dan teknologi (Joghee et al., 2020) juga oleh akademisi dan peneliti. Kemampuan penerapan teknologi infrastruktur perkotaan misal untuk mengatasi kemacetan lalu-lintas (Maemunah & Marta Anggoro, 2022; Rukmana et al., 2023) masalah penggunaan energi dan pengelolaan lingkungan guna mencapai tujuan peningkatan kualitas hidup dan pemberdayaan masyarakat.

Kota Jakarta cerdas sesuai dengan pemahaman dan sudut pandang masing-masing berdasar pada beberapa pendekatan yang menggunakan teknologi dan data yang tersedia untuk umum untuk memecahkan masalah-masalah tertentu sebagai lingkungan perkotaan yang efisien dan elegan (Anthony et al., 2017; Bhatti et al., 2019) seperti peningkatan ekonomi, pengelolaan jaringan transportasi dan pengaturan lalu lintas. Meski sebagian besar kota cerdas berusaha untuk memperbaiki berbagai hal dengan menambahkan teknologi siap pakai ke fungsi-fungsi yang sudah ada seperti merencanakan sistem transportasi berkelanjutan yang ada menjadi lebih efisien dan dapat diprediksi.

Kota Jakarta cerdas meliputi berbagai bidang, antara lain penggunaan teknologi cerdas, lingkungan cerdas, transportasi cerdas, penduduk cerdas, ekonomi cerdas dan energi cerdas. Perkembangan Kota Jakarta cerdas (Shafiullah et al., 2022) saat ini tumbuh pemikiran mengenai bidang keamanan dan keselamatan. Bidang keamanan dan keselamatan memegang peran penting bagi tumbuh dan berkembangnya kualitas suatu kota, meliputi : pencegahan kejahatan dan kekerasan institusi dan sosial, jaminan kepemilikan tanah dan pengusuran paksa, dan dalam mengelola kota menggunakan perencanaan dan tata kelola yang baik.

Kota Jakarta cerdas berkelanjutan berbasis AI, dalam perkembangannya telah menerapkan penggunaan teknologi cerdas, energi cerdas misalnya penggunaan bus listrik dan transportasi cerdas seperti terintegrasinya jaringan transportasi umum bus Transjakarta dengan LRT dan MRT serta pengelolaan administrasi pemerintahan secara cerdas, dimana proses administrasinya telah terintegrasi secara komputerisasi.

Kota Jakarta cerdas secara berkelanjutan terus berbenah menjadi kota ekonomi hijau (Rachmawati et al., 2024; Shafiullah et al., 2022) terutama dalam hal perbaikan kualitas

lingkungan dan jaringan transportasi umum. Kedua hal tersebut saling terkait dan mempengaruhi. Penggunaan kendaraan berbahan bakar fosil menyebabkan kualitas udara menurun (Philipp, 2020). Selain menambah dalam tingkat ketersediaan dan jaringan bus umum berbahan bakar dasar energi listrik juga memperpanjang hubungan LRT sampai ke pusat kota. Dengan penambahan hubungan dan jaringan transportasi ini diharapkan dapat lebih mengurangi tingkat kemacetan dan tingkat pencemaran udara ke depannya.

## KESIMPULAN

1. Pentingnya memiliki kota Jakarta cerdas tidak hanya tentang pengelolaan transportasi, penggunaan teknologi AI dan energi terbarukan, tetapi juga pemanfaatan sumberdaya alam melalui pembangunan berkelanjutan, menjaga lingkungan, peningkatan kualitas hidup dan pemberdayaan penduduknya serta berfungsi sebagai pasar.
2. Penggunaan sarana transportasi berkelanjutan akan meningkatkan efisiensi energi dan pengurangan emisi gas karbon serta menjadi motivasi utama dalam menjadikan kota Jakarta cerdas, sehat, ramah dan berkelanjutan.
3. Perubahan perilaku cerdas dalam penggunaan sistem transportasi cerdas (ITS), yaitu berupa mengurangi total jarak tempuh transportasi, beralih ke moda yang lebih hemat energi (peralihan moda), dan mengurangi konsumsi energi.
4. Sektor transportasi dan mobilitas masyarakat memiliki dampak terbesar terhadap konsumsi energi dan tingkat polusi perkotaan. Terdapat empat langkah utama intervensi ITS dalam konteks kota cerdas untuk mencapai penghematan energi, yaitu melakukan Identifikasi dan merancang solusi masalah mobilitas cerdas, menerapkan dan mengoperasikan solusi mobilitas cerdas, menggunakan solusi dan mengubah perilaku mobilitas, dan mengembangkan solusi mobilitas cerdas.
5. Jangka panjang penghematan energi dapat dicapai, yaitu dengan melalui perubahan gaya hidup masyarakat dan perubahan kepemilikan kendaraan, serta pemilihan lokasi kerja, lokasi pemukiman, dan pola aktivitas perjalanan.
6. Sistem Transportasi Cerdas (ITS) dengan memanfaatkan Teknologi Informasi dan Komunikasi (TIK) lebih mengefisienkan penggunaan infrastruktur transportasi yang ada dengan tujuan meningkatkan pelayanan transportasi dan mengurangi kemacetan, dapat menghemat energi dan mengurangi polusi udara.
7. Berkaitan dengan *Smart City* pembangunan berkelanjutan merupakan pembangunan di segala aspek kehidupan yang menjamin kemungkinan terpenuhinya kebutuhan hidup dasar generasi sekarang dan generasi mendatang dengan tidak merusak dan mempertahankan keanekaragaman hayati dan fungsi alami ekosistem.
8. Kota cerdas tidak hanya mengenai penggunaan teknologi cerdas dan energi terbarukan, tetapi juga meliputi pengelolaan yang bersifat wirausaha yang beradaptasi dengan pasar global secara efisien dan efektif.



### Pertanyaan Diskusi:

1. Menurut pendapat saudara, apakah Jakarta sudah termasuk dalam kriteria kota cerdas berkelanjutan? Jelaskan dengan mengacu pada pengertian dan kriteria suatu kota dapat disebut sebagai *kota cerdas*.
2. Kemampuan transformatif AI dalam konteks kota cerdas. Jelaskan bagaimana AI dapat menjadi kekuatan pengubah paradigma yang akan merevolusi mobilitas dengan cara yang belum pernah terjadi sebelumnya dalam kerangka arsitektur yang bertanggung jawab dan berkelanjutan.
3. Teknologi AI memiliki potensi dan manfaat bagi aktivitas manusia, contohnya pembuatan robot *humanity*. Jelaskan pendapat saudara, apakah teknologi AI dapat menggantikan peran manusia secara keseluruhan.

### REKOMENDASI KEBIJAKAN (*POLICY BRIEF*)

Berdasar pemaparan dan penjelasan di atas, penulis menyarankan:

1. Perlunya Pemerintah Provinsi Daerah Khusus Jakarta memberikan perhatian khusus, sebagaimana pada kota-kota besar yang sudah ada atas manfaat dan pentingnya memahami dampak dari kebijakan-kebijakan sebagai akibat dari pengaturan transportasi dan pemanasan global serta dampaknya terhadap lingkungan serta pertumbuhan ekonomi. Menjadikan Jakarta sebagai contoh solusi atas permasalahan perkotaan yang ada.
2. Bekerjasama dengan kota-kota penyangga Kota Jakarta (Bodetabek) dalam mendukung kebijakan mengatasi kemacetan lalu-lintas dengan menerapkan pemberlakuan ganjil genap di seluruh akses jalan yang terjangkau dengan menyediakan moda transportasi bus berbasis energi elektrik.

### DAFTAR PUSTAKA

- Alamoush, A. S., Ballini, F., & Ölçer, A. I. (2020). Ports' technical and operational measures to reduce greenhouse gas emission and improve energy efficiency: A review. *Marine Pollution Bulletin*, 160. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2020.111508>
- Alexander, A., & Delabre, I. (2019). Linking Sustainable Supply Chain Management with the Sustainable Development Goals: Indicators, Scales and Substantive Impacts. *Greening of Industry Networks Studies*, 7, 95–111. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-15066-2\\_6](https://doi.org/10.1007/978-3-030-15066-2_6)
- Ali, S., Yan, Q., Hussain, M. S., Irfan, M., Ahmad, M., Razzaq, A., Dagar, V., & Işık, C. (2021). Evaluating green technology strategies for the sustainable development of solar power projects: Evidence from Pakistan. In *Sustainability (Switzerland)* (Vol. 13, Issue 23). [mdpi.com. https://doi.org/10.3390/su132312997](https://doi.org/10.3390/su132312997)
- Anthony, B., Majid, M. A., & Romli, A. (2017). Green information technology system practice for sustainable collaborative enterprise: A structural literature review. *International Journal of Sustainable Society*, 9(3), 242–272. <https://doi.org/10.1504/IJSSOC.2017.088298>
- Asaithambi, S. P. R., Venkatraman, R., & Venkatraman, S. (2020). MOBDA: Microservice-oriented big data architecture for smart city transport systems. *Big Data and Cognitive Computing*, 4(3), 1–27. <https://doi.org/10.3390/bdcc4030017>
- Bamwesigye, D., & Hlavackova, P. (2019). Analysis of sustainable transport for smart cities.

- Sustainability (Switzerland)*, 11(7). <https://doi.org/10.3390/SU11072140>
- Bankins, S., Ocampo, A. C., Marrone, M., & ... (2024). A multilevel review of artificial intelligence in organizations: Implications for organizational behavior research and practice. *Journal of ...* <https://doi.org/10.1002/job.2735>
- Bellastuti, D. B., & Fathurrahman, R. (2023). Application of Smart Mobility in the DKI Jakarta Transportation System with KRL Commuter Line Transportation Mode. *Asian Journal of Social and Humanities*. <http://ajosh.org/index.php/jsh/article/view/155>
- Bhatti, F., Shah, M. A., Maple, C., & Islam, S. U. (2019). A novel internet of things-enabled accident detection and reporting system for smart city environments. In *sensors*. mdpi.com. <https://www.mdpi.com/1424-8220/19/9/2071>
- Bıçaksız, P., & Özkan, T. (2016). Impulsivity and driver behaviors, offences and accident involvement: A systematic review. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and ...* <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1369847815000911>
- Chen, Y., Ardila-Gomez, A., & Frame, G. (2017). Achieving energy savings by intelligent transportation systems investments in the context of smart cities. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 54, 381–396. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2017.06.008>
- Chocholac, J., Sommerauerova, D., Hyrslova, J., Kucera, T., Hruska, R., & MacHalik, S. (2020). Service quality of the urban public transport companies and sustainable city logistics. In *Open Engineering* (Vol. 10, Issue 1, pp. 86–97). degruyter.com. <https://doi.org/10.1515/eng-2020-0010>
- Christmann, P. (2021). Mineral Resource Governance in the 21st Century and a sustainable European Union. In *Mineral Economics* (Vol. 34, Issue 2, pp. 187–208). Springer. <https://doi.org/10.1007/s13563-021-00265-4>
- Creß, C., Bing, Z., & Knoll, A. C. (2021). Intelligent transportation systems using external infrastructure: A literature survey. *ArXiv Preprint ArXiv:2112.05615*. <https://arxiv.org/abs/2112.05615>
- Djajasinga, N. D. (2017). The Smart Mobility Concept by Developing Online-Based Transportation Information and Communication Technology for Sustainable Transportation. In ... *Journal of Artificial Intelligence* .... download.garuda.kemdikbud.go.id. <http://download.garuda.kemdikbud.go.id/article.php?article=2934776&val=10290&title=The Smart Mobility Concept by Developing Online-Based Transportation Information and Communication Technology for Sustainable Transportation>
- Doost Mohammadian, H., & Rezaie, F. (2020). Blue-Green Smart Mobility Technologies as Readiness for Facing Tomorrow's Urban Shock toward the World as a Better Place for Living (Case Studies: Songdo and Copenhagen). In *Technologies* (Vol. 8, Issue 3, p. 39). mdpi.com. <https://doi.org/10.3390/technologies8030039>
- Dwivedi, Y. K., Hughes, L., Kar, A. K., Baabdullah, A. M., Grover, P., Abbas, R., Andreini, D., Abumoghli, I., Barlette, Y., Bunker, D., Chandra Kruse, L., Constantiou, I., Davison, R. M., De, R., Dubey, R., Fenby-Taylor, H., Gupta, B., He, W., Kodama, M., ... Wade, M. (2022). Climate change and COP26: Are digital technologies and information management part of the problem or the solution? An editorial reflection and call to action. In *International Journal of Information Management* (Vol. 63). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/j.ijinfomgt.2021.102456>
- Ernst, E., Merola, R., & Samaan, D. (2019). Economics of artificial intelligence: Implications for the future of work. In *IZA Journal of Labor Policy*. sciendo.com. <https://doi.org/10.2478/izajolp-2019-0004>
- Gath-Morad, M., Schaumann, D., Zinger, E., & ... (2017). How smart is the Smart City? Assessing the impact of ICT on cities. *Agent Based Modelling* .... [https://doi.org/10.1007/978-3-319-51957-9\\_11](https://doi.org/10.1007/978-3-319-51957-9_11)
- Gerke, S., Minssen, T., & Cohen, G. (2020). Ethical and legal challenges of artificial intelligence-driven healthcare. *Artificial Intelligence in Healthcare*. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780128184387000125>

- Gielen, D., Boshell, F., Saygin, D., Bazilian, M. D., Wagner, N., & Gorini, R. (2019). The role of renewable energy in the global energy transformation. *Energy Strategy Reviews*, 24(January), 38–50. <https://doi.org/10.1016/j.esr.2019.01.006>
- Glasmeier, A., & Christopherson, S. (2015). Thinking about smart cities. *Cambridge Journal of Regions, Economy and Society*, 8(1), 3–12. <https://doi.org/10.1093/cjres/rsu034>
- Gohar, A., & Nencioni, G. (2021). The role of 5g technologies in a smart city: The case for intelligent transportation system. *Sustainability (Switzerland)*, 13(9). <https://doi.org/10.3390/su13095188>
- Gohari, A., Ahmad, A. B., Rahim, R. B. A., Supa'at, A. S. M., & ... (2022). Involvement of surveillance drones in smart cities: A systematic review. *IEEE ....* <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/9781426/>
- Greenblatt, J. B., & Shaheen, S. (2015). Automated Vehicles, On-Demand Mobility, and Environmental Impacts. *Current Sustainable/Renewable Energy Reports*, 2(3), 74–81. <https://doi.org/10.1007/s40518-015-0038-5>
- Grzelakowski, A. S. (n.d.). TRANSPORT SYSTEMS AND THEIR IMPACT ON QUALITY AND EFFICIENCY OF LOGISTICS MACROSYSTEMS. In *inw-spatium.pl*. [http://inw-spatium.pl/wp-content/uploads/2020/04/11.CHALLENGES-AND-MODERN-SOLUTION-IN-TRANSPORTATION—Chapter\\_11.pdf](http://inw-spatium.pl/wp-content/uploads/2020/04/11.CHALLENGES-AND-MODERN-SOLUTION-IN-TRANSPORTATION—Chapter_11.pdf)
- Haarstad, H., & Wathne, M. W. (2019). Are smart city projects catalyzing urban energy sustainability? *Energy Policy*, 129(November 2018), 918–925. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2019.03.001>
- Hepburn, C., Qi, Y., Stern, N., Ward, B., Xie, C., & Zenghelis, D. (2021). Towards carbon neutrality and China's 14th Five-Year Plan: Clean energy transition, sustainable urban development, and investment priorities. In *Environmental Science and Ecotechnology* (Vol. 8). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/j.esr.2021.100130>
- Ho, T. M., Tran, T. D., Nguyen, T. T., Kazmi, S. M. A., Le, L. B., Hong, C. S., & Hanzo, L. (2019). *Next-generation Wireless Solutions for the Smart Factory, Smart Vehicles, the Smart Grid and Smart Cities*. March 2019, 1–49. <http://arxiv.org/abs/1907.10102>
- Hollands, R. G. (2015). Critical interventions into the corporate smart city. *Cambridge Journal of Regions, Economy and Society*, 8(1), 61–77. <https://doi.org/10.1093/cjres/rsu011>
- Izzul, F. R., & Azmi, I. F. (2021). Comparison of Technology, Human Resources, and Institutional Resources Perspectives: Cases of Jakarta Smart City. ... *Series. Earth and Environmental Science*. <https://search.proquest.com/openview/93fc6c30a750c35acaeaa73f580bbbce/1?pq-origsite=gscholar&cbl=4998669>
- Joghee, S., Alzoubi, H. M., & Dubey, A. R. (2020). Decisions effectiveness of FDI investment biases at real estate industry: Empirical evidence from Dubai smart city projects. *International Journal of Scientific and Technology Research*, 9(3), 3499–3503. <http://research.skylineuniversity.ac.ae/id/eprint/34/>
- Karsono, D., Pamungkas, M. R. F., Erkamim, M., & ... (2024). IMPLEMENTATION OF SMART CITY APPLICATION IN SUSTAINABLE TRANSPORT SYSTEMS: PROSPECTS AND DEVELOPMENT OF SMARTCITY IN INDONESIA. *INTERNATIONAL ....* <https://injoser.joln.org/index.php/123/article/view/177>
- Kementerian\_PPN/Bappenas. (2020). *Naskah Akademik Rancangan Undang-Undang tentang Ibu Kota Negara*. Naskah Akademik.
- Lacinák, M., & Ristvej, J. (2017). Smart City, Safety and Security. *Procedia Engineering*, 192, 522–527. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.06.090>
- Lindau, S. T., Makelarski, J. A., Boyd, K., Doyle, K. E., Haider, S., Kumar, S., Lee, N. K., Pinkerton, E., Tobin, M., Vu, M., Wroblewski, K. E., & Lengyel, E. (2021). Change in Health-Related Socioeconomic Risk Factors and Mental Health during the Early Phase of the COVID-19 Pandemic: A National Survey of U.S. Women. *Journal of Women's Health*, 30(4), 502–513. <https://doi.org/10.1089/jwh.2020.8879>

- Lisi, W., Zhu, R., & Yuan, C. (2020). Embracing green innovation via green supply chain learning: The moderating role of green technology turbulence. *Sustainable Development*. <https://doi.org/10.1002/sd.1979>
- Lv, Z., & Shang, W. (2023). Impacts of intelligent transportation systems on energy conservation and emission reduction of transport systems: A comprehensive review. *Green Technologies and Sustainability*, 1(1), 100002. <https://doi.org/10.1016/j.grets.2022.100002>
- Maemunah, S. (2019). the Effect of Information and Communication Technology (Ict) and Business Strategy on Business Performance in Small and Medium Businesses. *Business and Entrepreneurial Review*, 17(1), 53. <https://doi.org/10.25105/ber.v16i2.5091>
- Maemunah, S., Hermawan, A., & Siringoringo, H. (2018). The Effects of Strategic Orientation, Technology Innovation, and Business Strategy in Improving Business Performance of Sme of Fashion Industry in Jakarta. *American Research Journal of Business and Management*, 4(1), 4–7. <https://doi.org/10.21694/2379-1047.18007>
- Maemunah, S., & Marta Anggoro. (2022). Transportation Modes During Pandemic Covid-19 in Indonesia. *SOSMANIORA: Jurnal Ilmu Sosial Dan Humaniora*, 1(1), 44–47. <https://doi.org/10.55123/sosmaniora.v1i1.201>
- Mourtzis, D., Angelopoulos, J., & Panopoulos, N. (2022). A Literature Review of the Challenges and Opportunities of the Transition from Industry 4.0 to Society 5.0. *Energies*. <https://www.mdpi.com/1800306>
- Munasinghe, M., Jayasinghe, P., Deraniyagala, Y., Matlaba, V. J., Santos, J. F. dos, Maneschy, M. C., & Mota, J. A. (2019). Value–Supply Chain Analysis (VSCA) of crude palm oil production in Brazil, focusing on economic, environmental and social sustainability. *Sustainable Production and Consumption*, 17, 161–175. <https://doi.org/10.1016/j.spc.2018.10.001>
- Nava, C. (2020). PVCUPCYCLING - Circular economy and zero waste: “Upcycling” waste from electrical systems. In *Environmental Engineering and Management Journal* (Vol. 19, Issue 10, pp. 1823–1829). researchgate.net. <https://doi.org/10.30638/eemj.2020.174>
- Navarro, C., Roca-Riu, M., Furió, S., & Estrada, M. (2016). Designing New Models for Energy Efficiency in Urban Freight Transport for Smart Cities and its Application to the Spanish Case. *Transportation Research Procedia*, 12(June 2015), 314–324. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2016.02.068>
- Nikitas, A., Michalakopoulou, K., Njaya, E. T., & Karampatzakis, D. (2020). Artificial intelligence, transport and the smart city: Definitions and dimensions of a new mobility era. *Sustainability (Switzerland)*, 12(7), 1–19. <https://doi.org/10.3390/su12072789>
- Papa, R., Gargiulo, C., & Russo, L. (2017). The evolution of smart mobility strategies and behaviors to build the smart city. *2017 5th IEEE International ....* <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/8005707/>
- Philipp, R. (2020). Blockchain for LBG Maritime Energy Contracting and Value Chain Management: A Green Shipping Business Model for Seaports. In *Environmental and Climate Technologies* (Vol. 24, Issue 3, pp. 329–349). sciendo.com. <https://doi.org/10.2478/rtuect-2020-0107>
- Pindarwati, A., & Wijayanto, A. W. (2015). Measuring performance level of smart transportation system in big cities of Indonesia comparative study: Jakarta, Bandung, Medan, Surabaya, and Makassar. *2015 International Conference on ....* <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/7437716/>
- Pinna, F., Masala, F., & Garau, C. (2017). Urban policies and mobility trends in Italian smart cities. *Sustainability (Switzerland)*, 9(4). <https://doi.org/10.3390/su9040494>
- Pira, M. Le, Tavasszy, L. A., Correia, G. H. de A., & ... (2021). Opportunities for integration between Mobility as a Service (MaaS) and freight transport: A conceptual model. *Sustainable Cities and ...* <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S221067072100490X>
- Ponte, S. (2019). Business, Power and Sustainability in a World of Global Value Chains. In



- Business, Power and Sustainability in a World of Global Value Chains*. books.google.com. <https://doi.org/10.5040/9781350218826>
- Rachmawati, R., Haryono, E., Ghiffari, R. A., & ... (2024). Achieving Sustainable Urban Development for Indonesia's New Capital City. ... of Sustainable .... <https://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&profile=ehost&scope=site&authtype=crawler&jrnl=17437601&AN=175927283&h=XqDSUIxQ8mgVxYu1Sljgq83bFUFpg6BtSjoozBDJcOPZ%2BOIZaIGFWNYJW%2BXOxYQWb3MWyO6GM%2FPgJdxVP3AxYA%3D%3D&crl=c>
- Reza, I. F., & Azmi, I. F. (2021). Comparison of Technology, Human Resources, and Institutional Resources Perspectives: Cases of Jakarta Smart City. ... *Conference Series: Earth and Environmental* .... <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/717/1/012029/meta>
- Roblek, V., Thorpe, O., Bach, M. P., Jerman, A., & Meško, M. (2020). The fourth industrial revolution and the sustainability practices: A comparative automated content analysis approach of theory and practice. *Sustainability (Switzerland)*, 12(20), 1–28. <https://doi.org/10.3390/su12208497>
- Rukmana, D. V., Maemunah, S., Candrarahayu, A. M., Digambiro, R., Manurung, R. A., & Rahandhi, R. (2023). Integration Facilities for Pedestrians in Train Station Area. *Jurnal Manajemen Transportasi & Logistik (JMTRANSLOG)*, 9(3), 263. <https://doi.org/10.54324/j.mtl.v9i3.1073>
- Sarkar, A., Qian, L., & Peau, A. K. (2020). Overview of green business practices within the Bangladeshi RMG industry: competitiveness and sustainable development perspective. *Environmental Science and Pollution Research*, 27(18), 22888–22901. <https://doi.org/10.1007/s11356-020-08816-y>
- Shafiullah, M., Rahman, S., Imteyaz, B., Aroua, M. K., & ... (2022). Review of smart city energy modeling in Southeast Asia. In *Smart Cities*. mdpi.com. <https://www.mdpi.com/2624-6511/6/1/5>
- Shelton, T., Zook, M., & Wiig, A. (2015). The “actually existing smart city.” *Cambridge Journal of Regions, Economy and Society*, 8(1), 13–25. <https://doi.org/10.1093/cjres/rsu026>
- Shwedeh, F., Hami, N., & Baker, S. Z. A. (2020). Effect of leadership style on policy timeliness and performance of smart city in Dubai: a review. In *Proceedings of the International* .... researchgate.net. [https://www.researchgate.net/profile/Fanar-Shwedeh-2/publication/366970073\\_Effect\\_of\\_Leadership\\_Style\\_on\\_Policy\\_Timeliness\\_and\\_Performance\\_of\\_Smart\\_City\\_in\\_Dubai\\_A\\_Review/links/63bc095bc3c99660ebdf33ef/Effect-of-Leadership-Style-on-Policy-Timeliness-and-P](https://www.researchgate.net/profile/Fanar-Shwedeh-2/publication/366970073_Effect_of_Leadership_Style_on_Policy_Timeliness_and_Performance_of_Smart_City_in_Dubai_A_Review/links/63bc095bc3c99660ebdf33ef/Effect-of-Leadership-Style-on-Policy-Timeliness-and-P)
- Solihati, K. D., & Indriyani, D. (2021). Managing artificial intelligence on public transportation (case study Jakarta city, Indonesia). ... *Series: Earth and Environmental* .... <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/717/1/012021/meta>
- Soori, M., Arezoo, B., & Dastres, R. (2023). Artificial intelligence, machine learning and deep learning in advanced robotics, a review. In *Cognitive Robotics*. Elsevier. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2667241323000113>
- Suling, C. F., Nurmandi, A., Muallidin, I., & ... (2022). The use of AI to develop smart infrastructure in Indonesia. ... *Conference on Human* .... [https://doi.org/10.1007/978-3-031-05463-1\\_15](https://doi.org/10.1007/978-3-031-05463-1_15)
- Sunitiyoso, Y., Wicaksono, A., Pambudi, N. F., & ... (2023). Future of mobility in Jakarta Metropolitan Area: A Multi-Stakeholder scenario planning. In *Transportation Research* .... Elsevier. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S259019822300057X>
- Syalianda, S. I., & Kusumastuti, R. D. (2021). Implementation of smart city concept: A case of Jakarta smart city, Indonesia. ... *Series: Earth and Environmental* .... <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/716/1/012128/meta>
- Tahir, R., Athar, M. R., Faisal, F., Shahani, N. un N., & Solangi, B. (2019). Green Organizational Culture: A Review of Literature and Future Research Agenda. *Annals of Contemporary*

- Developments in Management & HR*, 1(1), 23–38. <https://doi.org/10.33166/acdmhr.2019.01.004>
- Telang, S., Chel, A., Nemade, A., & Kaushik, G. (2021). Intelligent transport system for a smart city. *Security and Privacy ....* [https://doi.org/10.1007/978-3-030-53149-2\\_9](https://doi.org/10.1007/978-3-030-53149-2_9)
- Thellufsen, J. Z., Lund, H., Sorknæs, P., Østergaard, P. A., Chang, M., Drysdale, D., Nielsen, S., Djørup, S. R., & Sperling, K. (2020). Smart energy cities in a 100% renewable energy context. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 129(November 2019). <https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.109922>
- Wu, Y., Zhang, W., Shen, J., Mo, Z., & Peng, Y. (2018). Smart city with Chinese characteristics against the background of big data: Idea, action and risk. *Journal of Cleaner Production*, 173, 60–66. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.01.047>
- Yamamura, S., Fan, L., & Suzuki, Y. (2017). Assessment of Urban Energy Performance through Integration of BIM and GIS for Smart City Planning. *Procedia Engineering*, 180, 1462–1472. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.04.309>
- Yanarella, E. (2020). Greenovation: Urban Leadership on Climate Change. In *Sustainability* (Vol. 13, Issue 5). books.google.com. <https://doi.org/10.1089/sus.2020.29192.ejy>
- Zhang, Y., & Zhang, T. (2022). Complex Dynamics of a Low-Carbon Supply Chain with Government Green Subsidies and Carbon Cap-and-Trade Policies. *International Journal of Bifurcation and Chaos*, 32(6). <https://doi.org/10.1142/S0218127422500900>
- Zhao, X., Zuo, J., Wu, G., & Huang, C. (2019). A bibliometric review of green building research 2000–2016. *Architectural Science Review*, 62(1), 74–88. <https://doi.org/10.1080/00038628.2018.1485548>
- Zhu, C., Leung, V. C. M., Shu, L., & Ngai, E. C. H. (2015). Green Internet of Things for Smart World. *IEEE Access*, 3, 2151–2162. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2015.2497312>

# Penerbit Gunadarma





## PENGARUH PENAMBAHAN LAPISAN AKTIF PADA STRUKTUR SEL SURYA a-Si:H TERHADAP EFISIENSI MENGGUNAKAN RF-PECVD

Soni Prayogi<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik Industri, Universitas Pertamina  
Jl. Teuku Nyak Arief, Simprug, Kebayoran Lama, Jakarta 12220. Indonesia

e-mail: [soni.prayogi@universitaspertamina.ac.id](mailto:soni.prayogi@universitaspertamina.ac.id)

### ABSTRAK

Penelitian ini menyelidiki pengaruh penambahan lapisan aktif pada struktur sel surya berbasis hidrogenasi amorphous silikon (a-Si:H) terhadap efisiensi perangkat menggunakan teknik Radio Frekuensi Plasma Enhanced Chemical Vapor Deposition (RF-PECVD). Dengan fokus pada optimalisasi efisiensi konversi energi, penelitian ini memperkenalkan variasi ketebalan dan komposisi lapisan aktif yang diterapkan pada substrat sel surya. Metode RF-PECVD digunakan untuk mengendalikan parameter deposisi secara presisi, memungkinkan pembuatan lapisan tipis berkualitas tinggi. Hasil eksperimen menunjukkan bahwa penambahan lapisan aktif dapat meningkatkan penyerapan cahaya dan memperbaiki pengangkutan muatan, yang pada akhirnya berkontribusi pada peningkatan efisiensi sel surya. Pengujian dilakukan dengan ukuran karakteristik IV di bawah simulasi sinar matahari standar, yang menunjukkan peningkatan efisiensi konversi energi sebesar 15% dibandingkan dengan Struktur sel surya tanpa penambahan lapisan aktif. Analisis lebih lanjut menggunakan spektroskopi impedansi elektrokimia dan teknik karakterisasi material lainnya mengungkapkan bahwa peningkatan efisiensi ini disebabkan oleh pengurangan rekombinasi muatan dan peningkatan mobilitas elektron dalam lapisan aktif yang dimodifikasi. Temuan ini memberikan wawasan baru dalam desain dan fabrikasi sel surya a-Si:H, serta membuka peluang untuk pengembangan teknologi fotovoltaik yang lebih efisien dan ekonomis dengan menggunakan teknik RF-PECVD.

Kata Kunci: Sel surya a-Si:H; PECVD; Lapisan aktif; Efisiensi.

### PENDAHULUAN

Energi surya telah menjadi salah satu sumber energi terbarukan yang paling menjanjikan untuk masa depan. Peningkatan permintaan energi global dan kebutuhan untuk mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil telah mendorong perkembangan teknologi fotovoltaik yang lebih efisien dan terjangkau. Salah satu teknologi fotovoltaik yang menarik perhatian adalah sel surya berbasis *hidrogenasi amorphous silicon* (a-Si:H) (Irvine, 2007). Sel surya a-Si menawarkan beberapa keunggulan, termasuk biaya produksi yang lebih rendah, fleksibilitas dalam aplikasi, dan kemampuan untuk beroperasi dalam kondisi cahaya rendah (Despotou, 2012). Selain itu, sumber energi ini ramah lingkungan karena tidak ada polutan yang dihasilkan selama konversi. Secara umum, listrik tenaga surya merupakan sumber energi alternatif yang dapat diterima (Chittick et al., 1969). Meskipun demikian, efisiensi konversi energi dari sel surya a-Si masih relatif rendah dibandingkan dengan sel surya berbasis kristal silikon, sehingga penelitian terus dilakukan untuk meningkatkan kinerja perangkat ini (Phillips, 2019).

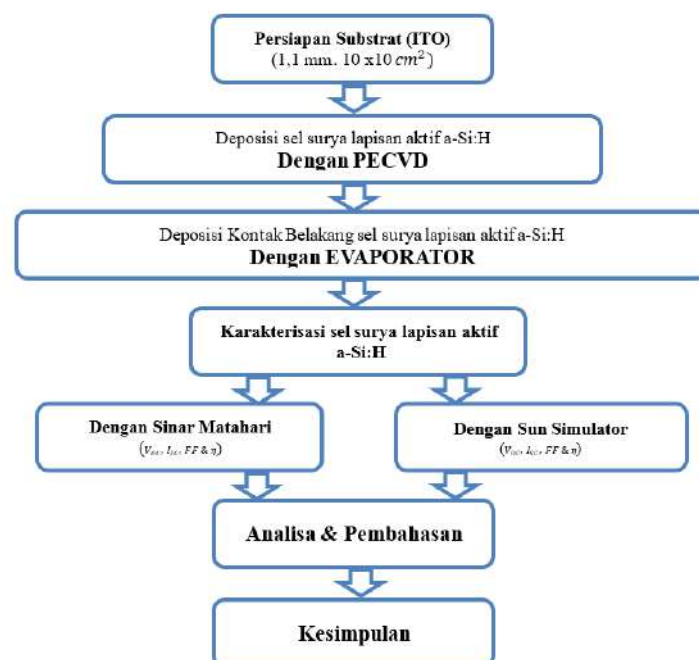
Tiga masalah utama sel surya, terutama silikon amorf terhidrogenasi, adalah efisiensi yang masih rendah, *Efek Staebler-Wronski* (SWE) dan masih mahal. Selain itu, perhatian terbesar

dari sel surya silikon amorf adalah celah pita dari kelompok energi terlarang (Cahyono et al., 2017). Pada sel surya, terlalu banyak bandwidth menyebabkan sejumlah besar spektrum energi terbuang sia-sia karena transmisi (Prayogi et al., 2022). Pada saat yang sama, jika bandwidth energi terlarang terlalu kecil, kehilangan eksitasi elektron akan tinggi (Illiberi et al., 2011). Peningkatan efisiensi sel surya sangat bergantung pada seberapa baik sistem sel surya dapat menyerap energi matahari secara maksimal (Flewitt, 2016). Cahaya yang tidak diserap oleh lapisan atas ditransmisikan ke lapisan kedua dengan celah pita energi yang lebih kecil (Prayogi et al., 2021).

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi signifikan dalam bidang teknologi fotovoltaik, khususnya dalam pengembangan sel surya a-Si yang lebih efisien dan ekonomis. Dengan pemahaman yang lebih baik tentang peran lapisan aktif dan teknik deposisi yang optimal, diharapkan dapat dihasilkan sel surya yang tidak hanya memiliki efisiensi tinggi, tetapi juga stabil dalam jangka panjang dan mampu diproduksi secara massal dengan biaya yang lebih rendah. Temuan dari penelitian ini juga dapat membuka peluang baru untuk aplikasi sel surya dalam berbagai bidang, termasuk aplikasi portabel, bangunan ramah lingkungan, dan sistem tenaga skala besar. Lapisan aktif berbasis a-Si:H memegang peran paling penting untuk memanfaatkan energi surya untuk mengeksitasi elektron. Di sini, kami menyajikan pendekatan baru untuk menghasilkan lapisan aktif struktur silikon amorf dari  $\text{SiH}_4$  dengan teknik PECVD dan memvariasikan setiap lapisan aktif melalui waktu pengendapan untuk menyelidiki efisiensi yang dihasilkan.

## Penerbit **METODE PENELITIAN** Gunadarma

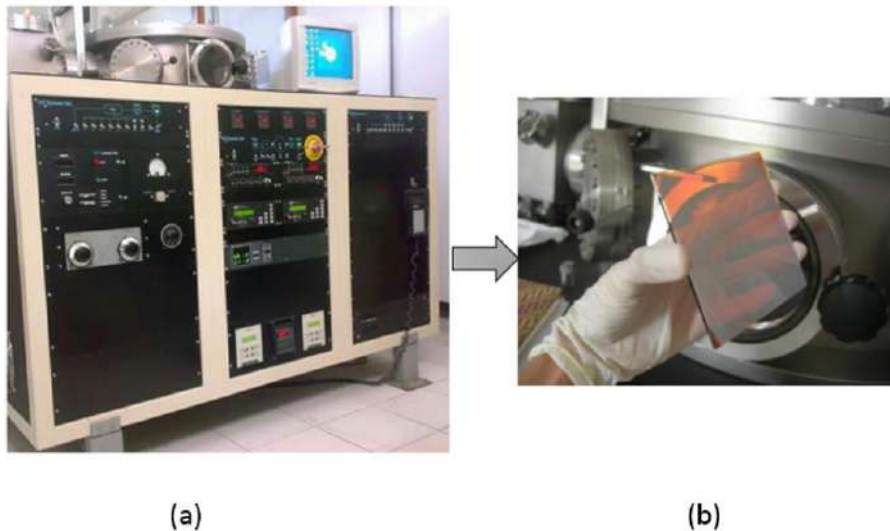
Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode eksperimen. Berikut ini urutan penelitian yang digunakan beserta cara kerja penelitiannya seperti pada Gambar 1.



**Gambar 1.** Diagram alur penelitian

Deposisi sel surya lapisan aktif a-Si:H dilakukan dengan menggunakan metode PECVD seperti

terlihat pada Gambar 2. Untuk mendapatkan lapisan aktif, dilakukan pengenceran plasma silan dengan hidrogen, dengan rasio hidrogen dan silan yang bervariasi,  $R=H_2/SiH_4$ . Lapisan aktif struktur sel surya a-Si:H akan diendapkan dengan menggunakan parameter pengendapan yang representatif untuk menghasilkan film tipis yang dapat menyerap spektrum energi matahari secara maksimal. Parameter deposisi yang ditentukan juga diharapkan dapat menghasilkan kualitas efisiensi sel surya yang lebih baik.



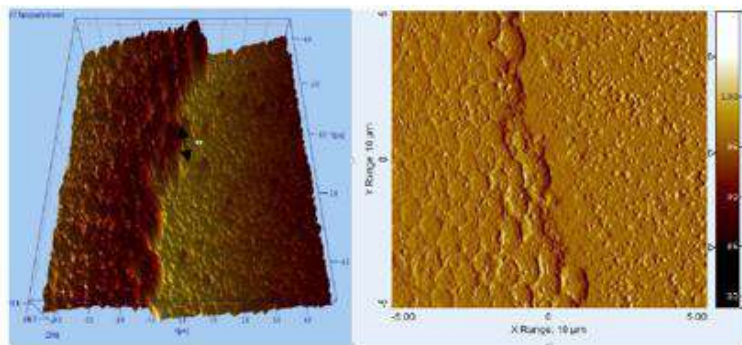
**Gambar 2.** Skema preparasi sel surya a-Si:H (a) Teknik PECVD dengan multi chamber, dan (b) Sel surya a-Si:H (10 cm x 10 cm) terintegrasi dengan film konduktif.

Pengolahan dan analisis hasil pengukuran parameter karakteristik sel surya pada kondisi iradiasi dilakukan melalui langkah-langkah sebagai berikut: 1) Plot kurva karakteristik arus terhadap tegangan (I-V) sel surya dari data pengukuran. 2) Tentukan  $V_{oc}$ ,  $I_{sc}$ , dan  $V_m I_m$  dari kurva karakteristik I-V. Ketika resistor variabel nol, amperemeter menunjukkan nilai  $I_{sc}$  dan tegangan yang terbaca pada voltmeter adalah nol. Besarnya arus berkurang dengan meningkatnya nilai resistor, hal ini menyebabkan tegangan naik perlahan. Sampai situasi di mana resistor mencapai nilai mendekati tak terhingga, besarnya arus adalah nol dan tegangan mencapai nilai  $V_{oc}$ . Sedangkan  $V_m$  dan  $I_m$  masing-masing adalah tegangan dan arus pada titik operasi optimum. 3) Tentukan faktor pengisian (FF) dan efisiensi ( $\eta$ ) sel surya. FF adalah besaran tak berdimensi yang menyatakan rasio daya maksimum yang dihasilkan sel surya terhadap perkalian  $I_{sc}$  dan  $V_{oc}$ .

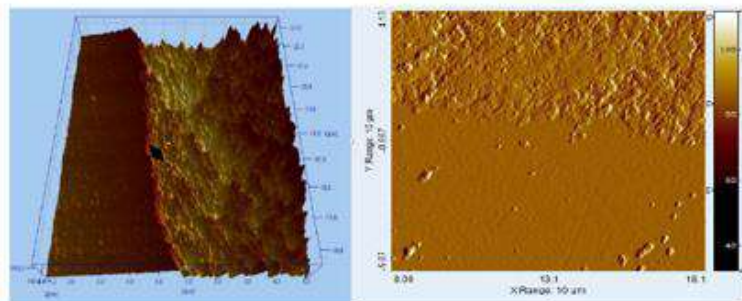
## PEMBAHASAN

Hasil yang diharapkan dari deposisi ini adalah lapisan seragam berwarna coklat kehitaman seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2 dari masing-masing sampel. Lapisan tersebut dianggap sebagai tanda homogen dari warna hitam kecoklatan yang seragam. Pada proses deposisi lapisan aktif, difusi gugus Si-H, terjadi ikatan silang sehingga molekul  $H_2$  terperangkap di dalam lapisan, tegangan dan regangan tinggi menciptakan permukaan yang lemah. Ikatan lemah pada permukaan mudah putus dengan adanya energi aktivasi. Pemutusan ikatan menyebabkan pelepasan atom  $H_2$  ke udara terbuka. Setelah pengendapan selesai, ia bertindak sebagai cabang yang terus tumbuh dan kemudian lapisan a-Si:H terlepas dari substrat.

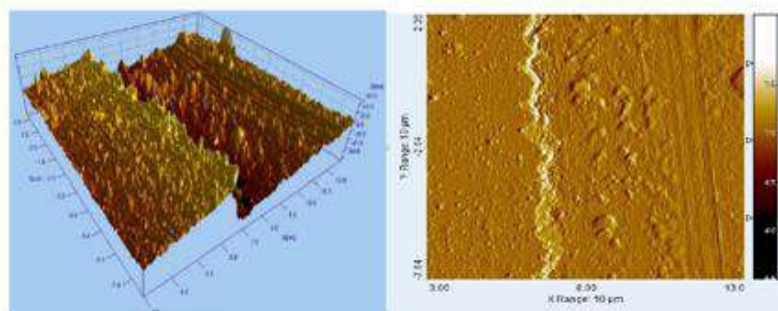
Untuk mengukur ketebalan dan morfologi sel surya  $\alpha$ -Si:H menggunakan *Atomic Force Microscopy* (AFM), yang mengkarakterisasi bahan menggunakan gaya atom tip-substrat. AFM terdiri dari beberapa perangkat seperti *nozle*, *kantilever*, *sensor piezoelektrik* dan *detektor cahaya* (Dzedzickis et al., 2018). Pengukuran atau scan diambil dari batas antara coating dan substrat. Perubahan kemiringan ini memberikan informasi tentang kedalaman atau ketebalan lapisan (Pedrak et al., 2003). Dengan memindai daerah batas ini diperoleh informasi tentang perbedaan tinggi atau kedalaman yang menyatakan ketebalan lapisan tipis yang terbentuk. Informasi tentang kedalaman disediakan oleh perubahan kemiringan. Pemindaian di wilayah perbatasan ini menghasilkan data variasi ketinggian atau kedalaman yang mewakili ketebalan lapisan tipis. Gambar 3 menunjukkan hasil pengukuran yang dilakukan menggunakan AFM untuk setiap lapisan aktif.



(a)



(b)

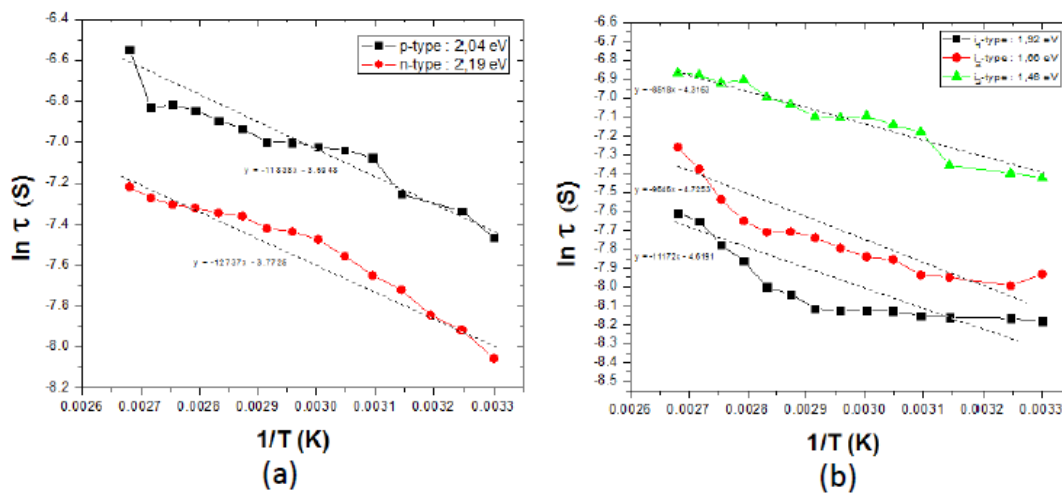


(c)

**Gambar 3.** Morfologi permukaan lapisan aktif yang diukur menggunakan AFM (a) Lapisan aktif 1, (b) Lapisan aktif 2, dan (c) Lapisan aktif 3.

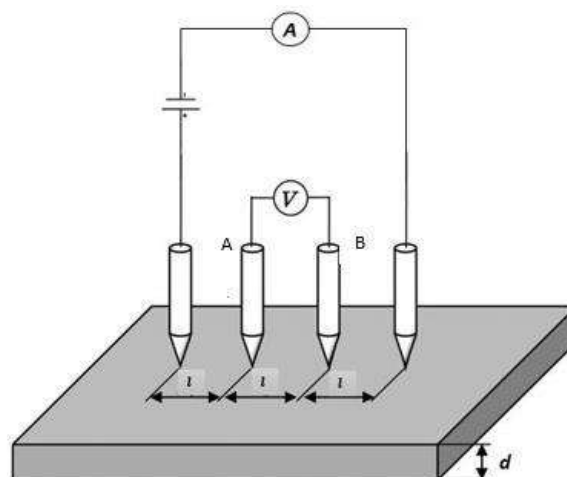
Celah energi sampel ( $E_g$ ) dapat dihitung dengan mengukur konduktivitas sampel pada setiap kenaikan suhu ( $T$ ), yang menghasilkan grafik  $\ln$  vs  $1/T$ . Pengukuran ini untuk menghitung celah energi sampel dengan mengukur konduktivitas pada temperatur yang berbeda. Kemiringan

grafik dapat digunakan untuk menetapkan di mana  $E_g$  berada seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4. Menurut temuan pengukuran dan analisis UV-Vis menggunakan metode Tauc's Plot dan rasio  $\ln$  hingga  $1/T$ , setiap lapisan telah berhasil mengoptimalkan celah energi (Misalnya) pada lapisan aktif sampel sel surya a-Si:H.



**Gambar 4.** Pengukuran  $E_g$  menggunakan perbandingan  $\ln \sigma$  dengan  $1/T$  (a). Lapisan aktif, dan (b). Lapisan pasif.

Pada pengukuran konduktivitas sampel dipotong menjadi ukuran  $1 \times 1 \text{ cm}^2$  untuk metode empat titik pengukuran konduktivitas listrik. Dengan maksud untuk menurunkan faktor koreksi pengukuran, daerah sampel dibuat sekecil mungkin (Prior, 2005). Bentuk sampel akan berdampak pada faktor koreksi pengukuran selain memastikan ukuran sampel sekecil mungkin (Morigaki & Ogihara, 2007). Faktor koreksi pengukuran juga harus diperhatikan jika bentuk sampel berbentuk lingkaran. Akibatnya, daripada menggunakan lingkaran sebagai bentuk sampel untuk pengukuran probe empat titik konduktivitas listrik, persegi berukuran  $1 \times 1 \text{ cm}^2$  digunakan. Probe diberi jarak  $0,25 \text{ cm}$  karena sampel berukuran  $1 \times 1 \text{ cm}^2$ .



**Gambar 5.** Skema rangkaian pengukuran konduktivitas menggunakan metode empat titik

Nilai konduktivitas diperoleh dari besarnya nilai konduktivitas listrik suatu sampel dipengaruhi oleh beberapa variable dapat dilihat pada Tabel 1. Diantaranya adalah tegangan, ketebalan lapisan, jarak antar probe, dan arus yang terbaca. Dengan mengalirnya arus listrik pada kedua probe terluar maka akan didapatkan nilai Tegangan (V) dari nilai tegangan yang diukur pada kedua probe terluar (Kasap et al., 2007).



**Tabel 1.** Hasil pengukuran daya hantar listrik lapisan intrinsik dan ekstrinsik pada kondisi terang

| No | Sample              | Voltage<br>$V_{a-b}$<br>(V) | Current<br>I<br>(mA) | Conductivity<br>$\sigma$<br>( $\times 10^{-3}$ S/cm) |
|----|---------------------|-----------------------------|----------------------|------------------------------------------------------|
| 1  | Tipe-p              | 0,647                       | 96,2                 | 1,74                                                 |
| 2  | Tipe-n              | 0,461                       | 64,3                 | 3,15                                                 |
| 3  | Tipe-i <sub>1</sub> | 0,847                       | 277,2                | 65,1                                                 |
| 4  | Tipe-i <sub>2</sub> | 0,747                       | 176,2                | 35,4                                                 |
| 5  | Tipe-i <sub>3</sub> | 0,844                       | 246,2                | 60,6                                                 |

**Tabel 2.** Hasil pengukuran daya hantar listrik lapisan intrinsik dan ekstrinsik pada kondisi gelap

| No | Sample              | Voltage<br>$V_{a-b}$<br>(V) | Current<br>I<br>(mA) | Conductivity<br>$\sigma$<br>( $\times 10^{-3}$ S/cm) |
|----|---------------------|-----------------------------|----------------------|------------------------------------------------------|
| 1  | Tipe-p              | 0,325                       | 36,2                 | 0,48                                                 |
| 2  | Tipe-n              | 0,231                       | 64,3                 | 0,85                                                 |
| 3  | Tipe-i <sub>1</sub> | 0,627                       | 147,2                | 0,62                                                 |
| 4  | Tipe-i <sub>2</sub> | 0,541                       | 106,1                | 0,31                                                 |
| 5  | Tipe-i <sub>3</sub> | 0,642                       | 142,7                | 0,56                                                 |

Dari Tabel 1 dan 2 pada lapisan pasif, konduktivitas cahaya tidak meningkat secara signifikan dari keadaan gelap. Respon foto yang merupakan rasio konduktivitas cahaya terhadap konduktivitas gelap menunjukkan nilai tidak lebih dari  $10^1$ , menunjukkan bahwa lapisan pasif adalah lapisan pasif. Hal ini karena elektron dari pita valensi yang dieksitasi oleh cahaya menuju pita konduksi tidak secara signifikan meningkatkan konsentrasi elektron pada pita konduksi (Beyer, 2003). Berbeda dengan lapisan aktif yang memiliki respon foto hingga  $10^5$ , elektron tereksitasi secara signifikan meningkatkan konsentrasi elektron pada pita konduksi sehingga teramati konduktivitas cahaya pada lapisan aktif tampak melonjak drastis.

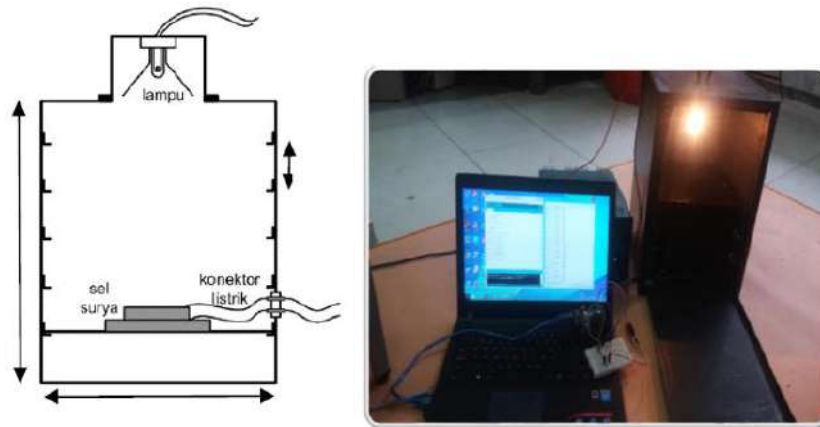
Pengukuran I-V dengan Sun Simulator untuk mengetahui karakteristik sel surya lapisan aktif a-

Si:H. Simulator Matahari terbuat dari bahan aluminium dengan ukuran (15x15x30) cm<sup>3</sup> dan dihubungkan dengan rangkaian elektronik seperti pada Gambar 6. Di bagian atas ditempatkan lampu untuk mengukur karakteristik I-V dalam kondisi disinari. Lampu yang digunakan adalah lampu Halogen Bulb dengan intensitas cahaya 46,6 mW/cm<sup>2</sup>. Lampu Halogen Bulb dipilih karena spektrum cahayanya hampir mendekati spektrum sinar matahari.

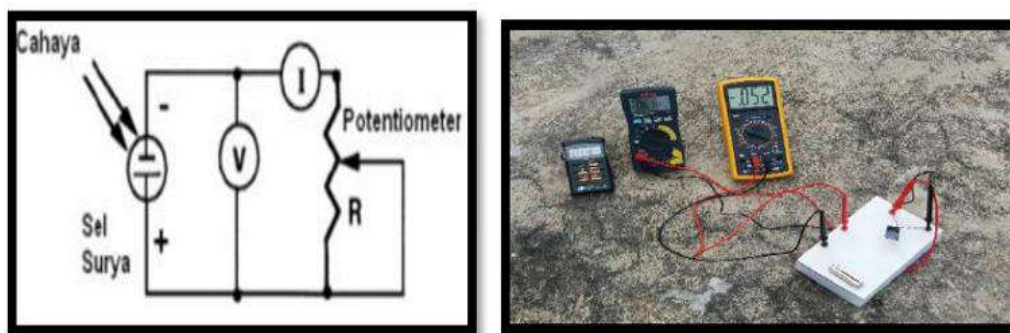
Proses karakterisasi I-V dengan sinar matahari langsung pada prinsipnya hampir sama dengan menggunakan Sun Simulator, namun perbedaan yang mendasar adalah sumber cahayanya melalui sinar matahari langsung dimana intensitas cahayanya mencapai 850 mW/cm<sup>2</sup> seperti pada Gambar 7. Prosedur karakterisasi I-V sel surya ini dilakukan sebanyak tiga kali sesuai



dengan jumlah sampel.



**Gambar 6.** Rancangan sistem Sun Simulator

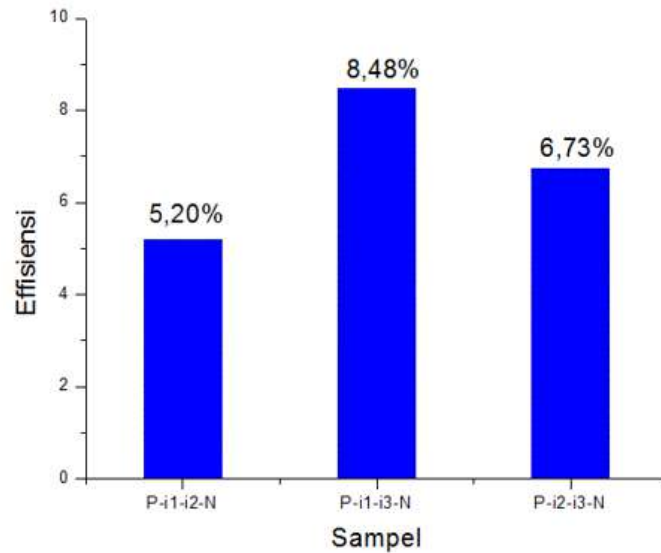


**Gambar 7.** Rangkaian listrik untuk sistem pengukuran karakterisasi sel surya I-V

Hasil karakterisasi lapisan aktif I-V dengan perbedaan ketebalan lapisan dengan Sun Simulator dan sinar matahari dapat dilihat pada Tabel 3, Gambar8 dan Tabel 4, Gambar 9.

**Tabel 3.** Karakterisasi I-V sel surya lapisan aktif a-Si:H dengan Sun Simulator.

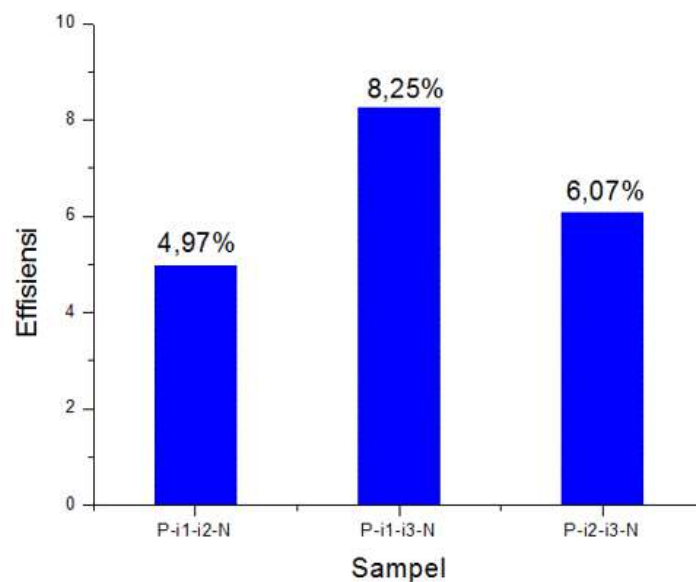
| No | Sampel                              | $V_{oc}$ | $I_{sc}$ | $P_{in}$ | $P_{maks}$ | $FF$ | $H$  |
|----|-------------------------------------|----------|----------|----------|------------|------|------|
|    |                                     | (mV)     | (mA)     | (mW)     | (mW)       |      | (%)  |
| 1  | P-i <sub>1</sub> -i <sub>2</sub> -N | 140,7    | 0,231    | 366      | 19,05      | 0,58 | 5,20 |
| 2  | P-i <sub>1</sub> -i <sub>3</sub> -N | 178,2    | 0,288    | 366      | 31,05      | 0,57 | 8,48 |
| 3  | P-i <sub>2</sub> -i <sub>3</sub> -N | 150,1    | 0,273    | 366      | 24,62      | 0,60 | 6,73 |



**Gambar 8.** Pengukuran Grafik Efisiensi Sampel dengan Sun Simulator

**Tabel 4.** Karakterisasi I-V sel surya lapisan aktif a-Si:H dengan Sinar Matahari

| No | Sampel                              | $V_{oc}$ | $I_{sc}$ | $P_{in}$ | $P_{maks}$ | $FF$ | $\eta$ |
|----|-------------------------------------|----------|----------|----------|------------|------|--------|
|    |                                     | (mV)     | (mA)     | (mW)     | (mW)       |      | (%)    |
| 1  | P-i <sub>1</sub> -i <sub>2</sub> -N | 244,24   | 0,432    | 1144     | 56,96      | 0,54 | 4,97   |
| 2  | P-i <sub>1</sub> -i <sub>3</sub> -N | 374,60   | 0,586    | 1144     | 92,49      | 0,43 | 8,25   |
| 3  | P-i <sub>2</sub> -i <sub>3</sub> -N | 302,80   | 0,511    | 1144     | 69,51      | 0,45 | 6,07   |



**Gambar 9.** Pengukuran Grafik Efisiensi Sampel dengan Sinar Matahari

Hasil karakterisasi I-V sel surya lapisan aktif a-Si:H menggunakan Sun Simulator dan sinar matahari langsung menunjukkan bahwa pengukuran yang dihasilkan bervariasi pada ketebalan lapisan-i antara 400-800 nm. Pada hasil penelitian sebelumnya dengan menggunakan alat

PECVD yang sama dengan struktur p-i-n menghasilkan efisiensi sebesar 5,31%. Sedangkan dengan mengoptimalkan dengan memvariasikan energy gap dan ketebalan masing-masing sampel, diperoleh nilai efisiensi sebesar 8,48%. Terjadi peningkatan efisiensi yang sangat signifikan, hampir 60% dari yang pernah dilakukan sebelumnya.

Secara keseluruhan, sebagaimana dibuktikan dengan daya keluaran maksimum yang rendah, sel surya lapisan aktif a-Si:H yang dihasilkan biasanya memiliki FF yang buruk. Salah satu penyebab rendahnya nilai FF sel surya a-Si:H lapisan aktif adalah mekanisme pembuatan sambungan yang tidak sempurna, yang mengakibatkan cacat pada area antarmuka (Wang et al., 2020). Ada lima lokasi persimpangan pada sel surya a-Si:H yang dihasilkan, yang masing-masing merupakan persimpangan antara substrat (ITO) dan lapisan-p, antara lapisan-p dan lapisan-p. Kondisi cacat akan tercipta di area sambungan jika mekanisme penghubung antar lapisan tidak dibangun dengan benar

Untuk menggunakan energi foton untuk membangkitkan pembawa muatannya dari pita valensi ke pita konduksi dan untuk meningkatkan kekuatan medan listrik antara lapisan-p dan lapisan-n, lapisan aktif a-Si:H pada lapisan perangkat sel surya memainkan fungsi krusial. Semakin tebal lapisan aktif maka laju pembentukan pembawa muatan akan meningkat, dan penyerapan foton akan semakin besar (Duan et al., 2014). Namun, resistansi seri ( $R_s$ ) juga naik karena keadaan lokal yang disebabkan oleh lapisan-i yang lebih tebal. Sebaliknya, medan listrik yang tercipta antara lapisan-p dan lapisan-n akan melemah jika lapisan-i terlalu tipis.

Hasil penelitian ini mengindikasikan bahwa penambahan lapisan aktif pada struktur sel surya a-Si menggunakan teknik RF-PECVD dapat secara signifikan meningkatkan efisiensi perangkat. Peningkatan efisiensi ini terutama disebabkan oleh dua faktor utama: peningkatan penyerapan cahaya dan pengurangan rekombinasi pembawa muatan. Lapisan aktif yang disintesis dengan teknik RF-PECVD memiliki karakteristik material yang sangat baik, seperti kepadatan tinggi, homogenitas, dan kekasaran permukaan yang rendah. Karakteristik ini memungkinkan lapisan aktif untuk berfungsi secara optimal dalam menyerap cahaya dan mengangkut muatan tanpa mengalami banyak kerugian energi.

Secara keseluruhan, temuan ini menunjukkan bahwa pendekatan penambahan dan optimalisasi lapisan aktif menggunakan RF-PECVD memiliki potensi besar untuk meningkatkan kinerja sel surya a-Si:H. Metode ini tidak hanya efektif dalam meningkatkan efisiensi konversi energi, tetapi juga dapat diterapkan pada skala industri dengan biaya yang relatif rendah. Namun, penelitian lebih lanjut masih diperlukan untuk mengeksplorasi kombinasi material baru dan teknik deposisi yang lebih canggih guna terus mendorong batas efisiensi sel surya berbasis a-Si:H. Selain itu, studi jangka panjang mengenai stabilitas dan degradasi perangkat juga penting untuk memastikan bahwa peningkatan efisiensi ini dapat dipertahankan dalam penggunaan praktis. Dengan demikian, penelitian ini memberikan kontribusi penting dalam pengembangan teknologi fotovoltaik yang lebih efisien dan ekonomis, serta membuka peluang untuk aplikasi yang lebih luas dalam industri energi terbarukan.

## KESIMPULAN

Singkatnya, penelitian ini menyelidiki pengaruh penambahan lapisan aktif pada struktur sel surya berbasis hidrogenasi amorphous silicon (a-Si:H) terhadap efisiensi konversi energi menggunakan teknik *Radio Frequency Plasma Enhanced Chemical Vapor Deposition* (RF-PECVD). Hasil menunjukkan bahwa modifikasi lapisan aktif secara signifikan meningkatkan efisiensi sel surya a-Si:H. Penambahan lapisan aktif yang dioptimalkan dari segi ketebalan dan komposisi material mampu meningkatkan penyerapan cahaya dan mengurangi rekombinasi pembawa muatan, sehingga menghasilkan peningkatan efisiensi konversi energi sebesar 15% dibandingkan dengan sel surya tanpa modifikasi. Teknik RF-PECVD memungkinkan kontrol presisi terhadap parameter deposisi, menghasilkan lapisan tipis berkualitas tinggi dengan kepadatan dan homogenitas yang optimal. Analisis lebih lanjut menunjukkan peningkatan mobilitas elektron dan pengurangan rekombinasi pembawa muatan dalam lapisan aktif yang dimodifikasi. Kesimpulannya, penambahan dan optimalisasi lapisan aktif menggunakan RF-PECVD merupakan pendekatan efektif untuk meningkatkan kinerja sel surya a-Si. Temuan ini memberikan wawasan baru dalam desain dan fabrikasi sel surya, serta membuka peluang untuk pengembangan teknologi fotovoltaik yang lebih efisien dan ekonomis. Penelitian lanjutan diperlukan untuk mengeksplorasi kombinasi material baru dan teknik deposisi yang lebih canggih guna terus meningkatkan efisiensi sel surya berbasis a-Si:H.

## REKOMENDASI KEBIJAKAN (POLICY BRIEF)

Untuk Pemerintah Provinsi DKI Jakarta, saya merekomendasikan fokus pada analisis efisiensi sel surya a-Si:H dengan mempertimbangkan penyusunan lapisan aktif. *Langkah pertama* adalah mendorong penelitian dan pengembangan berkelanjutan di bidang ini, melalui kerjasama dengan lembaga riset dan perguruan tinggi lokal. Dengan demikian, potensi untuk peningkatan efisiensi dan penurunan biaya produksi bisa terwujud. Selain itu, kolaborasi dengan industri baik lokal maupun internasional sangat penting untuk memperluas wawasan teknis dan akses terhadap sumber daya yang dibutuhkan. Infrastruktur yang mendukung penerapan sel surya, seperti sistem penyaluran listrik terbarukan dan kebijakan pembangunan ramah lingkungan, juga harus diperkuat. Penguatan infrastruktur ini akan membuka jalan bagi adopsi yang lebih luas dari teknologi ini. Sosialisasi kepada masyarakat tentang manfaat penggunaan sel surya, disertai dengan pelatihan instalasi dan pemeliharannya, akan meningkatkan pemahaman dan adopsi teknologi ini. *Terakhir*, penting untuk menetapkan metrik kinerja yang jelas dan melakukan pemantauan serta evaluasi rutin terhadap efisiensi dan kinerja sel surya yang terpasang di wilayah DKI Jakarta. Dengan demikian, Pemerintah Provinsi DKI Jakarta dapat memainkan peran penting dalam mendorong adopsi dan pengembangan teknologi sel surya a-Si:H, sambil mendukung upaya global dalam mengurangi emisi karbon dan melawan perubahan iklim.

## DAFTAR PUSTAKA

- Beyer, W. (2003). Diffusion and evolution of hydrogen in hydrogenated amorphous and microcrystalline silicon. *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 78(1), 235–267. [https://doi.org/10.1016/S0927-0248\(02\)00438-5](https://doi.org/10.1016/S0927-0248(02)00438-5).
- Cahyono, Y., Muttaqin, F. D., Maslakah, U., Baqiya, M. A., Zainuri, M., Yahya, E., Pratapa, S., & Darminto, D. (2017). Efek Staebler-Wronski dan Pengaruh Waktu Anil pada Lapisan Instrinsik Silikon Amorf Terhidrogenasi (a-Si:H). *Jurnal Fisika Dan Aplikasinya*, 13(2), Article 2. <https://doi.org/10.12962/j24604682.v13i2.2299>.
- Chittick, R. C., Alexander, J. H., & Sterling, H. F. (1969). The Preparation and Properties of Amorphous Silicon. *Journal of The Electrochemical Society*, 116(1), 77. <https://doi.org/10.1149/1.2411779>.
- Despotou, E. (2012). 1.10—Vision for Photovoltaics in the Future. In A. Sayigh (Ed.), *Comprehensive Renewable Energy* (pp. 179–198). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-087872-0.00109-8>.
- Duan, W., Qiu, Y., Zhang, L., Yu, J., Bian, J., & Liu, Z. (2014). Influence of precursor a-Si:H dehydrogenation on the aluminum-induced crystallization process. *Materials Chemistry and Physics*, 146(1), 141–145. <https://doi.org/10.1016/j.matchemphys.2014.03.012>.
- Dzedzickis, A., Bucinskas, V., Viržonis, D., Sesok, N., Ulcinas, A., Iljin, I., Sutinyš, E., Petkevicius, S., Gargasas, J., & Morkvenaite-Vilkonciene, I. (2018). Modification of the AFM Sensor by a Precisely Regulated Air Stream to Increase Imaging Speed and Accuracy in the Contact Mode. *Sensors*, 18(8), Article 8. <https://doi.org/10.3390/s18082694>.
- Flewitt, A. J. (2016). Hydrogenated Amorphous Silicon Thin-Film Transistors (a-Si:H TFTs). In J. Chen, W. Cranton, & M. Fihn (Eds.), *Handbook of Visual Display Technology* (pp. 887–909). Springer International Publishing. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-14346-0\\_47](https://doi.org/10.1007/978-3-319-14346-0_47).
- Illiberi, A., Kudlacek, P., Smets, A. H. M., Creatore, M., & van de Sanden, M. C. M. (2011). Effect of ion bombardment on the a-Si:H based surface passivation of c-Si surfaces. *Applied Physics Letters*, 98(24), 242115. <https://doi.org/10.1063/1.3601485>.
- Irvine, S. (2007). Solar Cells and Photovoltaics. In S. Kasap & P. Capper (Eds.), *Springer Handbook of Electronic and Photonic Materials* (pp. 1095–1106). Springer US. [https://doi.org/10.1007/978-0-387-29185-7\\_46](https://doi.org/10.1007/978-0-387-29185-7_46).
- Kasap, S., Koughia, C., Singh, J., Ruda, H., & O’Leary, S. (2007). Optical Properties of Electronic Materials: Fundamentals and Characterization. In S. Kasap & P. Capper (Eds.), *Springer Handbook of Electronic and Photonic Materials* (pp. 47–77). Springer US. [https://doi.org/10.1007/978-0-387-29185-7\\_3](https://doi.org/10.1007/978-0-387-29185-7_3).
- Morigaki, K., & Ogihara, C. (2007). Amorphous Semiconductors: Structure, Optical, and Electrical Properties. In S. Kasap & P. Capper (Eds.), *Springer Handbook of Electronic and Photonic Materials* (pp. 565–580). Springer US. [https://doi.org/10.1007/978-0-387-29185-7\\_25](https://doi.org/10.1007/978-0-387-29185-7_25).
- Pedrak, R., Ivanov, Tzv., Ivanova, K., Gotszalk, T., Abedinov, N., Rangelow, I. W., Edinger, K., Tomerov, E., Schenkel, T., & Hudek, P. (2003). Micromachined atomic force microscopy sensor with integrated piezoresistive sensor and thermal bimorph actuator for high-speed tapping-mode atomic force microscopy phase-imaging in higher eigenmodes. *Journal of Vacuum Science & Technology B: Microelectronics and Nanometer Structures Processing, Measurement, and Phenomena*, 21(6), 3102–3107. <https://doi.org/10.1116/1.1614252>.
- Phillips, L. (2019). 9—Solar energy. In T. M. Letcher (Ed.), *Managing Global Warming* (pp. 317–

- 332). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-814104-5.00009-0>.
- Prayogi, S., Cahyono, Y., & Darminto, D. (2022). Electronic structure analysis of a-Si: H p-i-n solar cells using ellipsometry spectroscopy. *Optical and Quantum Electronics*, 54(11), 732. <https://doi.org/10.1007/s11082-022-04044-5>.
- Prayogi, S., Cahyono, Y., Iqballudin, I., Stchakovsky, M., & Darminto, D. (2021). The effect of adding an active layer to the structure of a-Si: H solar cells on the efficiency using RF-PECVD. *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*, 32(6), 7609–7618. <https://doi.org/10.1007/s10854-021-05477-6>.
- Prior, K. A. (2005). SEMICONDUCTOR PHYSICS | Impurities and Defects. In R. D. Guenther (Ed.), *Encyclopedia of Modern Optics* (pp. 442–450). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B0-12-369395-0/00624-2>.
- Wang, S.-H., Chang, H.-E., Lee, C.-C., Fuh, Y.-K., & Li, T. T. (2020). Evolution of a-Si:H to nc-Si:H transition of hydrogenated silicon films deposited by trichlorosilane using principle component analysis of optical emission spectroscopy. *Materials Chemistry and Physics*, 240, 122186. <https://doi.org/10.1016/j.matchemphys.2019.122186>.

# Penerbit Gunadarma



## PEMANTAUAN ENERGI LISTRIK MENGGUNAKAN ESP32, NODE-RED, INFLUXDB: STUDI KASUS

Waluyo Nugroho<sup>1\*</sup>, Afianto<sup>2</sup>, Mada Jimmy Fonda Arifianto<sup>3</sup>, dan Syahril Ardi<sup>4</sup>

<sup>1,2,3,4</sup>Program Studi Mekatronika, Politeknik Astra, Bekasi, 17530, Indonesia

\*Penulis Koresponden, e-mail: [nugroho.research@gmail.com](mailto:nugroho.research@gmail.com)

### ABSTRAK

Pemantauan energi listrik di industri manufaktur atau industri rumah tangga sangat penting untuk mempersiapkan energi hijau di masa depan. Kondisi sekarang, masih ada beberapa industri rumah tangga yang belum menggunakan monitor energi. Fokus dari penelitian ini adalah mengembangkan alat pengukur energi yang dapat diterapkan pada setiap peralatan listrik. Mengetahui informasi penggunaan energi dari setiap perangkat secara real-time merupakan langkah awal dalam upaya penghematan energi listrik. Hasil pemantauan listrik akan membantu pengambilan keputusan terkait penggunaan yang efisien, seperti penjadwalan sistem produksi dan pemeliharaan preventif. Sistem pemantauan dan pengendalian energi yang diusulkan dalam penelitian ini melibatkan pengembangan perangkat keras yang menggunakan mikrokontroler ESP32, dan sensor energi PZEM-004T. Perangkat lunak pada sistem penelitian ini, yaitu Node-RED sebagai pengembangan dashboard dan backend, kemudian database InfluxDB digunakan sebagai manajemen basis data, dan visualisasi data. Prototipe yang telah berhasil dibuat memiliki fitur yang sesuai dengan tujuan penelitian, yaitu menampilkan konsumsi listrik masing-masing perangkat secara individu dan memantau mereka dalam jangka waktu tertentu.

Kata Kunci: ESP32, database, Node-Red, InfluxDB

## Penerbit Gunadarma

### PENDAHULUAN

Energi listrik merupakan kebutuhan yang sangat penting dalam kehidupan, baik dari sumber terbarukan maupun tidak. Oleh karena itu, penting untuk memanfaatkannya dengan efisien (Siva Balan et al., 2023). Dengan meningkatnya kebutuhan masyarakat, upaya penghematan energi dilakukan dengan berbagai cara agar efisien. Salah satunya melalui pemantauan penggunaan energi listrik, yang merupakan langkah awal untuk menghemat energi. Informasi yang tepat waktu dan akurat pada penggunaan energi tersebut sangat berguna untuk mengambil keputusan dalam mengelola efisiensi energi, baik di gedung maupun rumah. Selain untuk menghemat energi, sistem pemantauan juga berguna dalam merawat mesin atau peralatan listrik, seperti menentukan waktu penggantian motor listrik dan mengamati arus yang tidak normal dikarenakan alat sudah mulai menurun kinerjanya. Analisis berdasarkan pemantauan energi yang tersimpan di database juga bisa digunakan untuk mengetahui fluktuasi energi, seperti saat puncak penggunaan daya. Sebagai contoh, informasi energi yang spesifik, cepat, dan akurat pada mesin produksi dapat membantu perusahaan dalam menentukan biaya produksi sehingga harga produk tetap kompetitif.

### STATE OF THE ART

Perkembangan Internet of Things (IoT) belakangan ini menjadi tren yang signifikan dalam meningkatkan kualitas hidup manusia. Teknologi IoT menggunakan konektivitas mesin-ke-mesin (M2M) dan melibatkan sensor nirkabel serta aktuator nirkabel untuk membantu pengguna dalam memantau dan mengendalikan perangkat dari jarak jauh. Kontrol perangkat dilakukan secara otomatis melalui perangkat komunikasi dengan mengirimkan data melalui jaringan, sehingga tidak memerlukan interaksi manusia antar manusia atau manusia ke komputer. IoT semakin berkembang dari sistem kendali manual menjadi sistem kendali

otomatis berbasis internet, dan berbagai solusi telah ditemukan untuk meningkatkan kualitas hidup manusia dengan menggunakan teknologi IoT.

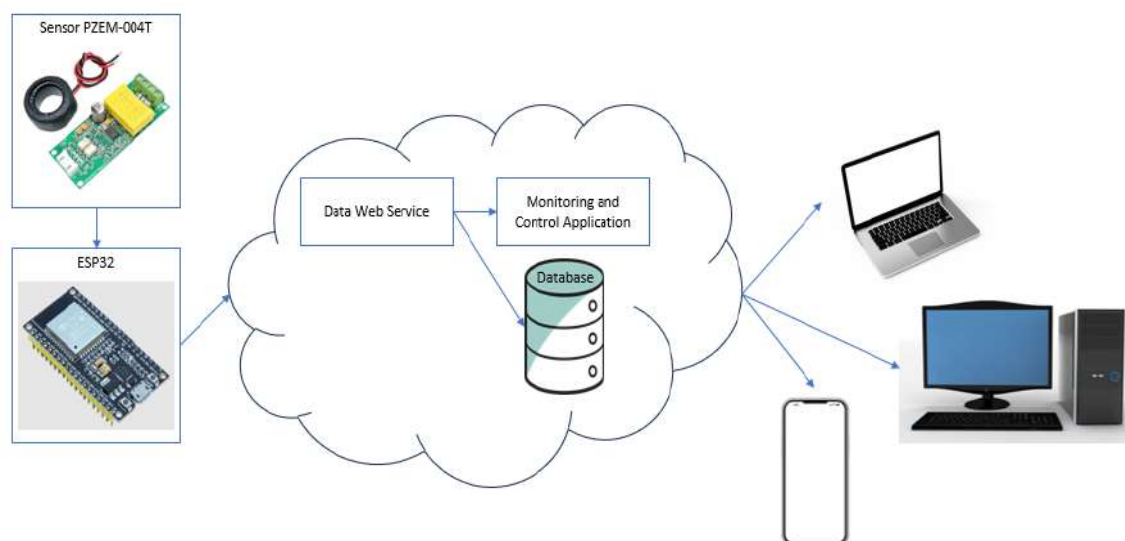
Salah satu bentuk penerapan IoT yang berpotensi mempengaruhi kehidupan manusia sehari-hari adalah pemantauan jarak jauh energi listrik, dengan tujuan menghemat penggunaan energi listrik. Permintaan akan pemantauan konsumsi listrik dari jarak jauh semakin meningkat, terutama di sektor industri dengan teknologi telemetri. Penggunaan meteran listrik pintar telah memungkinkan pemantauan total konsumsi energi rumah tangga, namun sering kali dibatasi dalam pengambilan data beberapa kali sehari. Namun, kemampuan untuk memperoleh data konsumsi energi secara real-time akan memungkinkan pengembangan solusi inovatif terhadap permasalahan saat ini. Fleksibilitas menjadi aspek kunci dari sistem pemantauan energi, di mana sistem harus mampu memantau dan mengumpulkan data dengan tingkat akurasi yang diperlukan, dan melakukan pengambilan data secara terus-menerus.

Dalam penelitian ini, dikembangkan sistem monitoring energi listrik berbasis web. Data pemantauan terdiri dari tegangan dan arus listrik. Perangkat hardware yang digunakan meliputi: modul mikrokontroler esp32, sensor daya listrik PZEM-004T. Sedangkan visualisasi data dashboard monitoring menggunakan software node-red. Hasil dari pembacaan sensor akan disimpan dalam database influxDB dan divisualisasikan dalam bentuk grafik dan data.

## PEMBAHASAN

### Desain Sistem Monitoring Energi Listrik

Dalam penelitian ini, di bahas tentang sistem monitoring energi dengan IoT yang real-time dan berbiaya rendah. Sistem ini dimaksudkan untuk menjadi bagian dari sistem terdistribusi yang memantau parameter jaringan listrik yang penting dan menyediakan kemampuan untuk mengendalikan pembangkit listrik secara lengkap (Selvaraj et al., 2023). Server online interaktif dapat berbagi data dengan peralatan penyeimbang beban dan mengumpulkan statistik penggunaan energi serta kualitas daya. Kecepatan akses data menjadi salah satu fitur utama dari perangkat ini, dan integrasi meter pintar dengan kemampuan komunikasi digital memungkinkan akses data baik secara lokal maupun jarak jauh (Tekler et al., 2022). Hal ini memungkinkan pengguna untuk mengontrol konsumsi listrik perangkat mereka sekaligus memantau biaya listrik yang dikeluarkan. Adanya pengukuran harga real-time merupakan salah satu tujuan utama dari upaya ini. Gambar 1 menunjukkan diagram blok sistem.



Gambar 16. Diagram Blok Konsep Sistem

## Mikrokontroler ESP32

ESP32 merupakan produk yang dikembangkan oleh SparkFun Electronics. Ini adalah salah satu mikrokontroler yang memiliki harga terjangkau, konsumsi daya rendah, dan ukuran kecil, dilengkapi dengan modul Wi-Fi dan Bluetooth. Rentang tegangan operasi papan ini adalah 2,2 V hingga 3,6 V, dan dapat diberi daya melalui kabel USB 5 V atau baterai (Abu Sneineh & Shabaneh, 2023). Mikrokontroler ini diprogram menggunakan perangkat lunak Arduino Integrated Development Environment (IDE) (Abu Sneineh & Shabaneh, 2023). Arduino IDE memungkinkan pengguna untuk menulis program sesuai kebutuhan dan mengunggahnya ke papan melalui kabel USB. Dalam proyek ini, mikrokontroler ESP32 diatur sebagai Klien MQTT menggunakan perangkat lunak Arduino IDE. Perpustakaan Klien MQTT yang digunakan disebut PubSubClient. Program ini dirancang untuk mengumpulkan nilai-nilai real-time yang diukur dari variabel yang ditentukan, menampilkan nilai-nilai tersebut pada Monitor Serial Arduino IDE, dan secara terus-menerus menerbitkan data real-time ke Broker MQTT. Gambar 2 menunjukkan diagram fungsi pin dari mikrokontroler ESP32.



Gambar 2. Pinout Mikrokontroler ESP32

## Sensor Arus dan Tegangan PZEM-004T

Sensor arus dan tegangan yang digunakan adalah PZEM-004T. Sensor PZEM-004T adalah sebuah perangkat meteran pintar yang umum digunakan untuk mengukur konsumsi listrik (Mudaliar & Sivakumar, 2020). Perangkat ini sangat berguna untuk mengukur tegangan, arus, daya, dan energi. Meteran pintar ini dilengkapi dengan antarmuka serial TTL dan fitur deteksi beban berlebih. Komponen utama dari modul PZEM-004T adalah chip SD3004. Versi PZEM-004T 100 Ampere menggunakan model *Current Transformer split-core*. Konfigurasi ini memberikan keunggulan dalam hal kemudahan penggunaan karena dapat dipasang langsung ke kabel jaringan listrik yang ada tanpa memerlukan pelepasan kabel. Gambar 3 menunjukkan bentuk fisik sensor arus dan tegangan PZEM-004T.



Gambar 3. Sensor Arus dan Tegangan PZEM-004T

## Node-Red

Node-RED merupakan sebuah alat berbasis browser yang digunakan untuk membuat aplikasi Internet of Things (IoT) yang memanfaatkan pemrograman visual (Sorongan et al., 2023). Lingkungan visual ini mempermudah pengguna dalam membuat aplikasi sebagai aliran, yang terdiri dari node-node yang saling terhubung dan masing-masing node menjalankan tugas tertentu. Meskipun Node-RED awalnya dirancang untuk Internet of Things (IoT), namun alat ini juga dapat digunakan untuk tujuan umum dan berbagai aplikasi. Nama "Node" digunakan karena implementasinya sebagai aplikasi anoda, meskipun dari perspektif pengguna, ini hanya merupakan detail dari implementasi internal. Dalam penelitian ini, penulis menggunakan Node-RED untuk mengintegrasikan data dari meteran daya ke IoT Gateway dan membuat dashboard lokal. Tampilan dashboard Node-Red ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Display Dashboard Node-Red

## Database InfluxDB

InfluxDB adalah sebuah sistem penyimpanan data deret waktu yang khusus, ditulis dalam bahasa pemrograman Go (Giacobbe et al., 2020). Dikompilasi menjadi satu file biner tanpa memerlukan ketergantungan eksternal tambahan, InfluxDB sering digunakan dalam situasi di mana data dalam jumlah besar dengan penanda waktu sangat penting, seperti dalam lingkup DevOps, konteks aplikatif, dan analisis real-time dari Internet of Things (IoT), sehingga mampu mengakomodasi cakupan yang luas dari IoT.

Beberapa fitur utama yang dimiliki InfluxDB adalah penyimpanan data deret waktu, tidak memerlukan ketergantungan eksternal, efisiensi kinerja tinggi, ql (query language), serta integrasi dengan ekosistem iot. InfluxDB dapat diintegrasikan dengan berbagai alat dan platform IoT, menjadikannya pilihan yang baik untuk aplikasi Internet of Things (IoT). Gambar 5 menunjukkan tampilan database menggunakan InfluxDB.



Gambar 5. Tampilan Database InfluxDB

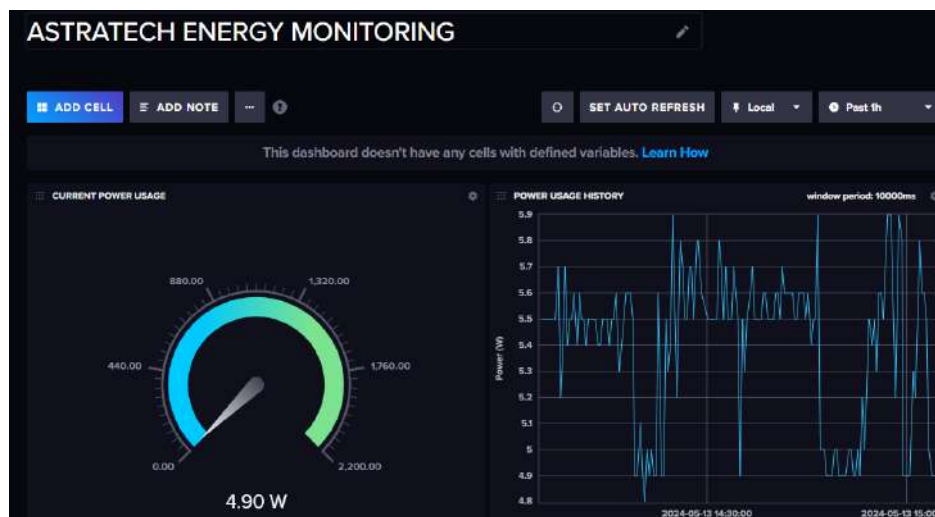
## Implementasi Sistem

Pemantauan energi listrik dengan IoT dapat di implementasikan untuk gedung komersil, industri manufaktur, atau rumah tangga. Studi kasus yang sudah dilakukan adalah melakukan pemantauan energi listrik di beberapa laboratorium Mekatronika di Politeknik Astra. Pada panel utama laboratorium dipasang sensor PZEM-004T sebagai deteksi arus dan tegangan yang digunakan masing-masing laboratorium. Sensor tersebut dihubungkan dengan mikrokontroler ESP32 yang berada dalam satu panel. Mikrokontroler ESP32 digunakan untuk membaca data sensor, serta mengolah data tersebut sehingga data dapat dikirim ke *software* node-red, dan database InfluxDB. Gambar 6 menunjukkan panel utama beserta sensor PZEM-004T dan mikrokontroler ESP32.



Gambar 6. Panel Utama Laboratorium Mekatronika

Kondisi pemakaian energi listrik setiap laboratorium dapat dilihat di website yang sudah terintegrasi. Sehingga kondisi total pemakaian dan pembacaan data setiap menit dapat dengan mudah dipantau dengan laptop atau handphone. Tampilan website yang sudah terintegrasi ditunjukkan pada Gambar 7 menunjukkan website pemantauan energi.



Gambar 7. Website Pemantauan Energi

Sistem pemantauan energi listrik tidak hanya di implementasikan di panel listrik, tetapi juga dibuat miniatur/maket industri dalam bentuk 3 Dimensi (3D). Hal ini diperlukan untuk membuat simulasi pemantauan energi dan system kendali mesin di industri. Gambar 8 menunjukkan



miniatur industri yang digunakan untuk simulasi pemantauan energi listrik.



**Gambar 9.** Miniatur industri untuk pemantauan energi listrik

### ***Tantangan dan Potensi Hambatan***

Tantangan dan potensi hambatan pada sistem pemantauan energi listrik meliputi: Pengadaan dan instalasi perangkat keras dan perangkat lunak yang diperlukan untuk sistem pemantauan energi listrik dapat menjadi mahal, terutama untuk organisasi atau rumah tangga dengan anggaran terbatas (Rao et al., 2024). Sehingga diperlukan adanya investasi perangkat keras dan perangkat lunak untuk implementasi. Sistem pemantauan energi listrik sering melibatkan teknologi yang kompleks, seperti sensor, perangkat pengukuran, gateway, server, dan perangkat pengelolaan data. Memahami dan mengelola semua komponen ini dengan benar dapat menjadi tantangan, terutama bagi pengguna yang kurang berpengalaman dalam teknologi tersebut. Sosialisasi dalam penggunaan perangkat harus dilakukan secara menyeluruh, sehingga dalam pemakaian dan perawatan sistem dapat berjalan dengan lancar, sehingga mencegah kondisi *error* pada sistem (Bian et al., 2021).

Sistem pemantauan energi listrik yang terhubung secara nirkabel memerlukan sinyal yang stabil dan kuat untuk mentransmisikan data dengan akurat. Tantangan ini bisa muncul di lingkungan yang memiliki gangguan sinyal atau jaringan yang lemah (Alishahi et al., 2021). Solusi yang dapat diberikan dengan menambahkan *access point* dan internet di beberapa tempat sehingga area untuk melakukan akses semakin luas. Perangkat keras dan perangkat lunak dalam sistem pemantauan energi listrik memerlukan pemeliharaan rutin untuk memastikan kinerjanya tetap optimal. Ini termasuk perawatan, pembaruan perangkat lunak, dan penggantian baterai pada perangkat nirkabel. Perawatan secara berkala harus dilakukan sehingga menghindari kondisi tidak normal pada perangkat keras dan perangkat lunak. Data yang dikumpulkan dan disimpan oleh sistem pemantauan energi listrik dapat sensitif dan harus dilindungi dari ancaman keamanan, seperti peretasan atau pencurian data. Ini memerlukan langkah-langkah keamanan yang kuat, termasuk enkripsi data dan pengaturan akses yang tepat. Sehingga harus ditambahkan autentifikasi keamanan pada aplikasi dan database sistem.



## Pengembangan Sistem di Masa Depan

Teknologi Internet of Things (IoT) akan terus berkembang, memungkinkan penggunaan sensor yang lebih canggih dan terhubung untuk pemantauan energi yang lebih akurat dan efisien (Díaz et al., 2024). Sensor yang lebih pintar akan mampu mengumpulkan data secara lebih detail. Kemajuan dalam analitik data dan kecerdasan buatan akan memungkinkan sistem pemantauan energi untuk menganalisis data secara lebih kompleks dan menemukan pola atau tren yang tidak terlihat sebelumnya (A et al., 2023). Ini akan memungkinkan pengguna untuk mengoptimalkan penggunaan energi dengan lebih baik dan membuat keputusan yang lebih cerdas (Díaz et al., 2024).

Sistem pemantauan energi akan semakin menjadi bagian dari infrastruktur yang responsif dan adaptif, yang dapat menyesuaikan penggunaan energi berdasarkan permintaan dan kondisi jaringan (Bellini et al., 2022). Ini dapat mencakup penggunaan energi yang lebih adaptif, pemrograman beban yang lebih cerdas, dan pengaturan energi yang dinamis. Grid listrik akan menjadi lebih terintegrasi dan lebih cerdas, dengan sistem pemantauan energi yang dapat berkomunikasi dan berkolaborasi dengan baik dengan infrastruktur grid (Gozuoglu et al., 2024). Ini akan memungkinkan pengoptimalan yang lebih baik dari sumber daya energi yang tersedia dan mengurangi risiko gangguan atau kegagalan dalam penyediaan energi.

Semakin meningkatnya kesadaran akan keberlanjutan dan perlunya mengurangi emisi karbon, sistem pemantauan energi akan semakin fokus pada pemantauan dan pengelolaan energi yang berkelanjutan (Magrini et al., 2022). Ini dapat mencakup integrasi energi terbarukan, pemantauan emisi karbon, dan pengoptimalan penggunaan energi untuk mengurangi dampak lingkungan. Di lingkungan perkotaan, pengembangan infrastruktur pintar akan memainkan peran penting dalam sistem pemantauan energi. Hal ini melibatkan penggunaan sensor yang terhubung dan teknologi IoT untuk mengelola penggunaan energi di kota-kota besar dengan lebih efisien dan efektif.

Pengembangan teknologi penyimpanan energi yang lebih maju memungkinkan sistem pemantauan energi lebih fleksibel. Sehingga dalam mengelola pasokan energi, dapat dilakukan secara seimbang pasokan dan permintaan energi. Hal ini dapat mencakup penggunaan baterai, penyimpanan panas, atau teknologi penyimpanan energi lainnya yang inovatif.

## KESIMPULAN

Pemantauan dan pengendalian energi listrik dapat dilakukan menggunakan perangkat berbasis mikrokontroler yang terhubung ke gateway dan server. Pengguna dapat memantau dan mengendalikan perangkat listrik melalui komputer klien yang terhubung ke jaringan yang sama. Implementasi pemantauan energi listrik tidak hanya di rumah tangga, tetapi bisa lebih luas untuk pemantauan listrik di industri. Sistem informasi yang mendukung penelitian ini melibatkan server (Raspberry Pi) dan infrastruktur jaringan WiFi. Pada server, terdapat perangkat lunak pendukung seperti Ubuntu sebagai sistem operasi, Node-RED untuk pengembangan dashboard dan komunikasi menggunakan MQTT, InfluxDB untuk manajemen basis data, serta Grafana untuk visualisasi data.

Sistem pemantauan energi akan menjadi bagian dari infrastruktur yang responsive, adaptif, serta menyesuaikan penggunaan energi berdasarkan permintaan dan kondisi jaringan. Permintaan untuk pemantauan konsumsi listrik dari jarak jauh semakin meningkat, terutama di sektor industri dengan teknologi telemetri. Kemampuan untuk memperoleh data konsumsi energi secara real-time akan membuka peluang untuk solusi inovatif. Kondisi saat ini membuat pertanyaan bagaimana cara meningkatkan sistem digitalisasi dan melakukan implementasi secara luas?

## REKOMENDASI KEBIJAKAN (*POLICY BRIEF*)

Kebijakan yang dapat diusulkan dalam sistem pemantauan energi listrik bagi pemerintah dan masyarakat, sebagai berikut:

1. **Standar dan Regulasi:** Pemerintah dapat mengeluarkan standar dan regulasi yang mengatur penggunaan dan implementasi sistem pemantauan energi listrik. Ini termasuk standar untuk perangkat keras dan perangkat lunak pemantauan energi, persyaratan pelaporan energi, dan pedoman untuk privasi dan keamanan data.
2. **Pelatihan dan Pendidikan:** Pemerintah dapat menyediakan program pelatihan dan pendidikan untuk membantu masyarakat dan industri memahami dan mengadopsi teknologi pemantauan energi listrik dengan lebih baik. Ini dapat mencakup pelatihan teknis tentang cara menginstal dan mengoperasikan perangkat pemantauan energi, serta pendidikan tentang pentingnya efisiensi energi dan keberlanjutan.
3. **Inisiatif Penelitian dan Pengembangan:** Pemerintah dapat mendukung inisiatif penelitian dan pengembangan dalam teknologi pemantauan energi listrik melalui hibah riset, kemitraan industri-akademisi, atau pusat inovasi energi. Ini akan membantu mendorong inovasi dalam teknologi pemantauan energi listrik dan mempercepat pengembangan solusi yang lebih efisien dan efektif.
4. **Kemitraan Publik-Swasta:** Pemerintah dapat membentuk kemitraan dengan sektor swasta untuk memfasilitasi investasi dan pengembangan sistem pemantauan energi listrik. Ini dapat mencakup program kemitraan publik-swasta untuk membangun infrastruktur pemantauan energi, proyek demonstrasi teknologi, atau program insentif untuk investasi swasta dalam pemantauan energi.
5. **Monitoring dan Pelaporan Kinerja Energi:** Pemerintah dapat mewajibkan industri, perusahaan, dan organisasi besar untuk memantau dan melaporkan penggunaan energi mereka secara berkala. Ini akan membantu pemerintah memahami tren penggunaan energi, mengidentifikasi peluang efisiensi, dan mengukur kemajuan dalam pencapaian target energi nasional.



## DAFTAR PUSTAKA

- A, L., J, D. N., A, G., Ganesh, V., Sathik, M. J., K, V., & D, R. (2023). Smart energy monitoring and power quality performance based evaluation of 100-kW grid tied PV system. *Heliyon*, 9(6). <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e17274>
- Abu Sneineh, A., & Shabaneh, A. A. A. (2023). Design of a smart hydroponics monitoring system using an ESP32 microcontroller and the Internet of Things. *MethodsX*, 11. <https://doi.org/10.1016/j.mex.2023.102401>
- Alishahi, N., Nik-Bakht, M., & Ouf, M. M. (2021). A framework to identify key occupancy indicators for optimizing building operation using WiFi connection count data. *Building and Environment*, 200. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2021.107936>
- Bellini, P., Nesi, P., & Pantaleo, G. (2022). IoT-Enabled Smart Cities: A Review of Concepts, Frameworks and Key Technologies. In *Applied Sciences (Switzerland)* (Vol. 12, Issue 3). MDPI. <https://doi.org/10.3390/app12031607>
- Bian, S., Li, C., Fu, Y., Ren, Y., Wu, T., Li, G. P., & Li, B. (2021). Machine learning-based real-time monitoring system for smart connected worker to improve energy efficiency. *Journal of Manufacturing Systems*, 61, 66–76. <https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2021.08.009>
- Díaz, A. F., Prieto, B., Escobar, J. J., & Lampert, T. (2024). Vampire: A smart energy meter for synchronous monitoring in a distributed computer system. *Journal of Parallel and Distributed Computing*, 184. <https://doi.org/10.1016/j.jpdc.2023.104794>
- Giacobbe, M., Chaouch, C., Scarpa, M., & Puliafito, A. (2020). An Implementation of InfluxDB for Monitoring and Analytics in Distributed IoT Environments. *Smart Innovation, Systems and Technologies*, 146, 155–162. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-21005-2\\_15](https://doi.org/10.1007/978-3-030-21005-2_15)
- Gozuoglu, A., Ozgonenel, O., & Gezeğin, C. (2024). CNN-LSTM based deep learning application on Jetson Nano: Estimating electrical energy consumption for future smart homes. In *Internet of Things (Netherlands)* (Vol. 26). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.iot.2024.101148>
- Magrini, A., Marengo, L., & Bodrato, A. (2022). Energy smart management and performance monitoring of a NZEB: Analysis of an application. *Energy Reports*, 8, 8896–8906. <https://doi.org/10.1016/j.egyr.2022.07.010>
- Mudaliar, M. D., & Sivakumar, N. (2020). IoT based real time energy monitoring system using Raspberry Pi. *Internet of Things (Netherlands)*, 12. <https://doi.org/10.1016/j.iot.2020.100292>
- Rao, C. K., Sahoo, S. K., & Yanine, F. F. (2024). An internet of things–based intelligent smart energy monitoring system for solar photovoltaic applications. In *Performance Enhancement and Control of Photovoltaic Systems* (pp. 375–416). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-443-13392-3.00019-0>
- Selvaraj, R., Kuthadi, V. M., & Baskar, S. (2023). Smart building energy management and monitoring system based on artificial intelligence in smart city. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 56. <https://doi.org/10.1016/j.seta.2023.103090>
- Siva Balan, R. V., Gouri, M. S., Senthilnathan, T., Gondkar, S. R., Gondar, R. R., Loveline Zeema, J., & Jothikumar, R. (2023). Development of smart energy monitoring using NB-IOT and cloud. *Measurement: Sensors*, 29. <https://doi.org/10.1016/j.measen.2023.100884>
- Sorongan, E., Kango, R., & Suhaedi, S. (2023). The Application of Energy Management Systems Using the Internet of Things to Improve the Efficiency of Electrical Energy Usage in the MSMEs Sector. *PROtek: Jurnal Ilmiah Teknik Elektro*, 10(1), 26. <https://doi.org/10.33387/protk.v10i1.5042>
- Tekler, Z. D., Low, R., & Blessing, L. (2022). User perceptions on the adoption of smart energy management systems in the workplace: Design and policy implications. *Energy Research and Social Science*, 88. <https://doi.org/10.1016/j.erss.2022.102505>

## SISTEM MONITORING STASIUN PENGISIAN KENDARAAN LISTRIK UMUM BERBASIS KECERDASAN BUATAN UNTUK MEMBANGUN EKOSISTEM KENDARAAN LISTRIK

Yohanes Climacus Utama<sup>1\*</sup>, Rusdi Febriyanto<sup>2</sup>, Afitro Adam Nugraha<sup>3</sup> and  
Jeremi E. Sihombing<sup>4</sup>

<sup>1,3,4</sup>Mesin Otomotif, Teknik Mesin Industri, Politeknik Astra, Sunter, Jakarta, Indonesia

<sup>2</sup>Teknologi Rekayasa Pemeliharaan Alat Berat, Teknik Mesin Industri, Politeknik  
Astra, Sunter, Jakarta, Indonesia

\*Penulis Korespondensi, e-mail: [yohanes.csutama@polytechnic.astra.ac.id](mailto:yohanes.csutama@polytechnic.astra.ac.id)

### ABSTRAK

Ekosistem kendaraan listrik berbasis baterai mencakup pengguna, produsen, dan infrastruktur kendaraan listrik. Pengguna kendaraan listrik di Indonesia semakin meningkat, menurut data Gaikindo, sepanjang 2023 volume penjualan *wholesale* mobil listrik berbasis baterai (BEV) di Indonesia mencapai 17,06 ribu unit meningkat 70% dibanding tahun lalu. Pengoperasian kendaraan listrik di DKI Jakarta khususnya sedang mengalami perkembangan dengan tantangan yang signifikan. Hal ini dikarenakan jumlah infrastruktur Stasiun Pengisian Kendaraan Listrik Umum (SPKLU) masih berada pada 258 unit di 2023. Sehingga diperlukan sistem *monitoring* SPKLU untuk memudahkan pengguna mengetahui status SPKLU terdekat sedang digunakan atau tidak dan memantau waktu durasi lamanya pengisian listrik. Dengan Kecerdasan Buatan atau *Artificial Intelligence* (AI), ekosistem diharapkan mendapatkan manfaat pada berbagai aspek, termasuk efisiensi energi, peningkatan efisiensi baterai, dan peningkatan kenyamanan pengguna. AI memainkan peran penting dalam mengelola dan memprediksi kebutuhan energi, memperbaiki algoritma pengisian baterai, dan meningkatkan efisiensi energi. Selain itu, AI juga membantu dalam menganalisis data pengguna, menyesuaikan strategi pengisian, dan penggunaan energi kendaraan listrik. Dengan demikian, integrasi AI dalam ekosistem kendaraan listrik berbasis baterai di DKI Jakarta dapat meningkatkan kinerja dan keberlanjutan sistem ini. Manfaat yang akan dicapai adalah antara lain peningkatan efisiensi energi, pengurangan polusi, peningkatan keamanan energi, serta pengembangan infrastruktur.

Kata Kunci: Ekosistem kendaraan listrik, Kecerdasan buatan, Efisiensi energi, Baterai.

### PENDAHULUAN

Tantangan perubahan iklim global telah berkembang menjadi isu penting bagi peradaban manusia yang disebabkan oleh pelepasan gas rumah kaca. Penggunaan bahan bakar fosil pada sektor transportasi menjadi penyumbang merupakan gas rumah kaca dan sumber emisi karbon dioksida (CO<sub>2</sub>) terbesar kedua ke atmosfer (Huda, Aziz, and Tokimatsu 2019). Untuk mengatasi dan memitigasi emisi ini, sangat penting untuk menerapkan kebijakan ekonomi yang bijaksana, peraturan energi, dan mandat kebijakan lingkungan (Nugraha et al. 2021). Banyak negara menerapkan strategi transisi bertahap pada bidang transportasi dengan mendorong kendaraan listrik menggantikan kendaraan bermesin pembakaran internal untuk memenuhi target 100% nol emisi yang menetapkan batas waktu pada tahun 2050 (Veza et al. 2023).

Pemerintah Indonesia juga menerapkan strategi tersebut dan berkomitmen dalam transisi ini. Sejak tahun 2019, Pemerintah Indonesia memperkuat dukungannya terhadap pengembangan industri kendaraan listrik dalam negeri melalui beberapa kebijakan fiskal dan non-fiskal untuk

mendorong konsumen membeli kendaraan listrik. Menurut penelitian Setiawan et al. (2022), menunjukkan kebijakan pemberian insentif dan pengurangan pajak untuk mengurangi biaya pembelian dan kepemilikan kendaraan listrik kepada konsumen mendorong secara efektif meningkatkan penggunaan kendaraan listrik dalam jangka. Sejalan dengan penelitian tersebut, menurut databoks, sepanjang 2023 volume penjualan wholesale mobil listrik berbasis baterai (BEV) di Indonesia mencapai 17,06 ribu unit meningkat 70% dibanding tahun lalu (Ahdiat 2024). Jumlah tersebut sudah melebihi prediksi pada proyeksi penggunaan mobil listrik di Indonesia tahun 2021-2030 yang disusun oleh Perusahaan Listrik Negara (PLN). Dimana pada proyeksi tersebut diprediksi pengguna mobil listrik sebanyak 16 ribu unit pada tahun 2025 (Yoshio 2021).

Jika trend positif ini terus berlanjut dan tidak didukung dengan pembangunan infrastruktur dan teknologi pendukung, maka akan berdampak buruk dan menghambat proses transisi pada bidang transportasi. Mayoritas populasi mobil listrik berada dan beroperasi di kota besar. Sehingga pembangunan infrastruktur dan teknologi pendukung kendaraan listrik seperti Stasiun Pengisian Kendaraan Listrik Umum (SPKLU) di kota besar harus terus dilakukan. Hal ini sangat penting untuk menyeimbangkan rasio jumlah kendaraan di banding SPKLU. DKI Jakarta sebagai salah satu kota besar di Indonesia pada tahun 2023 hanya memiliki sebanyak 258 unit (Muhamad 2024). Jumlah ini masih tergolong sedikit dan dimasa mendatang akan menimbulkan masalah ketidakselarasan rasio yang berakibat pada antrian kendaraan yang melakukan charging.

Hasil penelitian Pamidimukkala et al. (2023a) mengemukakan faktor-faktor yang mempengaruhi keinginan individu untuk mengadopsi Individu dalam penggunaan kendaraan listrik. Faktor-faktor tersebut dikategorikan menjadi empat tipe utama (kontekstual, situasional, demografi, dan psikologis). Faktor yang paling banyak dikutip dalam penerapan kendaraan listrik adalah kurangnya ketersediaan Stasiun Pengisian Kendaraan Listrik Umum dan terbatasnya jarak tempuh, pengurangan polusi udara, dan ketersediaan insentif kebijakan. Penelitian lain dari Pamidimukkala et al. (2023b) mendukung hipotesis ini bahwa hambatan infrastruktur berdampak negatif secara signifikan terhadap niat untuk mengadopsi kendaraan listrik. Pemuatan faktor tertinggi sebesar 0,838 dalam model pengukuran menunjukkan bahwa kurangnya infrastruktur pengisian daya publik dapat menjadi penyebab permasalahan ini. Infrastruktur pengisian daya yang tidak memadai mengurangi kemampuan beradaptasi dan kenyamanan bagi pengguna, sehingga mengurangi daya tarik pengoperasian kendaraan listrik.

Infrastruktur pengisian daya kendaraan dianggap sangat penting karena kendaraan listrik tidak seperti kendaraan pembakaran dalam yang hanya memerlukan waktu sebentar untuk melakukan ulang bahan bakar. Mungkin untuk kendaraan roda dua tidak terlalu menjadi masalah dengan adanya sistem tukar baterai atau *swap* baterai. Pemasalahan pentingnya Infrastruktur pengisian daya muncul pada kendaraan listrik untuk angkutan massal dan barang seperti mobil listrik, bus listrik, dll. Kendaraan yang masuk kategori itu tidak dapat melakukan penukaran baterai dan harus dilakukan pengisian listrik ke baterai dengan waktu yang lama. Pengisian ini tergantung dari teknologi yang diakomodasi oleh masing masing kendaraan listrik mulai dari level 1 sampai level 3 dengan durasi waktu 12 jam sampai yang paling singkat 30 menit.

Oleh karena itu, penambahan dan pengembangan infrastruktur pengisian daya sangat berdampak pada adopsi penggunaan kendaraan listrik. Saat ini, jumlah stasiun pengisian kendaraan listrik terbatas sehingga selain menambah jumlah kita juga perlu mengoptimalkan teknologi monitoring yang dapat memfasilitasi pengguna untuk mengetahui berbagai informasi SPKLU ini. Salah satu teknologi yang dapat dimanfaatkan dalam pengembangan sistem



monitoring adalah *Artificial Intelligence* (AI) atau kecerdasan buatan. Kecerdasan buatan yang digunakan untuk sistem monitoring Stasiun Pengisian Kendaraan Listrik Umum (SPKLU) akan dapat memberikan saran pemilihan lokasi dan penempatan pengisi daya berdasarkan pertimbangan jarak, status pemakaian, dan durasi pemakaian. Semakin banyak data yang didapat kecerdasan buatan akan dapat memprediksi perilaku pengisian pengguna, optimalkan jadwal pengisian daya, dan memberikan saran penempatan stasiun pengisian daya yang optimal sebagai integrasi jaringan dan penyeimbangan beban.

## STATE OF THE ART

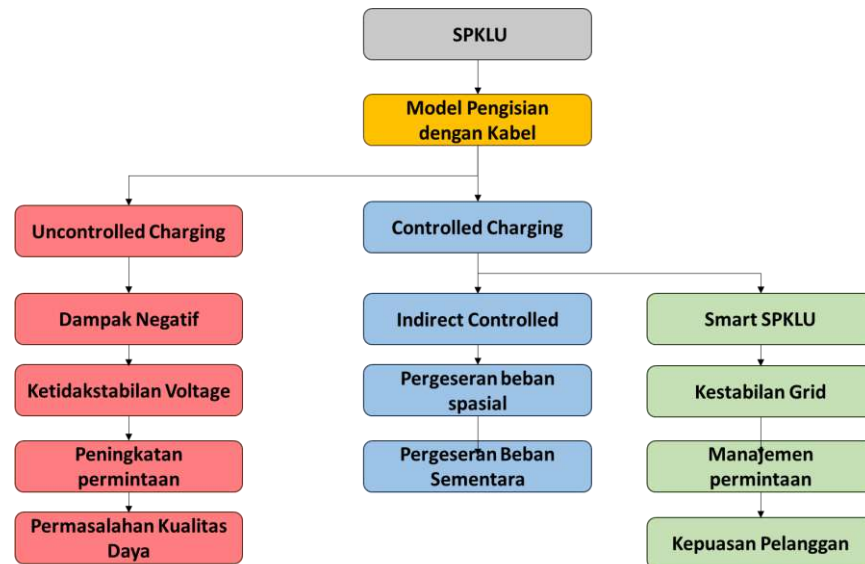
Stasiun Pengisian Kendaraan Listrik Umum (SPKLU) memiliki beberapa klasifikasi ini yang menyebabkan banyaknya tipe dan jenis. Sehingga kita sebagai pengguna harus cermat dalam menentukan jenis yang kita gunakan. Jenis diproduksi berdasarkan kebutuhan jaringan listrik masing-masing negara dikarenakan variasi voltase dan frekuensi di seluruh dunia. Umumnya terdiri dari empat jenis: (i) Level 1, (ii) Level 2, (iii) Pengisian DC, dan (iv) Supercharging (Chandra, Singh, and Samuel 2024).

- i. Pengisian daya level 1 merupakan salah satu metode pengisian daya AC paling lambat, karena hanya dapat menghasilkan daya hingga 2,3 kW. Tegangan dan arus untuk pengisian daya ini dibatasi hingga 120 V dan 15 A. Pengisian daya memerlukan waktu 10–13 jam dan digunakan di rumah atau kantor. Keuntungan dari tingkat pengisian ini adalah memberikan biaya permintaan di luar jam sibuk yang rendah.
- ii. Pengisian daya level 2 merupakan teknik pengisian AC semi cepat dengan suplai tegangan 240 V per fasa dengan arus maksimum 80 A, dan daya berkisar antara 3 hingga 22 kW. Dibutuhkan 8 jam untuk mengisi daya dan lebih hemat energi. Ini lebih mahal dan sangat berdampak pada banyaknya permintaan pemasangan dibandingkan dengan pengisi daya level 1.
- iii. Pengisian DC adalah teknik pengisian daya cepat yang digunakan di publik, dengan daya ekstrem 400 kW atau lebih. Kisaran tegangan dan arus suplai sangat tinggi, yaitu 500 V hingga 1500 V dan 40 A hingga 400 A. Pengisian daya memerlukan waktu maksimal 1 jam. Kelemahan utamanya adalah biayanya yang mahal, memerlukan keselamatan ekstra, meningkatkan puncak beban, dan dapat menyebabkan kesulitan dalam pengoperasian kendaraan listrik dalam cuaca dingin.
- iv. Supercharger merupakan pengisian daya diproduksi oleh Tesla yang beroperasi dengan pengisian daya pada tegangan 120 V, 240 V, 400 V, atau tinggi. Daya keluaran berkisar antara 120 kW hingga 250 kW dan mengisi daya kendaraan listrik dalam 0,33 jam. Hal ini bergantung pada kapasitas baterai atau SoC pada tingkat pengisian daya tertentu. Ini menyediakan pengisian daya berkecepatan tinggi.

Selain itu, variasi di klasifikasi seperti Gambar 1. yang menjelaskan tentang metode perbandingan jenis SPKLU (Subashini and Vijayan 2023). Metode konvensional untuk mengisi daya kendaraan listrik adalah dengan mencolokkannya ke jaringan listrik, yang umumnya dikenal sebagai pengisian daya yang ‘tidak terkontrol’ atau ‘tidak terkoordinasi’. Namun, pengisian daya yang tidak terkontrol dapat menimbulkan dampak buruk jika jumlah pengisian daya meningkat atau jika waktu pengisian daya bertepatan dengan penggunaan jaringan puncak. Sedangkan Metode pengisian daya cerdas telah menjadi fitur penting untuk pengisian daya kendaraan listrik, khususnya di lingkungan dengan sumber daya terbatas. Hal ini memungkinkan Kendaraan listrik untuk diisi ulang secara terkendali menggunakan berbagai



jenis persyaratan kontrol. Pengisian daya cerdas telah terbukti memberikan manfaat ekonomi dalam hal kesehatan baterai, sehingga meningkatkan masa pakai baterai dan mengurangi degradasi baterai, dibandingkan dengan pengisian daya yang tidak terkoordinasi. Pengisian daya cerdas menggabungkan pelanggan, operator jaringan, dan agregator ke dalam jaringan pintar dan menghubungkan mereka melalui fasilitas komunikasi yang andal.



**Gambar 1.** *Uncontrolled VS Smart Charging*

Mengacu pada kepuasan pelanggan secara garis besar menurut penelitian (Subashini and Vijayan 2023) menyatakan bahwa main parameter yang dibutuhkan oleh pelanggan kemudahan untuk mengetahui 1) waktu pengisian daya, 2) waktu tunggu, 3) parameter dukungan komunikasi. Menerapkan pendekatan yang berpusat pada pelanggan sering kali memerlukan pemanfaatan teknologi dan inovasi. Hal ini dapat melibatkan penerapan solusi aplikasi perangkat lunak canggih untuk memantau dan mengelola jaringan pengisian daya, mengembangkan aplikasi seluler untuk pengguna, dan menggabungkan *Artificial Intelligence* (AI) untuk pemeliharaan prediktif dan optimalisasi layanan yang lebih baik (Sabyasachi et al. 2024). Aplikasi seluler untuk memudahkan pelanggan mengakses dan mengetahui berbagai hal tentang Infrastruktur SPKLU pintar yang dapat menampilkan data *real-time* dapat dipantau, disimpan, dan diambil kapan pun diperlukan melalui internet cloud (Hemavathi and Shinisha 2022). Pengguna kendaraan listrik dapat mengirim permintaan melalui aplikasi seluler yang diinstal pada perangkat seluler pintar. Pengguna dapat memperoleh informasi tentang lokasi stasiun, ketersediaan pengisian daya, layanan pembayaran, dan harga *real-time* melalui aplikasi.

## PEMBAHASAN

### Material dan Instrumen

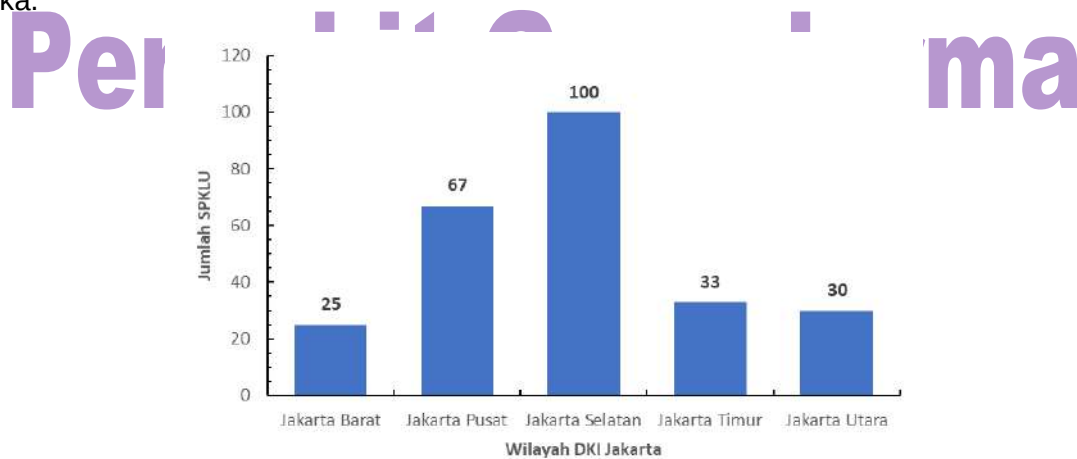
Dalam penelitian ini menggunakan metode kualitatif memanfaatkan analisa deskriptif dari data sekunder dari berbagai referensi jurnal, buku, internet dan lainnya sebagai teknik pengumpulan data. Dalam pembahasan penelitian mengkaji mengenai Stasiun Pengisian Kendaraan Listrik Umum (SPKLU) yang berada di daerah DKI Jakarta. Peneliti menggunakan strategi PDCA sebagai upaya optimalisasi. Strategi PDCA merupakan strategi yang terdiri dari *Plan, Do, Check*

dan *Act* yang merupakan suatu siklus untuk meningkatkan proses optimalisasi suatu produk untuk memenuhi kebutuhan dan kepuasan pelanggan. Pemecahan masalah menggunakan 4 langkah yaitu perencanaan, pengerjaan, pemeriksaan, tindak lanjut dan dikaitkan dengan kebijakan dan dukungan pemerintah dalam rencana mengembangkan optimalisasi SPKLU.

### SPKLU Area DKI Jakarta

SPKLU pada dasarnya adalah stasiun pengisian bahan bakar yang menyediakan listrik untuk mengisi daya kendaraan listrik. Titik pengisi daya terintegrasi ke dalam kabel, port pengisian daya, dan panel antarmuka. Tergantung pada konfigurasi jaringan, berbagai parameter seperti rating tegangan, rating frekuensi, dan standar transmisi menentukan konfigurasi stopkontak dan konektor. *The Electric Power Research Institute (EPRI), Society of Automotive Engineers (SAE), and the International Electrotechnical Commission (IEC)* memiliki peran penting dalam mengkategorikan mode, tingkat, model konektor pengisian daya di setiap negara serta mengelola perbedaan dalam standar keselamatan (Mastoi et al. 2022). Konektor pengisian harus memastikan kesesuaiannya dengan kendaraan dan stopkontak.

Secara garis besar konektor pengisian di kasifikasikan menjadi dua model yang tersedia di pasaran, yaitu konektor AC EV yang terdiri dari AC Type 1, AC Type 2, GB/T dan konektor DC EV yang terdiri dari CHAdeMO, CCS1, CCS2 dan GB/T (Mastoi et al. 2022). Dengan banyaknya spesifikasi mulai dari konfigurasi jaringan, kecepatan level pengisian, tipe konektor dll. Hal ini akan menyulitkan pengguna mobil listrik untuk melakukan pengisian daya ke kendaraan listrik mereka.



**Gambar 2.** Persebaran SPKLU area DKI Jakarta

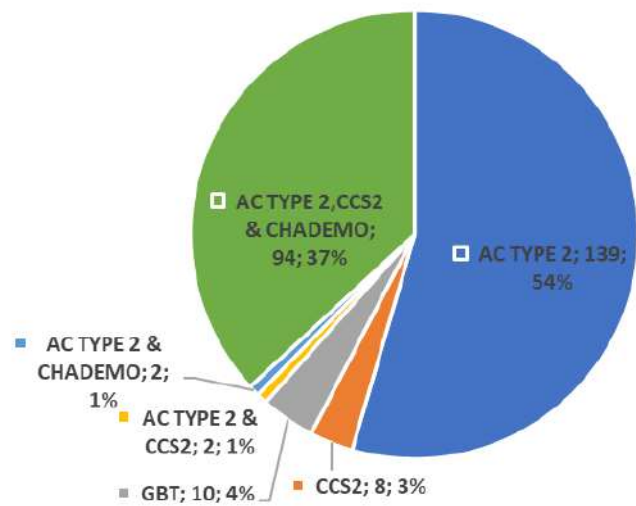
Tercatat sampai akhir 2023, DKI Jakarta sebagai salah satu kota besar di Indonesia memiliki SPKLU sebanyak 258 unit. Gambar 2. merupakan data yang dapat kami himpun melalui Pln Mobile sebanyak 255 unit yang tersebar 134 titik di 5 kota wilayah DKI Jakarta. Kota Jakarta Selatan menjadi kota di DKI Jakarta yang memiliki SPKLU terbanyak dengan jumlah 100 unit yang tersebar di 50 titik lokasi. Sedangkan Paling sedikit yaitu kota Jakarta Barat dengan 25 unit yang tersebar di 21 lokasi.

**Tabel 1.** Merk dan Konfigurasi Listrik SPKLU

| No | Merk dan Konfigurasi SPKLU                                                | Jumlah |
|----|---------------------------------------------------------------------------|--------|
| 1  | ABB AC Charger                                                            | 1      |
| 2  | ABB Terra 53 CJG, Delta DC 200 KW City Charger & Delta Ultra Fast Charger | 9      |

| No | Merk dan Konfigurasi SPKLU                            | Jumlah |
|----|-------------------------------------------------------|--------|
| 3  | AC Mini Plus                                          | 36     |
| 4  | AC Mini Plus, Delta DC Wallbox                        | 10     |
| 5  | Altro AC                                              | 13     |
| 6  | Altro DC                                              | 6      |
| 7  | Altro DC & Altro AC                                   | 4      |
| 8  | Delta AC Max                                          | 23     |
| 9  | Delta AC Max & Delta DC Wallbox                       | 33     |
| 10 | Delta AC Max, Delta DC Wallbox & Pihong DC Wall Mount | 5      |
| 11 | Delta DC 200 KW City                                  | 9      |
| 12 | Delta DC 200 KW City                                  | 5      |
| 13 | Delta DC 200 KW City, Proteksindo DC                  | 5      |
| 14 | Delta DC 200 KW City, Schneider DC Fast               | 9      |
| 15 | EV Power 60                                           | 6      |
| 16 | Exicom DC                                             | 3      |
| 17 | Marvel 72 AC & Aurora 11 AC                           | 10     |
| 18 | Proteksindo DC                                        | 3      |
| 19 | Terra 54 UL                                           | 2      |
| 20 | Terra AC Wallbox                                      | 4      |
| 21 | Voltron AC 22 KW                                      | 8      |
| 22 | Voltron AC 22 KW & Voltron AC 7 KW                    | 38     |
| 23 | Voltron AC 7 KW & Voltron DC 30 KW                    | 2      |
| 24 | Wall Mount AC                                         | 1      |
| 25 | Wuling AC 7 KW                                        | 10     |
|    | Grand Total                                           | 255    |

Tabel 1. Menunjukkan merk dan konfigurasi listrik dari SPKLU yang tersebar di area DKI Jakarta. Dimana mayoritas sekitar 73% menggunakan konfigurasi AC dan sisanya DC. Yang banyak digunakan adalah mini plus, Voltron dan delta. Dari konfigurasi ini masih di klasifikasikan lagi dengan model tipe konektor yang digunakan seperti konektor AC EV yang terdiri dari AC Type 1, AC Type 2, GB/T dan konektor DC EV yang terdiri dari CHAdeMO, CCS1, CCS2 dan GB/T.



Gambar 3. Persentase tipe konektor SPKLU area DKI Jakarta

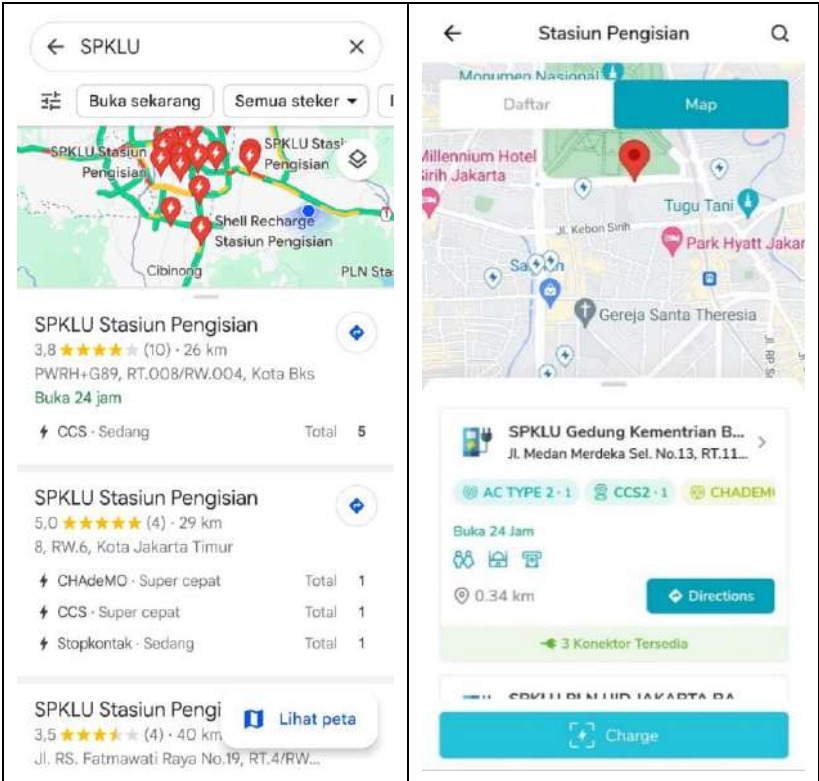
Tidak semua titik SPKLU memiliki setiap tipe konektor, sehingga ini akan membatasi dan setiap pengguna harus dapat mengetahui dan memetakan titik mana saja yang dapat digunakan. Gambar 3. menjelaskan persentase tipe konektor pada 255 unit yang tersebar 134 titik di 5 kota wilayah DKI Jakarta. Sebanyak 54% menggunakan hanya dapat mengakomodir tipe konektor AC Type 2. SPKLU yang dapat mengakomodir ketiga model konektor model AC Type 2, CCS2 dan CHAdeMO hanya sebanyak 37%. Sedangkan untuk tipe GB/T hanya sebanyak 4% dari total jumlah SPKLU yang berada di DKI Jakarta. Secara bauran gabungan tipe AC Type 2 mendominasi dengan memiliki jumlah 93%.

Dengan banyaknya klasifikasi SPKLU, diperlukan aplikasi yang mudah digunakan, dapat memfiltrasi klasifikasi dan dapat memberikan saran mengenai Stasiun daya yang cocok dengan kendaraan listrik yang digunakan. Sehingga akan mempermudah pengguna kendaraan listrik dalam mengoperasikan dan melakukan pengisian daya. Solusi yang dapat diterapkan adalah pembuatan aplikasi perangkat lunak canggih untuk memantau dan mengelola jaringan pengisian daya, mengembangkan aplikasi seluler untuk pengguna, dan menggabungkan *Artificial Intelligence* (AI) untuk pemeliharaan prediktif dan optimalisasi layanan yang lebih baik (Sabyasachi et al. 2024).

### App Mobile SPKLU

Pada era digital, hampir semua masyarakat menggunakan telepon seluler. Sehingga pemanfaatan seluler dengan menggunakan aplikasi seluler atau app mobile menjadi solusi terbaik untuk mempermudah mencari informasi mengenai SPKLU di area tertentu. App Mobile untuk monitoring SPKLU menjadi hal yang penting dalam mendukung terbentuknya ekosistem kendaraan listrik. Aplikasi ini berguna untuk mempermudah pengguna dalam menemukan SPKLU yang cocok untuk kendaraan listrik yang digunakan (Debadarshini et al. 2024). Aplikasi yang dapat menginformasikan tentang SPKLU di Indonesia saat ini ada dua aplikasi, masuk dalam fitur google maps dan fitur dalam PLN Mobile. Gambar 4. Menampilkan Display fitur SPKLU dalam aplikasi google maps dan PLN Mobile.

|                         |                        |
|-------------------------|------------------------|
| Fitur SPKLU Google Maps | Fitur SPKLU PLN Mobile |
|-------------------------|------------------------|



Gambar 4. Display fitur SPKLU dalam aplikasi google maps dan PLN Mobile

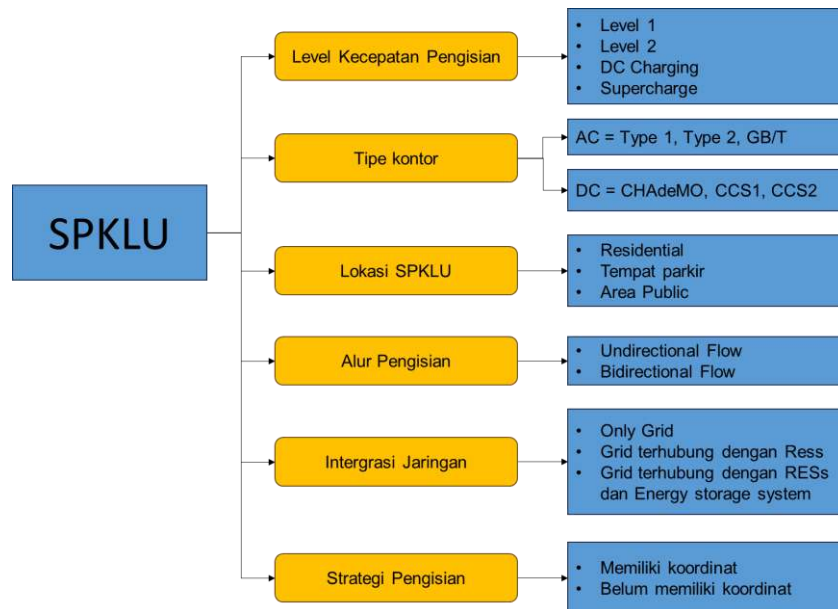
Fitur dalam kedua aplikasi seluler aplikasi ini menginformasikan dan membantu pengguna kendaraan listrik dalam mencari keberadaan SPKLU. Namun saat ini, masih ada beberapa hal yang belum diakomodir dalam kedua aplikasi seluler ini seperti ditampilkan pada Tabel 2. Komparasi fitur SPKLU dalam aplikasi google maps dan PLN Mobile. Fitur yang dapat dikembangkan mulai dari sistem kecedasan buatan yang dapat memberikan saran untuk memilih lokasi, filter untuk level dan tipe, sistem *booking*, serta estimasi monitoring penggunaan secara global(Karmaker et al. 2023).

Tabel 2. Komparasi fitur SPKLU dalam aplikasi google maps dan PLN Mobile.

| No | Filtrur aplikasi            | Google Maps | PLN mobile |
|----|-----------------------------|-------------|------------|
| 1  | Titik lokasi                | V           | V          |
| 2  | Merk                        | V           | V          |
| 3  | Level kecepatan pengisian   | V           | V          |
| 4  | Tipe conector               | V           | V          |
| 5  | Jumlah                      | V           | V          |
| 6  | Harga                       | X           | V          |
| 7  | Layanan pembayaran          | X           | V          |
| 8  | Status pemakaian            | X           | V          |
| 9  | Estimasi waktu              | X           | X          |
| 10 | Sistem <i>booking</i>       | X           | X          |
| 11 | Filter untuk level dan tipe | X           | X          |

Strategi Pengembangan aplikasi monitoring SPKLU menggunakan *Plan-Do-Check-Act* (PDCA)

Stasiun Pengisian Kendaraan Listrik Umum (SPKLU) dapat diproduksi berdasarkan kebutuhan jaringan listrik masing-masing negara dikarenakan variasi voltase dan frekuensi di seluruh dunia (Fescioglu-Unver and Yıldız Aktaş 2023). Gambar 5. Menjelaskan klasifikasi dari SPKLU dapat ditinjau dari beberapa aspek mulai dari Level kecepatan, Lokasi, Alur pengisian, Integrasi Jaringan dan Strategi pengisian.



**Gambar 5.** Klasifikasi SPKLU

Kecepatan pengisian pada umumnya terdiri dari empat jenis: (i) Level 1, (ii) Level 2, (iii) Pengisian DC, dan (iv) Supercharging (Chandra et al. 2024). Konektor pengisian di kasifikasikan menjadi dua model yang tersedia di pasaran, yaitu konektor AC EV yang terdiri dari AC Type 1, AC Type 2, GB/T dan konektor DC EV yang terdiri dari CHAdeMO, CCS1, CCS2 dan GB/T. Dengan banyaknya spesifikasi ini akan menyulitkan pengguna mobil listrik untuk melakukan pengisian daya ke kendaraan listrik.

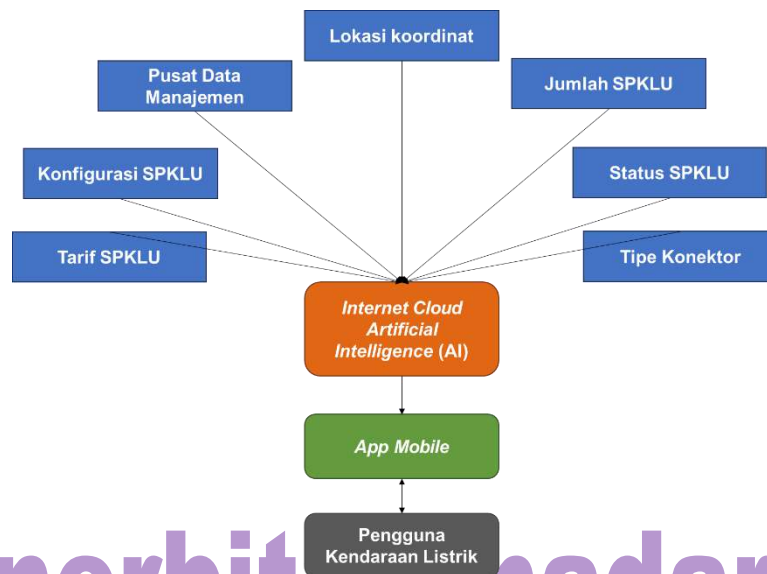
Oleh karena itu, penerapan solusi aplikasi perangkat lunak canggih untuk memantau dan mengelola jaringan pengisian daya, mengembangkan aplikasi seluler untuk pengguna, dan menggabungkan *Artificial Intelligence* (AI) untuk pemeliharaan prediktif dan optimalisasi layanan yang lebih baik. Kecerdasan buatan yang digunakan untuk membuat aplikasi sistem monitoring Stasiun Pengisian Kendaraan Listrik Umum (SPKLU) akan dapat memberikan saran pemilihan lokasi dan penempatan pengisi daya berdasarkan pertimbangan jarak, status pemakaian, daan durasi pemakaian. Semakin banyak data yang didapat kecerdasan buatan akan dapat memprediksi perilaku pengisian pengguna, optimalkan jadwal pengisian daya, dan memberikan saran penempatan stasiun pengisian daya yang optimal sebagai integrasi jaringan dan penyeimbangan beban. Aplikasi seluler untuk memudahkan pelanggan mengakses dan mengetahui berbagai hal tentang Infrastruktur SPKLU pintar yang dapat menampilkan data informasi tentang lokasi stasiun, ketersediaan pengisian daya, layanan pembayaran, dan harga *real-time* dapat dipantau, disimpan, dan diambil kapan pun diperlukan melalui *internet cloud*.

**Tabel 3.** Sistem P-D-C-A dalam mendukung Perkembangan aplikasi monitoring SPKLU



| <b>Plan-Do-Check-Act aplikasi monitoring SPKLU</b> |   |                                                                                                                                        |
|----------------------------------------------------|---|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Peraturan Mengenai SPKLU                           | 1 | Peraturan Presiden (PERPRES) Nomor 55 Tahun 2019                                                                                       |
|                                                    | 2 | Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Nomor 13 Tahun 2020                                                                   |
|                                                    | 3 | Peraturan Gubernur (PERGUB) Provinsi Daerah Khusus Ibukota Jakarta Nomor 3 Tahun 2020                                                  |
|                                                    | 4 | Peraturan Presiden (PERPRES) Nomor 79 Tahun 2023                                                                                       |
|                                                    | 5 | Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Nomor 1 Tahun 2023                                                                    |
| Plan (Perencanaan)                                 | 1 | Mempermudah perijinan dalam pendirian SKPKLU diwilayah DKI Jakarta                                                                     |
|                                                    | 2 | Memetakan titik lokasi dan menyusun strategi pemerataan titik lokasi baru SPKLU diwilayah DKI Jakarta                                  |
|                                                    | 3 | Mengatur dan memasukan data setiap SPKLU diwilayah DKI Jakarta masuk kedalam internet Cloud Datasabe                                   |
|                                                    | 4 | Mengatur standarisasi konektor pengisian daya setiap SPKLU diwilayah DKI Jakarta                                                       |
|                                                    | 5 | Merencanakan membuat aplikasi untuk monitoring SPKLU dengan mengandeng PLN dan kementrian terkait                                      |
|                                                    | 6 | Membuat idea box untuk aplikasi monitoring SPKLU berbasis Artificial Intelligence                                                      |
| Do (Implementasi)                                  | 1 | Mengeluarkan peraturan untuk perijinan dalam pendirian SKPKLU diwilayah DKI Jakarta                                                    |
|                                                    | 2 | Menambah jumlah sesuai titik lokasi SPKLU diwilayah DKI Jakarta                                                                        |
|                                                    | 3 | Membuat data base untuk titik lokasi, tipe konektor, level pengisian, status pemakaian, durasi waktu pemakaaian dll                    |
|                                                    | 4 | Membuat peraturan standarisasi konektor pengisian daya setiap SKPKLU diwilayah DKI Jakarta                                             |
|                                                    | 5 | Membuat aplikasi monitoring SPKLU berbasis Artificial Intelligence (AI) berdasarkan idea box dan database SPKLU                        |
| Check (Monitoring dan Evaluasi)                    | 1 | Melakukan monitoring terhadap keberjalanan dari peraturan yang dibuat dan menerima masukan untuk evaluasi terhadap peraturan tersebut  |
|                                                    | 2 | Melakukan evaluasi perihal data kepadatan atau load pengisian dan jumlah SPKLU di setiap wilayah                                       |
|                                                    | 3 | Melakukan perbaikan data base sesuai dengan penambahan titik lokasi SPKLU diwilayah DKI Jakarta                                        |
|                                                    | 4 | Melakukan evaluasi terhadap penerapan standarisasi konektor pengisian daya setiap SPKLU                                                |
|                                                    | 5 | Melakukan percobaan dan memberikan sosialisasi penggunaan aplikasi monitoring SPKLU berbasis Artificial Intelligence (AI)              |
| Action (Penyesuaian pengerjaan)                    | 1 | Melakukan revisi peraturan berdasarkan masukan dan evaluasi jika diperlukan                                                            |
|                                                    | 2 | Menerapkan strategi kemudahan sistem <i>booking</i> dan penjadwalan pada semua SPKLU untuk melakukan keseimbangan beban                |
|                                                    | 3 | Kemudahan akses pada data base mengenai titik lokasi, tipe konektor, level pengisian, status pemakaian, durasi waktu pemakaaian SPKLU  |
|                                                    | 4 | Semua SPKLU diwilayah DKI Jakarta dapat mengakomodir tipe kontak dengan model konektor pengisian yang sudah distandarisasi             |
|                                                    | 5 | Menerapkan penggunaan aplikasi monitoring SPKLU berbasis Artificial Intelligence (AI) pada semua SPKLU yang berada DidaerahDKI Jakarta |

Aplikasi monitoring SPKLU dibuat dengan memanfaatkan kecerdasan buatan yang dihimpun data base pada internet cloud (Subashini and Vijayan 2023). Data base yang digunakan sebagai input kecerdasan buatan ditampilkan pada Gambar 6. Diagram jaringan aplikasi monitoring SPKLU berbasis kecerdasan buatan. Melalui data base yang sudah dihimpun maka kecerdasan buatan dapat mengolah dan menampilkan pada aplikasi sistem monitoring akan dapat memberikan saran pemilihan lokasi dan penempatan pengisi daya berdasarkan pertimbangan jarak, status pemakaian, dan durasi pemakaian yang ditampilkan dalam fitur didalam aplikasi tersebut.



**Gambar 6.** Diagram jaringan aplikasi monitoring SPKLU berbasis kecerdasan buatan.

Rencana fitur-fitur aplikasi monitoring SPKLU berbasis kecerdasan buatan sebagai berikut:

- Aplikasi Seluler dapat terintegrasi dengan banyak layanan periksa ketersediaan stasiun layanan, status baterai.
- Fitur Chatbot untuk komunikasi yang mudah dengan kecerdasan buatan.
- Mengumpulkan data SPKLU secara real-time
- HoloLens yang dapat memeriksa infrastruktur stasiun pengisian daya.
- Tampilan dari tarif pengisian.
- Dapat meneri Saran dan rencana perjalanan yang optimal.
- Dapat melakukan pemesanan slot pengisian kendaraan listrik.
- Dapat memesan ruang kerja/restoran/outlet yang dipetakan pada stasiun pengisian daya.
- Dapat melakukan pembayaran dengan berbagai pilihan pembayaran.
- Pelayanan Mitra untuk *pickup* dan *drop* untuk pengisian EV.
- Operator armada – Sarankan untuk penyedia layanan armada.
- Pelayanan Mitra Storing dengan fasilitas pengisian daya mobil van.
- Pelayanan Asuransi – Rincian asuransi kendaraan.
- Pelayanan SOS: - Komunikasi otomotif saat darurat/kecelakaan.
- Dapat Kompatibel dalam berbagai sistem IOS/Android/Windows.
- Pengisian daya di rumah - Ketersediaan jalur khusus untuk pengisian daya di rumah.

## KESIMPULAN

Ketidaknyamanan pengguna dalam pengoperasian kendaraan listrik dikarenakan kurang dan minimnya informasi mengenai infrastruktur pengisian atau SPKLU. Data yang dapat kami himpun melalui Pln Mobile sebanyak 255 unit yang tersebar 134 titik di 5 kota wilayah DKI Jakarta. Sehingga penambahan dan pemerataan titik SPKLU menjadi prioritas utama yang didukung dengan pengembangan Aplikasi seluler atau App Mobile untuk monitoring SPKLU juga menjadi hal yang penting dalam menjawab permasalahan ini. Dengan menerapkan metode PDCA untuk mendukung Pengembangan aplikasi monitoring SPKLU, akan memudahkan pengguna kendaraan listrik untuk mengakses dan mengetahui berbagai hal tentang Infrastruktur SPKLU. Fitur dalam aplikasi ini dapat menampilkan data informasi tentang lokasi stasiun, ketersediaan pengisian daya, layanan pembayaran, dan harga *real-time* melalui *internet cloud*.

Dengan kecerdasan buatan atau *Artificial Intelligence* (AI), ekosistem diharapkan mendapatkan manfaat pada berbagai aspek, termasuk efisiensi energi, peningkatan efisiensi baterai, dan peningkatan kenyamanan pengguna. Kecerdasan buatan membantu dalam menganalisis data pengguna, menyesuaikan strategi pengisian, dan penggunaan energi kendaraan listrik. Pengintegrasian kecerdasan buatan dalam ekosistem kendaraan listrik berbasis baterai di DKI Jakarta dapat memberi manfaat yang akan dicapai adalah antara lain peningkatan efisiensi energi, pengurangan polusi, peningkatan keamanan energi.

## REKOMENDASI KEBIJAKAN (POLICY BRIEF)

1. Pemerintah DKI Jakarta melakukan koordinasi dengan kementerian terkait untuk berkoordinasi tentang pembuatan aplikasi daring SPKLU sebagaimana diatur pada Pasal 14 ayat 2,3,4 dan 5 dalam Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Nomor 1 Tahun 2023.
2. Pemerintah DKI Jakarta dapat memetakan dan menambah pendirian SPKLU.
3. Pemerintah DKI Jakarta dapat membuat peraturan daerah untuk mempermudah perijinan pendirian SPKLU.
4. Pemerintah DKI Jakarta dapat melakukan regulasi dan standarisasi konektor dengan koordinasi instansi terkait, sehingga dapat digunakan untuk segala tipe konektor pengisian daya di SPKLU dengan *safety*.

## DAFTAR PUSTAKA

- Ahdiat, Adi (Databoks). 2024. "Volume Penjualan Wholesale Bulanan Mobil Listrik BEV Di Indonesia." *Databoks Katadata Media Network*. Retrieved February 1, 2024 (<https://databoks.katadata.co.id/datapublish/2024/01/16/penjualan-mobil-listrik-di-indonesia-melonjak-pada-akhir-2023>).
- Chandra, Isha, Navneet Kumar Singh, and Paulson Samuel. 2024. "A Comprehensive Review on Coordinated Charging of Electric Vehicles in Distribution Networks." *Journal of Energy Storage* 89(November 2023):111659. doi: 10.1016/j.est.2024.111659.
- Debadarshini, Jagnyashini, Rejeti Megha Vardhan, Sudipta Saha, and Chandrashekhar N. Bhende. 2024. "ICoord: Efficient Charging of the Electric-Vehicles through IoT-Assisted Coordination with the Charging-Infrastructure." *Ad Hoc Networks* 153(October 2023):103345. doi: 10.1016/j.adhoc.2023.103345.
- Fescioglu-Unver, Nilgun, and Melike Yildiz Aktaş. 2023. "Electric Vehicle Charging Service Operations: A Review of Machine Learning Applications for Infrastructure Planning, Control, Pricing and Routing." *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 188(March):113873. doi: 10.1016/j.rser.2023.113873.
- Hemavathi, S., and A. Shinisha. 2022. "A Study on Trends and Developments in Electric Vehicle Charging Technologies." *Journal of Energy Storage* 52(PC):105013. doi: 10.1016/j.est.2022.105013.
- Huda, Muhammad, Muhammad Aziz, and Koji Tokimatsu. 2019. "The Future of Electric Vehicles to Grid Integration in Indonesia." *Energy Procedia* 158(2018):4592–97. doi: 10.1016/j.egypro.2019.01.749.
- Karmaker, Ashish Kumar, Sam Behrens, M. J. Hossain, and Hemanshu Pota. 2023. "Multi-Stakeholder Perspectives for Transport Electrification: A Review on Placement and Scheduling of Electric Vehicle Charging Infrastructure." *Journal of Cleaner Production* 427(June):139145. doi: 10.1016/j.jclepro.2023.139145.
- Mastoi, Muhammad Shahid, Shenxian Zhuang, Hafiz Mudassir Munir, Malik Haris, Mannan Hassan, Muhammad Usman, Syed Sabir Hussain Bukhari, and Jong Suk Ro. 2022. "An In-Depth Analysis of Electric Vehicle Charging Station Infrastructure, Policy Implications, and Future Trends." *Energy Reports* 8:11504–29. doi: 10.1016/j.egyr.2022.09.011.
- Muhamad, Nabilah (Databoks). 2024. "Jumlah Stasiun Pengisian Kendaraan Listrik Umum/SPKLU Di Indonesia (2023)." *Databoks Katadata Media Network*. Retrieved February 2, 2024 (<https://databoks.katadata.co.id/datapublish/2024/01/22/ada-911-spklu-di-indonesia-pada-2023-ini-sebarannya>).
- Nugraha, Afitro Adam, Danardono Agus Sumarsono, Mohammad Adhitya, and Sonki Prasetya. 2021. "Development of Brake Booster Design for Electric City Cars." *International Journal of Technology* 12(4):802–12. doi: 10.14716/ijtech.v12i4.4636.
- Pamidimukkala, Apurva, Sharareh Kermanshachi, Jay Michael Rosenberger, and Greg Hladik. 2023a. "Adoption of Electric Vehicles: A State-of-Art Review." *Transportation Research Procedia* 73:313–20. doi: 10.1016/j.trpro.2023.11.923.
- Pamidimukkala, Apurva, Sharareh Kermanshachi, Jay Michael Rosenberger, and Greg Hladik. 2023b. "Evaluation of Barriers to Electric Vehicle Adoption: A Study of Technological, Environmental, Financial, and Infrastructure Factors." *Transportation Research Interdisciplinary Perspectives* 22(August):100962. doi: 10.1016/j.trip.2023.100962.
- Sabyasachi, Sidharth, Arvind R. Singh, Revati Godse, Supriya Jaiswal, Mohit Bajaj, Ishan Srivastava, Vojtech Blazek, Lukas Prokop, and Stanislav Misak. 2024. "Reimagining E-Mobility: A Holistic Business Model for the Electric Vehicle Charging Ecosystem." *Alexandria Engineering Journal* 93(July 2023):236–58. doi: 10.1016/j.aej.2024.03.004.
- Setiawan, Andri D., Teuku Naraski Zahari, Fara Jetira Purba, Armand O. Moeis, and Akhmad Hidayatno. 2022. "Investigating Policies on Increasing the Adoption of Electric Vehicles in Indonesia." *Journal of Cleaner Production* 380(P2):135097. doi: 10.1016/j.jclepro.2022.135097.
- Subashini, M., and Sumathi Vijayan. 2023. "Smart Charging for Zero Emission Vehicles – A Comprehensive Review." *Renewable Energy Focus* 46:57–67. doi: 10.1016/j.ref.2023.05.005.

- Veza, Ibham, Muhammad Zacky Asy'ari, M. Idris, Vorathin Epin, I. M. Rizwanul Fattah, and Martin Spraggon. 2023. "Electric Vehicle (EV) and Driving towards Sustainability: Comparison between EV, HEV, PHEV, and ICE Vehicles to Achieve Net Zero Emissions by 2050 from EV." *Alexandria Engineering Journal* 82(October):459–67. doi: 10.1016/j.aej.2023.10.020.
- Yoshio, Alfons (Databoks). 2021. "Proyeksi Pertambahan Mobil Listrik Di Indonesia." *Databoks Katadata Media Network*. Retrieved February 2, 2024 (<https://databoks.katadata.co.id/datapublish/2021/07/08/mobil-listrik-di-indonesia-diproyeksikan-tumbuh-pesat>).

# Penerbit Gunadarma

