

The cover features three sets of concentric blue circles of varying sizes and shades, positioned in the top right, middle right, and bottom left. A thin blue diagonal line runs from the top left to the bottom right, passing through the center of the text.

MONOGRAF

**Digital FIR Bandpass Filter
untuk Fetal Doppler**

**Hartono Siswono
Widyastuti
Yohanes Dovan**



MONOGRAF

Digital FIR Bandpass Filter untuk Fetal Doppler

**Hartono Siswono
Widyastuti
Yohanes Dovan**



Penerbit Gunadarma

MONOGRAF

Digital FIR Bandpass Filter untuk Fetal Doppler

Penulis:

Hartono Siswono, Widyastuti, Yohanes Dovan

ISBN :

Cetakan Pertama, Agustus 2023

Desain Sampul:

Hartono Siswono

Diterbitkan oleh Penerbit Gunadarma

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

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

e-mail : penerbit@gunadarma.ac.id

Hak cipta dilindungi undang-undang. Dilarang mengutip atau memperbanyak dalam bentuk apapun sebagian atau seluruh isi buku tanpa ijin tertulis dari Penerbit.

KATA PENGANTAR

Puji syukur kami panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa yang telah memberikan karunia-Nya sehingga penulis diberikan kesempatan untuk menulis buku monograf ini. Penulis juga ingin mengucapkan terima kasih kepada Bapak Prof. Suryadi H.S., SSI, MMSI, Wakil Rektor II Universitas Gunadarma, yang banyak membantu serta memberikan dorongan dan nasehat kepada Penulis.

Seorang wanita yang sedang dalam masa kehamilan, akan secara berkala memeriksakan diri kepada dokter kandungan untuk mengetahui kondisi janinnya. Salah satu cara untuk mengetahui kondisi janin adalah dengan menggunakan *pinard stethoscope* yang berfungsi untuk mendengarkan Detak Jantung Janin (DJJ) dalam kandungan. Tetapi, alat ini masih memiliki kelemahan, suara DJJ yang didengar menggunakan stetoskop hanya dapat didengar oleh satu orang yaitu sang pengguna stetoskop, maka dari itu, digunakanlah *fetal doppler* sebagai alternatif untuk mendeteksi detak jantung janin dalam kandungan.

Fetal doppler adalah alat diagnostik yang menggunakan efek *doppler* untuk memberikan simulasi suara detak jantung janin. Pemeriksaan jantung janin dengan alat *doppler* lebih nyaman bagi wanita dan suara yang dikeluarkan dapat didengar oleh semua yang hadir di ruangan termasuk sang wanita hamil, hal ini baik untuk meyakinkan wanita dan keluarganya. Karena kepekaannya, *fetal doppler* dapat secara tidak sengaja mengambil detak jantung ibu, dan harus diverifikasi dengan meraba denyut nadi ibu secara bersamaan

Filter diperlukan pada *fetal doppler* agar suara detak jantung janin terdengar dengan jelas. Filter berfungsi sebagai peredam komponen yang tidak diinginkan dari sebuah sinyal (*noise*), dan melewati komponen informasi yang terdapat dalam sinyal tersebut. Detak jantung normal janin dalam kandungan berkisar antara 120-160 detak per menit, atau memiliki rentang frekuensi 2 Hz – 3 Hz .

Frekuensi ini dapat disaring menggunakan *bandpass* filter yang akan melewati sinyal pada rentang frekuensi tertentu dan memisahkan frekuensi diluar rentang tersebut.

Berdasarkan hal tersebut, maka dilakukan penelitian untuk mendapatkan Filter yang sesuai. Filter yang dirancang adalah Filter *Bandpass* Digital FIR dengan menggunakan metode *Hamming Window* dan *Hanning Window*.

Buku monograf ini bisa menjadi acuan untuk pemilihan filter yang sesuai dan juga sebagai bahan acuan untuk perancangan filter pada kasus lain.

Penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada semua pihak atas kerjasamanya mulai dari awal sampai selesainya buku ini. Dan penulis menyadari bahwa penulisan buku Monograf ini masih jauh dari sempurna sehingga segala masukan dan kritikan yang bersifat membangun dari semua pihak sangat penulis harapkan.

Jakarta, Agustus 2023

Tim Penulis

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	i
DAFTAR ISI	iii
DAFTAR GAMBAR	v
DAFTAR TABEL	vii
SINOPSIS	viii
BAB 1 PENDAHULUAN	1
BAB 2 LANDASAN TEORI	3
2.1. Detak Jantung Janin	3
2.2. <i>Fetal Doppler</i>	3
2.3. Filter Digital	4
2.4. Filter Digital FIR	4
2.5. Metode Deret Fourier	5
2.6. Fungsi <i>Window</i>	6
2.7. Teorema Sampling	7
2.8 Perangkat Lunak MATLAB	7
BAB 3 METODE PENELITIAN	11
3.1. Blok Proses Perancangan	11
3.2. Spesifikasi Perancangan Filter Bandpass Digital FIR	13
3.3 Perhitungan Metode Deret Fourier	13
3.4. Perhitungan Metode Hamming <i>Window</i> dan Hanning <i>Window</i>	14
BAB 4 SIMULASI DAN ANALISA	22
4.1. Membuat Sinyal Informasi dan Sinyal <i>Noise</i>	22
4.2. Simulasi Filter <i>Bandpass</i> Dgital FIR Orde 20	25
4.2.1. Simulasi Filter <i>Bandpass</i> Dgital FIR Orde 20 dengan Metode Hamming <i>Window</i>	25
4.2.2. Simulasi Filter <i>Bandpass</i> Dgital FIR Orde 20 dengan Metode Hanning <i>Window</i>	27
4.3. Simulasi Filter <i>Bandpass</i> Dgital FIR Orde 50	30
4.3.1. Simulasi Filter <i>Bandpass</i> Dgital FIR Orde 50 dengan Metode Hamming	

<i>Window</i>	30
4.3.2. Simulasi Filter <i>Bandpass</i> Dgital FIR Orde 50 dengan Metode Hanning <i>Window</i>	32
4.4. Simulasi Filter <i>Bandpass</i> Dgital FIR Orde 100	35
4.4.1. Simulasi Filter <i>Bandpass</i> Dgital FIR Orde 100 dengan Metode Hamming <i>Window</i>	35
4.4.2. Simulasi Filter <i>Bandpass</i> Dgital FIR Orde 100 dengan Metode Hanning <i>Window</i>	37
BAB 5 PENUTUP	41
5.1. Kesimpulan	41
5.2. Saran	41
DAFTAR PUSTAKA	42

Penerbit Gunadarma

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. <i>Fetal Doppler</i>	4
Gambar 2.2. Realisasi Filter Digital FIR <i>Direct Form</i>	5
Gambar 2.3. <i>User Interface</i> MATLAB	8
Gambar 2.4. <i>User Interface Filter Designer</i>	9
Gambar 3.1. Blok Perancangan Desain Bandpass Filter Digital FIR	12
Gambar 3.2. Skala Frekuensi Sebenarnya dari Respons Amplitudo yang Diinginkan	14
Gambar 3.3. Penormalan Skala Frekuensi dari Respons Amplitudo yang Diinginkan	14
Gambar 4.1. Sinyal Informasi 2.5 Hz	22
Gambar 4.2. Sinyal <i>Noise</i> 1.6 Hz	23
Gambar 4.3. Sinyal <i>Noise</i> 3.1 Hz	23
Gambar 4.4. Sinyal Informasi 2.5 Hz dan Sinyal <i>Noise</i> 1.6 Hz	24
Gambar 4.5. Sinyal Informasi 2.5 Hz dan Sinyal <i>Noise</i> 3.1 Hz	24
Gambar 4.6. Simulasi <i>Bandpass</i> Filter Digital FIR orde 20 dengan Metode Hamming Window	25
Gambar 4.7. Respons Magnitudo Filter <i>Bandpass</i> Digital Orde 20 menggunakan Hamming Window	26
Gambar 4.8. Output Domain Frekuensi Filter Orde 20 dengan Noise 1.6 Hz megggunakan Hamming Window	26
Gambar 4.9. Output Domain Frekuensi Filter Orde 20 dengan Noise 3.1 Hz megggunakan Hamming Window	27
Gambar 4.10. Simulasi <i>Bandpass</i> Filter Digital FIR orde 20 dengan Metode Hanning Window	28
Gambar 4.11. Respons Magnitudo Filter <i>Bandpass</i> Digital Orde 20 menggunakan Hanning Window	28
Gambar 4.12. Output Domain Frekuensi Filter Orde 20 dengan Noise 1.6 Hz megggunakan Hanning Window	29
Gambar 4.13. Output Domain Frekuensi Filter Orde 20 dengan Noise 3.1 Hz megggunakan Hanning Window	29
Gambar 4.14. Simulasi <i>Bandpass</i> Filter Digital FIR orde 50 dengan Metode <i>Hamming Window</i>	30

Gambar 4.15. Respons Magnitudo Filter <i>Bandpass</i> Digital Orde 50 menggunakan <i>Hamming Window</i>	31
Gambar 4.16. Output Domain Frekuensi Filter Orde 50 dengan Noise 1.6 Hz megggunakan <i>Hamming Window</i>	31
Gambar 4.17. Output Domain Frekuensi Filter Orde 50 dengan Noise 3.1 Hz megggunakan <i>Hamming Window</i>	32
Gambar 4.18. Simulasi <i>Bandpass</i> Filter Digital FIR orde 50 dengan Metode <i>Hanning Window</i>	33
Gambar 4.19. Respons Magnitudo Filter <i>Bandpass</i> Digital Orde 50 menggunakan <i>Hanning Window</i>	33
Gambar 4.20. Output Domain Frekuensi Filter Orde 50 dengan Noise 1.6 Hz megggunakan <i>Hanning Window</i>	34
Gambar 4.21. Output Domain Frekuensi Filter Orde 50 dengan Noise 3.1 Hz megggunakan <i>Hanning Window</i>	34
Gambar 4.22. Simulasi <i>Bandpass</i> Filter Digital FIR orde 100 dengan Metode <i>Hamming Window</i>	36
Gambar 4.23. Respons Magnitudo Filter <i>Bandpass</i> Digital Orde 100 menggunakan <i>Hamming Window</i>	36
Gambar 4.24. Output Domain Frekuensi Filter Orde 100 dengan Noise 1.6 Hz megggunakan <i>Hamming Window</i>	37
Gambar 4.25. Output Domain Frekuensi Filter Orde 100 dengan Noise 3.1 Hz megggunakan <i>Hamming Window</i>	37
Gambar 4.26. Simulasi <i>Bandpass</i> Filter Digital FIR orde 100 dengan Metode <i>Hanning Window</i>	38
Gambar 4.27. Respons Magnitudo Filter <i>Bandpass</i> Digital Orde 100 menggunakan <i>Hanning Window</i>	39
Gambar 4.28. Output Domain Frekuensi Filter Orde 100 dengan Noise 1.6 Hz megggunakan <i>Hanning Window</i>	39
Gambar 4.29. Output Domain Frekuensi Filter Orde 100 dengan Noise 3.1 Hz megggunakan <i>Hanning Window</i>	40

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1. Koefisien Filter Digital FIR Orde 20 Hamming <i>Window</i>	15
Tabel 3.2. Koefisien Filter Digital FIR Orde 20 Hanning <i>Window</i>	15
Tabel 3.3. Koefisien Filter Digital FIR Orde 50 Hamming <i>Window</i>	16
Tabel 3.4. Koefisien Filter Digital FIR Orde 50 Hanning <i>Window</i>	17
Tabel 3.5. Koefisien Filter Digital FIR Orde 100 Hamming <i>Window</i>	18
Tabel 3.6. Koefisien Filter Digital FIR Orde 100 Hanning <i>Window</i>	19

Penerbit Gunadarma

Sinopsis

Fetal doppler adalah alat diagnostik yang menggunakan efek *doppler* untuk memberikan simulasi suara detak jantung janin. Pemantauan denyut jantung janin atau *Fetal Heart Rate* (FHR) menggunakan Doppler Ultrasound (US) adalah metode standar untuk menilai kesehatan janin sebelum dan selama persalinan.

Filter diperlukan pada *fetal doppler* agar suara detak jantung janin terdengar dengan jelas. Filter berfungsi sebagai peredam komponen yang tidak diinginkan dari sebuah sinyal (*noise*), dan melewatkan komponen informasi yang terdapat dalam sinyal tersebut. Detak jantung normal janin dalam kandungan berkisar antara 120-160 detak per menit atau memiliki rentang frekuensi 2 Hz – 3 Hz. Frekuensi ini dapat disaring menggunakan *bandpass* filter yang akan melewatkan sinyal pada rentang frekuensi tertentu dan memisahkan frekuensi diluar rentang tersebut.

Dalam Monograf ini dilakukan perancang Filter Digital FIR untuk mendapatkan filter terbaik untuk meningkatkan kinerja dari *Fetal Doppler*.

BAB 1

PENDAHULUAN

Seorang wanita yang sedang dalam masa kehamilan, akan secara berkala memeriksakan diri kepada dokter kandungan untuk mengetahui kondisi janinnya. Salah satu cara untuk mengetahui kondisi janin adalah dengan menggunakan *pinard stethoscope* yang berfungsi untuk mendengarkan Detak Jantung Janin (DJJ) dalam kandungan. Tetapi, alat ini masih memiliki kelemahan, suara DJJ yang didengar menggunakan stetoskop hanya dapat didengar oleh satu orang yaitu sang pengguna stetoskop, maka dari itu, digunakanlah *fetal doppler* sebagai alternatif untuk mendeteksi detak jantung janin dalam kandungan.

Fetal doppler adalah alat diagnostik yang menggunakan efek *doppler* untuk memberikan simulasi suara detak jantung janin. Pemeriksaan jantung janin dengan alat *doppler* lebih nyaman bagi wanita dan suara yang dikeluarkan dapat didengar oleh semua yang hadir di ruangan termasuk sang wanita hamil, hal ini baik untuk meyakinkan wanita dan keluarganya. Karena kepekaannya, *fetal doppler* dapat secara tidak sengaja mengambil detak jantung ibu, dan harus diverifikasi dengan meraba denyut nadi ibu secara bersamaan (Heelan, 2013; Abdulhay et al., 2014).

Pemantauan denyut jantung janin atau *Fetal Heart Rate* (FHR) menggunakan Doppler Ultrasound (US) adalah metode standar untuk menilai kesehatan janin sebelum dan selama persalinan. (Hamelmann, 2019; Hamelmann, 2020)

Filter diperlukan pada *fetal doppler* agar suara detak jantung janin terdengar dengan jelas. Filter berfungsi sebagai peredam komponen yang tidak diinginkan dari sebuah sinyal (*noise*), dan melewati komponen informasi yang terdapat dalam sinyal tersebut. Detak jantung normal janin dalam kandungan berkisar antara 120-160 detak per menit (von Steinburg, 2013) atau memiliki rentang frekuensi 2 Hz – 3 Hz (Anastasiadis, 1999). Frekuensi ini dapat disaring

menggunakan *bandpass* filter yang akan melewati sinyal pada rentang frekuensi tertentu dan memisahkan frekuensi diluar rentang tersebut.

Berdasarkan latar belakang ini, kita perlu merancang sebuah filter. Dalam hal ini, kami ingin mencari filter yang sesuai. Oleh karena itu, kami mencoba merancang 6 macam filter, yaitu: Window Hamming order 20, Window Hamming order 50, Window Hamming order 100, Window Hanning order 20, Window Hanning order 50, Window Hanning order 100. Setelah merancang filter ini, kami mencoba membandingkan dan menemukan filter yang paling cocok untuk Fetal Doppler. Semua pekerjaan tersebut dimuat dalam monograf penelitian ini yang diberi judul “Digital FIR *Bandpass* Filter untuk *Fetal Doppler*”. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menemukan filter yang paling cocok untuk Fetal Doppler. (Das dan Karmakar, 2013; Podder, 2014; Rani dan Baskar, 2018; Mynuddin, 2015; Jwo, 2019; Avci, 2016; Kaur dan Kaur, 2015)

Penerbit Gunadarma

BAB 2

LANDASAN TEORI

2.1. Detak Jantung Janin

Detak jantung janin (DJJ) merupakan petunjuk sensitif dari status janin, terutama detak jantung janin berhubungan dengan kontraksi *uterus*. Normalnya detak jantung janin berkisar antara 120 dan 160 kali per menit. Peningkatan atau penurunan dengan tiba-tiba, periode perpanjangan di atas atau di bawah normal, atau melambat setelah kontraksi menandakan *distress* janin.

Kecepatan detak jantung janin dapat dihitung dengan alat dapat dimonitor baik *intermiten* maupun terus-menerus. Pengawasan secara *intermiten* dilakukan pada kehamilan resiko rendah dan detak jantung janin dihitung setiap 15 menit sekali selama persalinan kala I dan diperiksa setiap 5 menit pada kala II. Secara berkala sepanjang proses persalinan harus dihitung selama dua kontraksi yang kuat dan selama 3 menit penuh setelah yang kedua. Detak jantung janin harus diperiksa selama, segera setelah, dan 10 menit setelah kejadian yang menyebabkan *stress*, seperti rupturnya *membran amnion* atau pemberian *anastesispinal*. Waktu, kecepatan, posisi, dan keteraturan detak jantung janin dicatat pada kartu catatan ibu (Persis,1995).

Auskultasi berarti mendengarkan detak jantung janin dalam rahim. Detak jantung janin baru terdengar dengan stetoskop bulan ke-5, sedangkan dengan alata dopton sudah mulai terdengar pada akhir bulan ke-3. Detak jantung janin yang terdengar merupakan tanda pasti kehamilan. Lebih lanjut lagi berarti janin ada dalam rahim ibu atau masih hidup.

2.2. Fetal Doppler

Fetal doppler adalah alat diagnostik yang menggunakan efek doppler untuk memberikan simulasi suara detak jantung janin. Pemeriksaan jantung janin dengan alat doppler lebih nyaman bagi wanita dan suara yang dikeluarkan dapat didengar oleh semua yang hadir di ruangan termasuk sang wanita hamil, hal ini baik untuk

meyakinkan wanita dan keluarganya. Abnormalitas pada DJJ juga lebih terjamin terdeteksi oleh monitor *fetal doppler* dibandingkan dengan *pinard stethoscope* dan penggunaannya telah terbukti berhubungan dengan hasil perinatal yang baik.



Gambar 2.1 *Fetal Doppler*

2.3. Filter Digital

Dalam pemrosesan sinyal, filter adalah perangkat yang menghilangkan atau menghilangkan hal-hal yang tidak diinginkan dalam pemrosesan sinyal. Ini didefinisikan sebagai menghilangkan frekuensi yang tidak diinginkan dan melindungi sinyal dari gangguan (Seed, 2020).

Filter bandpass digital adalah filter di mana sinyal akan dilewatkan pada frekuensi tengah dan akan diredam pada frekuensi rendah dan tinggi (Cheveigne dan Nelken, 2019).

2.4. Filter Digital FIR

Dalam filter FIR, respons impuls, $h(n)$, terbatas pada bilangan terbatas. Respons impuls dapat dinyatakan dengan:

$$\begin{aligned} h(n) &= a_n \text{ for } 0 \leq n \leq k \\ &= 0 \text{ for others} \end{aligned} \quad (2.1)$$

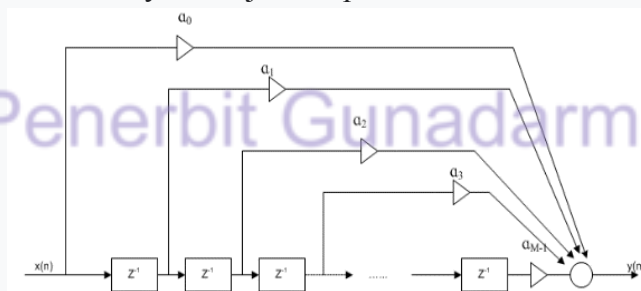
Dengan Fungsi Transfer:

$$H(z) = \sum_{m=0}^k a_m z^{-m} \quad (2.2)$$

$$H(z) = a_0 + a_1 z^{-1} + a_2 z^{-2} + \dots + a_k z^{-k} \quad (2.3)$$

(Singh dan Josan, 2014; Zahoor dan Naseem, 2017)

Dan realisasinya ditunjukkan pada Gambar 2.1



Gambar 2.2 Realisasi Filter Digital FIR *Direct Form*

2.5. Metode Deret Fourier

Pendekatan Deret Fourier agak mendasar karena metode lain menggunakan landasan teori yang sama. Metode Deret Fourier lebih mudah dalam konsep, karenanya akan digunakan sebagai dasar. Salah satu kerugiannya adalah tidak mudah untuk menyatakan sebelumnya *level* yang benar untuk *level* riak di *passband* dan *stopband*. Oleh karena itu, perlu untuk menyelidiki perancangan alternatif untuk mendapatkan fungsi yang sesuai dengan spesifikasi filter. Metode ini paling baik digunakan dengan "*Window Function*".

Keunggulan yang signifikan fungsi filter FIR adalah kemampuan untuk memperoleh *phasa* linear atau waktu *delay* konstan.

Agar memperoleh waktu *delay* konstan, diperlukan deret Fourier memiliki term cosinus saja atau term sinus saja, tidak keduanya secara bersamaan. Karena pada umumnya respons amplitudo dinyatakan sebagai fungsi genap frekuensi, maka menggunakan deret cosinus.

Respons Frekuensi dinyatakan dalam frekuensi ternormalisasi $v = f / f_0$, di mana $f_0 = f_s / 2$ adalah frekuensi *folding*. $A(v)$ diberikan sebagai amplitudo dari respon yang diinginkan.

Maka deret cosinus pada $A(v)$ dan c_m adalah:

$$A(v) = \sum_{m=-M}^m c_m e^{jm\pi v} \quad (2.4)$$

$$c_m = \int_0^1 A_d(v) \cos m\pi v dv \quad (2.5)$$

(Dogra dan Sarma, 2014; Chandra, 2015)

2.6. Fungsi *Window*

Fungsi Transfer FIR

$$H_1(z) = \sum_{m=-M}^m c_m z^{-m} \quad (2.6)$$

Hasil dari Respons Impuls

$$h_i(n) = \sum_{m=-M}^m c_m \delta(n - m) \quad (2.7)$$

Hasil respons impuls berpusat pada titik asal dan merupakan fungsi n genap dalam kasus deret kosinus (yang merupakan fungsi n ganjil dalam kasus deret sinus).

Jika w_m menyatakan koefisien fungsi *window*, dan c_m' menyatakan koefisien fungsi transfer termodifikasi, maka:

$$c'_m = w_m c_m \quad (2.8)$$

Kemudian fungsi transfer yang dimodifikasi dinyatakan dengan:

$$H'_1(z) = \sum_{m=-M}^m c'_m z^{-m} \quad (2.9)$$

Hasil akhir adalah:

$$H(z) = \sum_{i=0}^M a_i z^{-i} \quad (2.10)$$

$$a_i = c'_{M-i} \quad (2.11)$$

Pada penelitian ini hanya digunakan dua fungsi *window* yaitu Hamming dan Hanning *Window*.

Pada Hamming *Window*

$$w(t) = 0.54 + 0.46 \cos \frac{2\pi t}{\tau} \text{ for } |t| < \frac{\tau}{2} \quad (2.12)$$

Pada Hanning *Window*

$$w(t) = \cos^2 \frac{\pi t}{\tau} = \frac{1}{2} \left(1 + \cos \frac{2\pi t}{\tau} \right) \text{ for } |t| < \frac{\tau}{2} \quad (2.13)$$

(Vaishali dan Singh, 2020; Kaur dan Kaur, 2016; Mmeremikwu, 2018; Zhao, 2015; Srivastava dan Mehra, 2014; Patell, 2013; Pandey, 2017; Goyal dan Goel, 2015; Narwaria dan Kumar, 2018)

2.7. Teorema Sampling

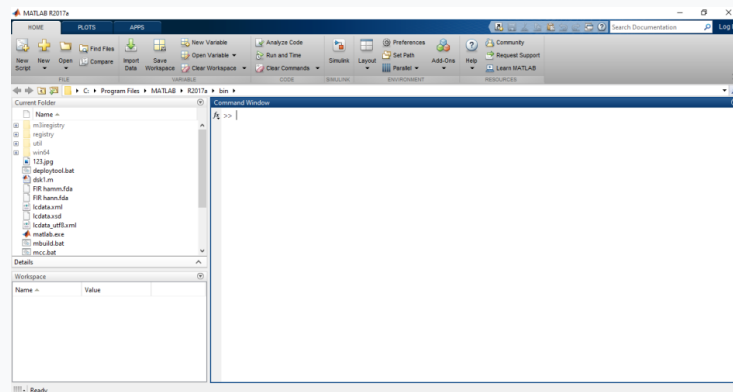
Semua sinyal alami bersifat kontinu. Setiap sinyal band-terbatas bandwidth B dapat direpresentasikan oleh nilai-nilai sinyal yang dipilih secara berkala (nilai-nilai sampel) pada frekuensi yang lebih besar dari atau sama dengan dua kali komponen frekuensi tertinggi. Dengan kata lain, sinyal analog dapat secara layak direkonstruksi dari nilai-nilai sampel yang diambil secara berkala, asalkan laju pengambilan sampel disesuaikan dengan benar yaitu dua kali komponen frekuensi tertinggi dari sinyal tersebut. Hal ini dikenal sebagai teori sampling.

Teorema pengambilan sampel, juga dikenal sebagai teorema Shannon atau teorema Kotelnikov, menyatakan bahwa pada tingkat minimum setiap sinyal yang akan diambil sampelnya sehingga dapat direkonstruksi dari nilai sampelnya, adalah dua kali komponen frekuensi tertinggi yang ada dalam sinyal.

$$f_s \geq 2f_m \quad (2.14)$$

2.8 Perangkat Lunak MATLAB

MATLAB merupakan perangkat lunak yang digunakan untuk pemrograman, analisis, serta komputasi teknis dan matematis berbasis matriks. MATLAB adalah singkatan dari *Matrix Laboratory* karena mampu menyelesaikan masalah perhitungan dalam bentuk matriks. MATLAB versi pertama dirilis pada tahun 1970 oleh Cleve Moler.



Gambar 2.3 User Interface MATLAB

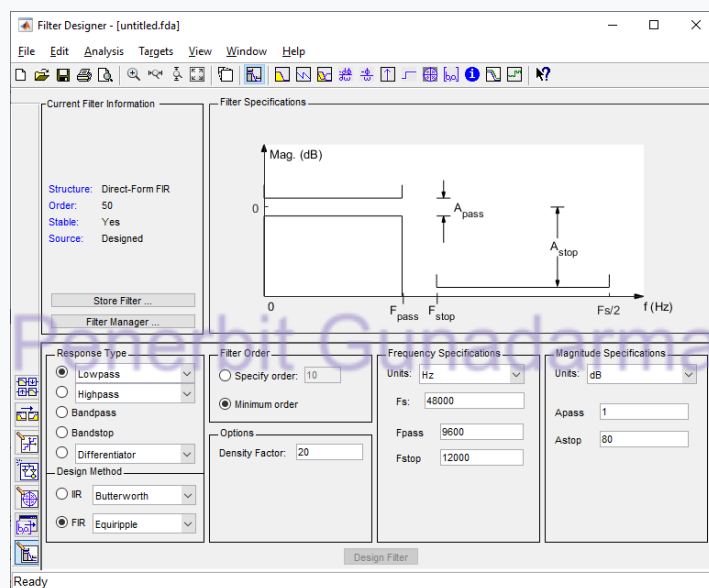
Pada awalnya, MATLAB didesain untuk menyelesaikan masalah-masalah persamaan aljabar linear. Seiring berjalannya waktu, program ini terus mengalami perkembangan dari segi fungsi dan performa komputasi.

Bahasa pemrograman yang kini dikembangkan oleh MathWorks Inc. menggabungkan proses pemrograman, komputasi dan visualisasi melalui lingkungan kerja yang mudah digunakan. MATLAB juga memiliki keunggulan umum lainnya, seperti analisis dan eksplorasi data, pengembangan algoritma, pemodelan dan simulasi, visualisasi plot dalam bentuk 2D dan 3D, hingga pengembangan aplikasi antar muka grafis. Dalam ruang lingkup perguruan tinggi MATLAB digunakan sebagai alat pembelajaran pemrograman matematika, teknik, dan sains pada level pengenalan dan lanjutan, sedangkan dalam dunia industri, MATLAB dipilih sebagai alat penelitian, pengembangan, dan analisis produk industri.

MATLAB dapat dioperasikan pada sistem operasi Windows, Linux, maupun macOS. Selain itu, MATLAB juga bisa dihubungkan

dengan aplikasi atau bahasa pemrograman eksternal lainnya, seperti C, Java, .NET, dan atau Microsoft Excel. Dalam MATLAB tersedia pula kotak kakas (toolbox) yang dapat digunakan untuk aplikasi-aplikasi khusus, seperti pengolahan sinyal, sistem kontrol, logika fuzzy, jaringan saraf tiruan, optimasi, pengolahan citra digital, bioinformatika, simulasi, dan berbagai teknologi lainnya. (Amir, 2017)

Filter Designer adalah *Graphical User Interface* (GUI) yang kuat di *Signal Processing Toolbox* untuk merancang dan menganalisis filter.



Gambar 2.4 User Interface Filter Designer

Filter Designer memungkinkan untuk dengan cepat merancang filter FIR atau IIR digital dengan mengatur spesifikasi kinerja filter, dengan mengimpor filter dari ruang kerja MATLAB atau dengan menambahkan, memindahkan, atau menghapus kutub dan nol. Filter Designer juga menyediakan alat untuk menganalisis filter, seperti plot respons besaran dan fase serta plot nol kutub.

Agar dapat memulai menggunakan Filter Designer di MATLAB, ketik pada *command prompt* MATLAB:

```
>> filterDesigner
```

dan jendela dari Filter Designer akan terbuka.

The GUI memiliki tiga area utama:

1. *Area Current Filter Information*
2. *Area Filter Display*
3. *Area Design panel*

Bagian atas GUI menampilkan informasi tentang spesifikasi filter dan respons untuk filter saat ini. Area *Current Filter Information* di kiri atas, menampilkan properti filter, yaitu struktur filter, urutan, jumlah bagian yang digunakan, dan apakah filter stabil atau tidak. *Current Filter Information* juga menyediakan akses ke Manajer Filter untuk bekerja dengan beberapa filter.

Area *Filter Display* di kanan atas, menampilkan berbagai respon filter seperti respons besaran, penundaan grup, dan koefisien filter.

Bagian bawah GUI adalah bagian interaktif dari Filter Designer. *Design panel* di bagian bawah adalah tempat menentukan spesifikasi filter. *Design panel* mengontrol apa yang ditampilkan di dua wilayah atas lainnya. Panel lain dapat ditampilkan di bagian bawah dengan menggunakan tombol *sidebar*.

Pada saat membuka Filter Designer, perubahan harus dibuat pada desain filter awal menjadi desain filter yang diinginkan. Spesifikasi yang perlu diubah adalah sebagai berikut:

1. *Response Type*
2. *Design Method*
3. *Magnitude Specifications*
4. *Filter Order*
5. *Frequency Specifications*

BAB 3

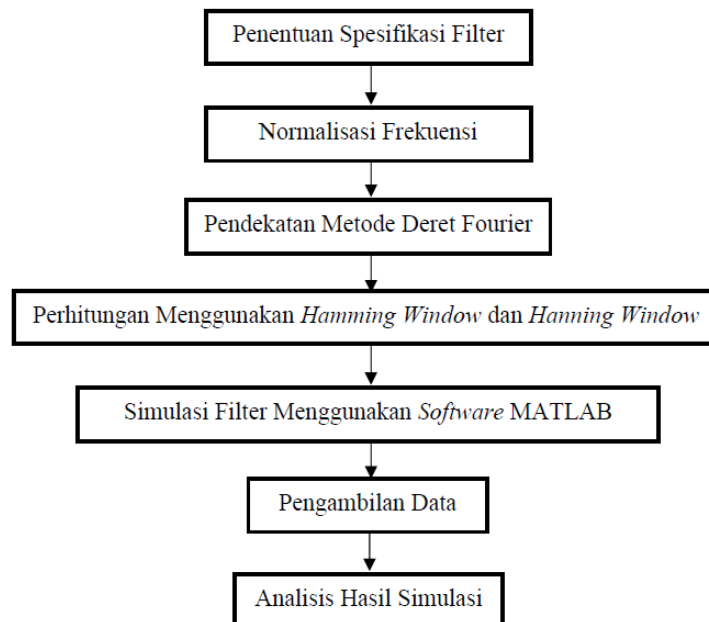
METODE PENELITIAN

Pembuatan filter FIR dengan pendekatan fungsi *window* memerlukan pengujian secara terus menerus hingga diperoleh orde filter yang memenuhi spesifikasi, oleh karena itu pada penelitian ini terdapat 3 filter dengan orde yang berbeda yaitu orde 20, orde 50, dan orde 100.

Input yang diperlukan untuk filter bandpass digital FIR adalah nilai frekuensi sampling. Nilai tersebut diperoleh dari proses sampling pada sinyal suara analog detak jantung janin yang memiliki frekuensi 2 Hz – 3 Hz. Nilai frekuensi sampling harus setidaknya dua kali frekuensi informasi untuk beroperasi pada sistem pemrosesan sinyal digital yang dinyatakan dalam Persamaan. 14. Sehingga frekuensi sampling harus lebih besar dari 6 Hz.

3.1. Blok Proses Perancangan

Sebelum membuat perancangan, blok proses perancangan dibuat terlebih dahulu untuk menjelaskan proses perancangan *bandpass* filter digital FIR pada *fetal doppler*. Gambar 3.1 adalah blok proses perancangan *bandpass* filter digital FIR:



Gambar 3.1 Blok Perancangan Desain Bandpass Filter Digital FIR

Pada Gambar 3.1 terlihat proses perancangan filter dimulai dengan penentuan spesifikasi yang sesuai dengan kebutuhan kerja yang diinginkan. Suara detak jantung janin yang ingin didengar memiliki frekuensi 2 Hz – 3 Hz, maka dari itu digunakanlah bandpass filter yang akan melewati sinyal pada rentang frekuensi tertentu dan meredam frekuensi diluar rentang tersebut.

Input yang diperlukan pada bandpass filter digital FIR adalah nilai frekuensi sampling. Nilai ini didapatkan dari proses sampling pada sinyal suara analog dari detak jantung janin yang memiliki frekuensi 2 Hz – 3 Hz. Nilai frekuensi sampling minimal harus dua kali lebih besar dari frekuensi informasi untuk dapat beroperasi pada sistem pemrosesan sinyal digital, hal ini sesuai dengan teorema sampling sehingga frekuensi sampling dapat dihitung menggunakan Persamaan 2.14.

Frekuensi sampling minimal untuk dapat memenuhi spesifikasi adalah lebih dari 6 Hz, karenanya frekuensi sampling yang digunakan pada penelitian ini adalah 10 Hz. Pembuatan filter FIR menggunakan pendekatan fungsi *window* memerlukan uji coba terus menerus sampai

didapatkan orde filter yang memenuhi spesifikasi, oleh karena itu, pada penelitian ini terdapat 3 buah filter dengan orde berbeda yaitu orde 20, orde 50, dan orde 100. Tahap selanjutnya dilakukan normalisasi frekuensi berdasarkan spesifikasi filter yang telah didapat, setelah itu dilakukan perhitungan menggunakan pendekatan Deret Fourier untuk mencari koefisien (C_m), karena filter dengan orde terbesar yang digunakan adalah orde 100 maka respons impuls dibatasi sebanyak 100 delay, sehingga perhitungan dilakukan mulai dari $m = 0$ sampai $m = 50$. Setelah itu barulah dilakukan perhitungan menggunakan pendekatan fungsi *Hamming window* dan *Hanning window*. Setelah semua koefisien didapatkan, kemudian dilakukan pengkodean pada *software* MATLAB sesuai dengan hasil perhitungan yang telah didapat, lalu disimulasikan. Hasil simulasi kemudian dibandingkan antara metode *Hamming window* dan *Hanning* dengan 3 orde berbeda untuk mencari mana yang dapat menghasilkan sinyal *output* yang terbaik lalu dianalisis.

3.2. Spesifikasi Perancangan Filter Bandpass Digital FIR

Spesifikasi yang diperlukan untuk merancang filter bandpass digital FIR adalah sebagai berikut:

- $A_d(f) = 1$ for $2\text{Hz} \leq f \leq 3\text{Hz}$
 $= 0$ untuk daerah lain pada kisaran $0 \leq f \leq f_o$
- Frekuensi Sampling = 10 Hz
- Respons Impuls dibatasi 100 *delays*
- Menggunakan *Hamming Window* dan *Hanning Window*

3.3 Perhitungan Metode Deret Fourier

Perhitungan *banpass* filter digital FIR dilakukan sesuai dengan spesifikasi filter yang telah didapat diatas, pertama dilakukan normalisasi frekuensi dan kemudian dilakukan perhitungan menggunakan pendekatan Deret Fourier.

$$f_s = 10 \text{ Hz}$$

$$f_o = \frac{f_s}{2} = \frac{10}{2} = 5 \text{ Hz}$$

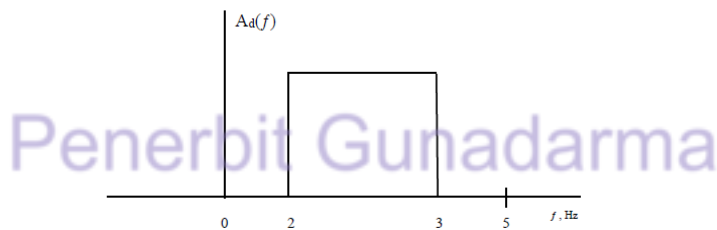
$$v = \frac{f}{f_0} = \frac{f}{5}$$

$$2 \text{ Hz} \rightarrow \frac{2}{5} = 0,4$$

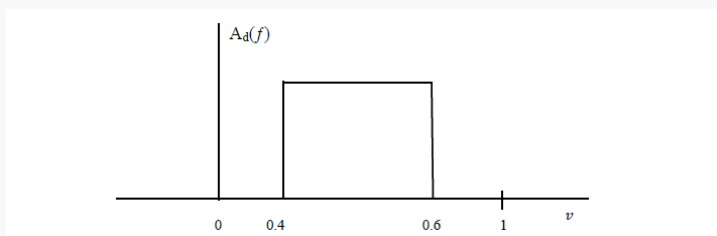
$$3 \text{ Hz} \rightarrow \frac{3}{5} = 0,6$$

$$5 \text{ Hz} \rightarrow \frac{5}{5} = 1$$

Gambar 3.2 menunjukkan skala Frekuensi sebenarnya dari Respons Amplitudo yang diinginkan dan Gambar 3.3 menunjukkan penormalan skala frekuensi dari Respons Amplitudo yang diinginkan.



Gambar 3.2 Skala Frekuensi Sebenarnya dari Respons Amplitudo yang Diinginkan



Gambar 3.3 Penormalan Skala Frekuensi dari Respons Amplitudo yang Diinginkan

Perhitungan C_m dilakukan dengan menggunakan Persamaan 2.5.

3.4. Perhitungan Metode Hamming *Window* dan Hanning *Window*

Dari hasil perhitungan C_m kemudian dilakukan perhitungan untuk a_m yaitu koefisien untuk fungsi *window*. Untuk Hamming *Window* dipergunakan Persamaan 2.12 , Persamaan 2.8, dan Persamaan 2.11. Dan untuk Hanning *Window* dipergunakan Persamaan 2.13 , Persamaan 2.8, dan Persamaan 2.11.

Berdasarkan perhitungan tersebut, dihasilkan nilai koefisien filter digital FIR orde 20, 50, dan 100 yang dapat dilihat pada Tabel 3.1, Tabel 3.2, Tabel 3.3, Tabel 3.4, Tabel 3.5, dan Tabel 3.6 berikut ini.

Tabel 3.1. Koefisien Filter Digital FIR Orde 20 Hamming *Window*

FIR Digital Filter Coefficient Order 20		Hamming Window
a_0	a_{20}	0
a_1	a_{19}	0
a_2	a_{18}	0
a_3	a_{17}	-0.04014
a_4	a_{16}	0
a_5	a_{15}	0.103278
a_6	a_{14}	0
a_7	a_{13}	-0.171067
a_8	a_{12}	0
a_9	a_{11}	0
a_{10}		0.2

Tabel 3.2. Koefisien Filter Digital FIR Orde 20 Hanning *Window*

FIR Digital Filter Coefficient Order 20		Hanning Window
a_0	a_{20}	0
a_1	a_{19}	0
a_2	a_{18}	0
a_3	a_{17}	-0.03486
a_4	a_{16}	0
a_5	a_{15}	0.09909

α_6	α_{14}	0
α_7	α_{13}	-0.16923
α_8	α_{12}	0
α_9	α_{11}	0
α_{10}		0.2

Tabel 3.3. Koefisien Filter Digital FIR Orde 50 Hamming *Window*

FIR Digital Filter Coefficient Order 50		Hamming Window
α_0	α_{50}	0
α_1	α_{49}	0.00211
α_2	α_{48}	0
α_3	α_{47}	-0.00191
α_4	α_{46}	0
α_5	α_{45}	0
α_6	α_{44}	0
α_7	α_{43}	0.00513
α_8	α_{42}	0
α_9	α_{41}	-0.01301
α_{10}	α_{40}	0
α_{11}	α_{39}	0.01960
α_{12}	α_{38}	0
α_{13}	α_{37}	-0.001775
α_{14}	α_{36}	0
α_{15}	α_{35}	0
α_{16}	α_{34}	0
α_{17}	α_{33}	0.03681
α_{18}	α_{32}	0
α_{19}	α_{31}	-0.08832
α_{20}	α_{30}	0
α_{21}	α_{29}	0.14279
α_{22}	α_{28}	0
α_{23}	α_{27}	-0.18440
α_{24}	α_{26}	0

a_{25}	0.2
----------	-----

Tabel 3.4. Koefisien Filter Digital FIR Orde 50 Hanning *Window*

FIR Digital Filter Coefficient Order 50		Hanning Window
a_0	a_{50}	0
a_1	a_{49}	0.00010
a_2	a_{48}	0
a_3	a_{47}	-0.00060
a_4	a_{46}	0
a_5	a_{45}	0
a_6	a_{44}	0
a_7	a_{43}	0.00377
a_8	a_{42}	0
a_9	a_{41}	-0.01085
a_{10}	a_{40}	0
a_{11}	a_{39}	0.01755
a_{12}	a_{38}	0
a_{13}	a_{37}	-0.01658
a_{14}	a_{36}	0
a_{15}	a_{35}	0
a_{16}	a_{34}	0
a_{17}	a_{33}	0.03594
a_{18}	a_{32}	0
a_{19}	a_{31}	-0.08723
a_{20}	a_{30}	0
a_{21}	a_{29}	0.14204
a_{22}	a_{28}	0
a_{23}	a_{27}	-0.18416
a_{24}	a_{26}	0
a_{25}		0.2

Tabel 3.5. Koefisien Filter Digital FIR Orde 100 Hamming *Window*

FIR Digital Filter Coefficient Order 100		Hamming Window
α_0	α_{100}	0
α_1	α_{99}	0
α_2	α_{98}	0.00065
α_3	α_{97}	0
α_4	α_{96}	-0.00125
α_5	α_{95}	0
α_6	α_{94}	0.00155
α_7	α_{93}	0
α_8	α_{92}	-0.00122
α_9	α_{91}	0
α_{10}	α_{90}	0
α_{11}	α_{89}	0
α_{12}	α_{88}	0.00201
α_{13}	α_{87}	0
α_{14}	α_{86}	-0.00412
α_{15}	α_{85}	0
α_{16}	α_{84}	0.00522
α_{17}	α_{83}	0
α_{18}	α_{82}	-0.00403
α_{19}	α_{81}	0
α_{20}	α_{80}	0
α_{21}	α_{79}	0
α_{22}	α_{78}	0.00608
α_{23}	α_{77}	0
α_{24}	α_{76}	-0.01190
α_{25}	α_{75}	0
α_{26}	α_{74}	0.01434
α_{27}	α_{73}	0
α_{28}	α_{72}	-0.01065
α_{29}	α_{71}	0

α_{30}	α_{70}	0
α_{31}	α_{69}	0
α_{32}	α_{68}	0.01531
α_{33}	α_{67}	0
α_{34}	α_{66}	-0.02973
α_{35}	α_{65}	0
α_{36}	α_{64}	0.03599
α_{37}	α_{63}	0
α_{38}	α_{62}	-0.02731
α_{39}	α_{61}	0
α_{40}	α_{60}	0
α_{41}	α_{59}	0
α_{42}	α_{58}	0.04414
α_{43}	α_{57}	0
α_{44}	α_{56}	-0,09764
α_{45}	α_{55}	0
α_{46}	α_{54}	0.14921
α_{47}	α_{53}	0
α_{48}	α_{52}	-0.18642
α_{49}	α_{51}	0
α_{50}		0.2

Tabel 3.6. Koefisien Filter Digital FIR Orde 100 Hanning *Window*

FIR Digital Filter Coefficient Order 100		Hanning Window
α_0	α_{100}	0
α_1	α_{99}	0
α_2	α_{98}	0.00003
α_3	α_{97}	0
α_4	α_{96}	-0.00021
α_5	α_{95}	0
α_6	α_{94}	0.00048
α_7	α_{93}	0

α_8	α_{92}	-0.00055
α_9	α_{91}	0
α_{10}	α_{90}	0
α_{11}	α_{89}	0
α_{12}	α_{88}	0.00133
α_{13}	α_{87}	0
α_{14}	α_{86}	-0.00305
α_{15}	α_{85}	0
α_{16}	α_{84}	0.00413
α_{17}	α_{83}	0
α_{18}	α_{82}	-0.0036
α_{19}	α_{81}	0
α_{20}	α_{80}	0
α_{21}	α_{79}	0
α_{22}	α_{78}	0.00544
α_{23}	α_{77}	0
α_{24}	α_{76}	-0.01092
α_{25}	α_{75}	0
α_{26}	α_{74}	0.01339
α_{27}	α_{73}	0
α_{28}	α_{72}	-0.01009
α_{29}	α_{71}	0
α_{30}	α_{70}	0
α_{31}	α_{69}	0
α_{32}	α_{68}	0.01483
α_{33}	α_{67}	0
α_{34}	α_{66}	-0.02903
α_{35}	α_{65}	0
α_{36}	α_{64}	0.03537
α_{37}	α_{63}	0
α_{38}	α_{62}	-0.02697
α_{39}	α_{61}	0
α_{40}	α_{60}	0
α_{41}	α_{59}	0

α_{42}	α_{58}	0.04391
α_{43}	α_{57}	0
α_{44}	α_{56}	-0.09736
α_{45}	α_{55}	0
α_{46}	α_{54}	0.14902
α_{47}	α_{53}	0
α_{48}	α_{52}	-0.18636
α_{49}	α_{51}	0
α_{50}		0.2

Penerbit Gunadarma

BAB 4

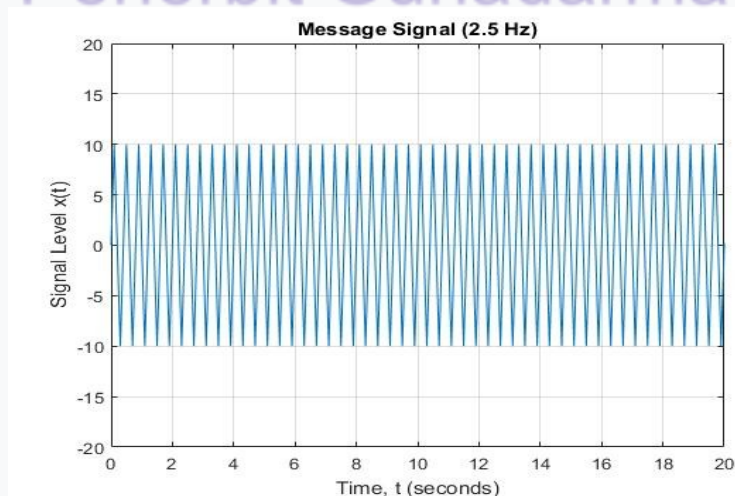
SIMULASI DAN ANALISA

Simulasi dilakukan dengan menggunakan spesifikasi filter dan hasil perhitungan filter bandpass FIR menggunakan pendekatan fungsi *Hamming Window* dan *Hanning Window*.

Persamaan dan koefisien yang telah didapatkan selanjutnya dimasukkan ke dalam script pada MATLAB kemudian disimulasikan untuk melihat hasilnya kemudian dianalisa.

4.1. Membuat Sinyal Informasi dan Sinyal *Noise*

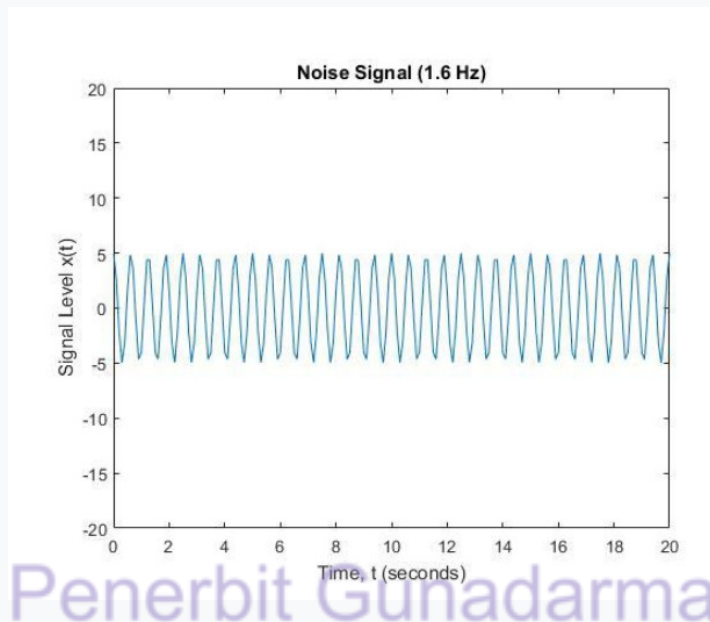
Proses pertama dalam simulasi adalah pembuatan sinyal informasi yang merepresentasikan suara detak jantung janin dalam kandungan yang memiliki frekuensi 2,5 Hz seperti pada Gambar 4.1. Kemudian ditambahkan sinyal *noise*. Penambahan sinyal *noise* sebesar 1,6 Hz seperti pada Gambar 4.2. Penambahan sinyal *noise* seperti pada Gambar 4.3.



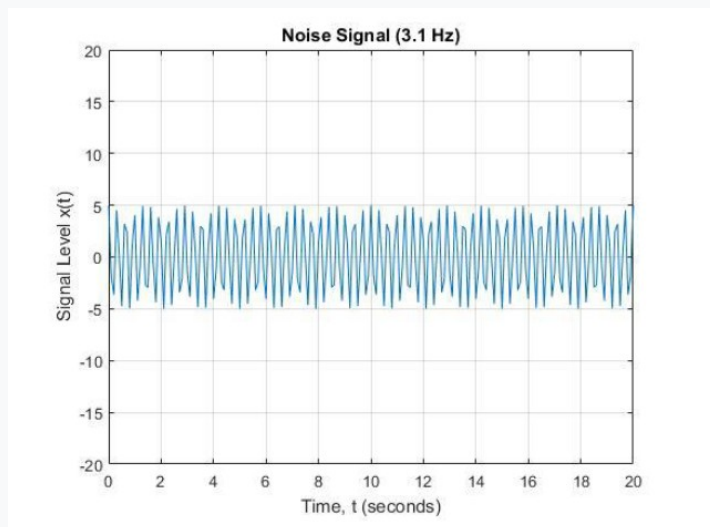
Gambar 4.1. Sinyal Informasi 2.5 Hz

Proses selanjutnya adalah pembuatan sinyal *noise* yang mewakili suara lain pada kandungan. Pada penelitian ini digunakan 10

sinyal *noise* berfrekuensi diatas 3 Hz dan 10 sinyal *noise* dibawah 2 Hz dengan selisih masing-masing *noise* adalah 0,1 Hz. Salah satu hasil simulasi dapat dilihat pada Gambar 4.2 dan Gambar 4.3.

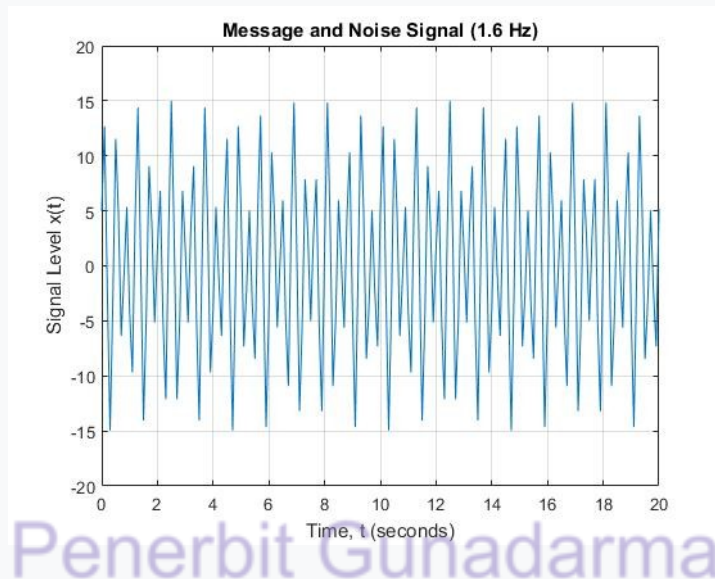


Gambar 4.2. Sinyal Noise 1.6 Hz

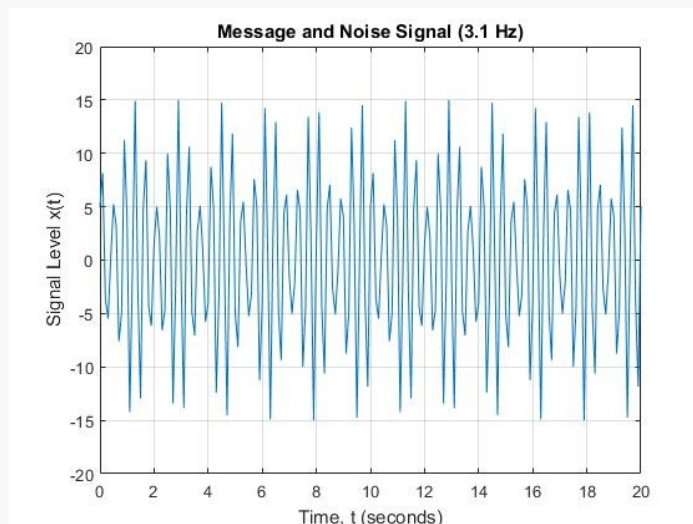


Gambar 4.3. Sinyal Noise 3.1 Hz

Kedua sinyal *noise* ini kemudian ditambahkan pada sinyal informasi sehingga menjadi sinyal '*input*' analog. Salah satu hasil simulasi dapat dilihat pada gambar 4.4 dan gambar 4.5.



Gambar 4.4. Sinyal Informasi 2.5 Hz dan Sinyal *Noise* 1.6 Hz



Gambar 4.5. Sinyal Informasi 2.5 Hz dan Sinyal *Noise* 3.1 Hz

4.2. Simulasi Filter *Bandpass* Digital FIR Orde 20

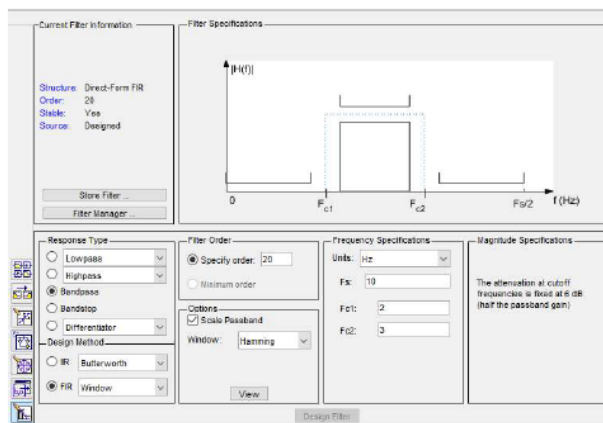
Simulasi filter bandpass digital FIR Order 20 menggunakan *Filter Designer* yang merupakan bagian dari perangkat lunak MATLAB. Filter akan disimulasikan dengan 2 metode yang berbeda yaitu metode *Hamming Window* dan metode *Hanning Window* untuk melihat metode mana yang menghasilkan sinyal keluaran terbaik

4.2.1. Simulasi Filter *Bandpass* Digital FIR Orde 20 dengan Metode *Hamming Window*

Spesifikasi filter yang dibutuhkan adalah sebagai berikut:

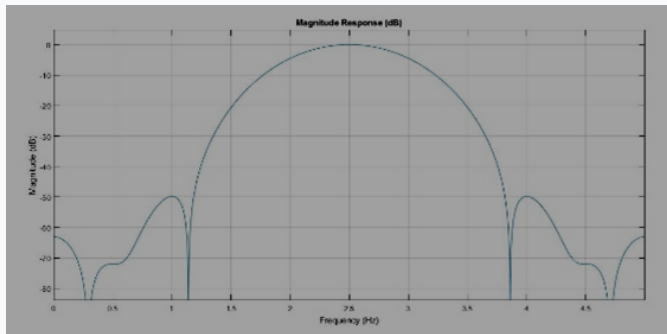
- Metode Desain : FIR *Window*
- Tipe Respon : Bandpass
- Orde Filter : 20
- Metode : *Hamming Window*
- Spesifikasi Frekuensi : F_s (10 Hz), F_{c1} (2 Hz), F_{c2} (3 Hz)

Spesifikasi tersebut kemudian dimasukan pada *Filter Designer* seperti pada Gambar 4.6.



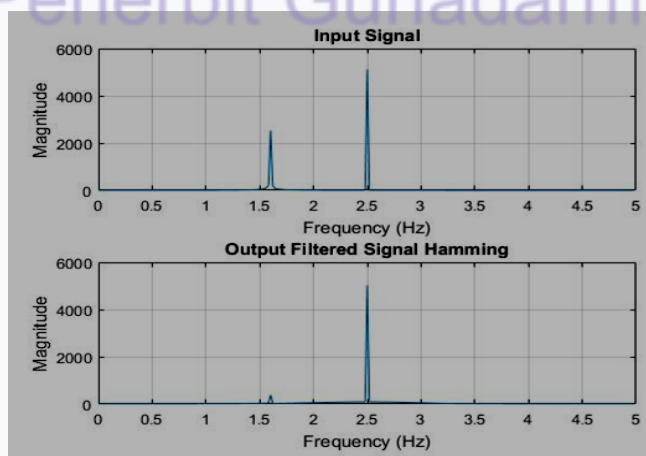
Gambar 4.6. Simulasi *Bandpass* Filter Digital FIR orde 20 dengan Metode *Hamming Window*

Menggunakan *Filter Designer* kemudian didapatkan *magnitude respons* dari *Bandpass Filter Digital FIR* orde 20 menggunakan metode *Hamming Window* yang dapat dilihat pada Gambar 4.7.

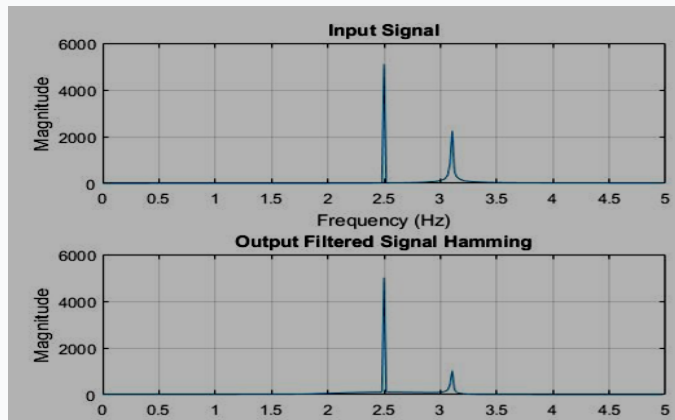


Gambar 4.7 Respons Magnitudo Filter *Bandpass* Digital Orde 20 menggunakan *Hamming Window*

Hasil simulasi pada domain frekuensi dapat dilihat pada Gambar 4.8 dan Gambar 4.9



Gambar 4.8 Output Domain Frekuensi Filter Orde 20 dengan Noise 1.6 Hz megggunakan *Hamming Window*



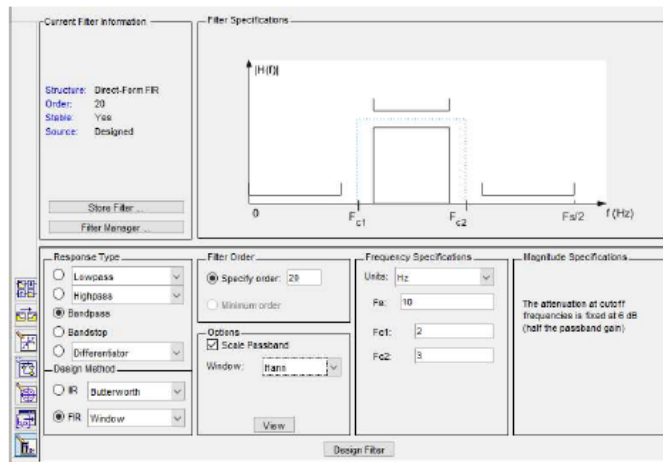
Gambar 4.9 Output Domain Frekuensi Filter Orde 20 dengan Noise 3.1 Hz meggunakan Hamming *Window*

4.2.2. Simulasi Filter *Bandpass* Dgital FIR Orde 20 dengan Metode Hanning *Window*

Spesifikasi filter yang dibutuhkan adalah sebagai berikut:

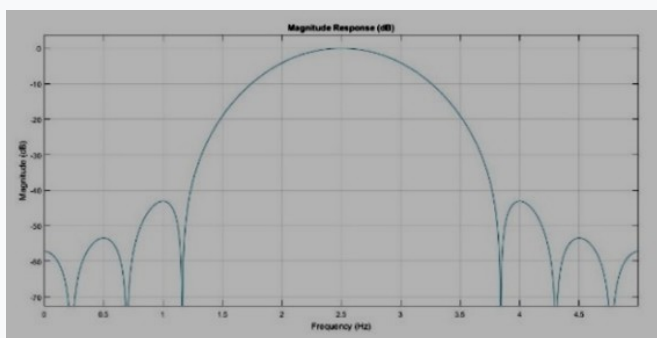
- Metode Desain : FIR *Window*
- Tipe Respon : Bandpass
- Orde Filter : 20
- Metode : Hanning *Window*
- Spesifikasi Frekuensi : F_s (10 Hz), F_{c1} (2 Hz), F_{c2} (3 Hz)

Spesifikasi tersebut kemudian dimasukan pada *Filter Designer* seperti pada Gambar 4.10.



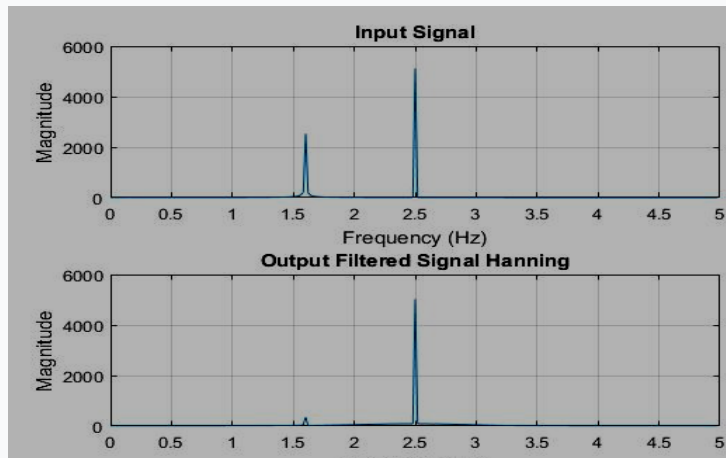
Gambar 4.10. Simulasi *Bandpass* Filter Digital FIR orde 20 dengan Metode *Hanning Window*

Menggunakan *Filter Designer* kemudian didapatkan *magnitude respons* dari *Bandpass* Filter Digital FIR orde 20 menggunakan metode *Hanning Window* yang dapat dilihat pada Gambar 4.11.

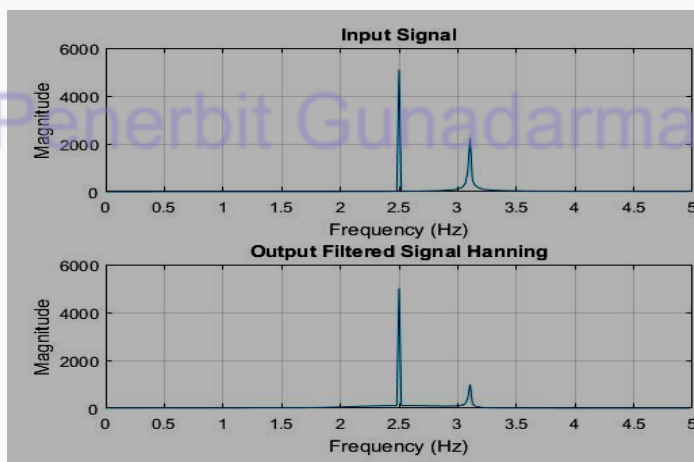


Gambar 4.11 Respons Magnitudo Filter *Bandpass* Digital Orde 20 menggunakan *Hanning Window*

Hasil simulasi pada domain frekuensi dapat dilihat pada Gambar 4.12 dan Gambar 4.13.



Gambar 4.12 Output Domain Frekuensi Filter Orde 20 dengan Noise 1.6 Hz meggunakan Hanning *Window*



Gambar 4.13 Output Domain Frekuensi Filter Orde 20 dengan Noise 3.1 Hz meggunakan Hanning *Window*

Dari Gambar 4.8 dan Gambar 4.12 terlihat bahwa Hanning *Window* sedikit lebih baik daripada Hamming *Window*.

Dari Gambar 4.9 dan gambar 4.13 terlihat bahwa Hanning *Window* sedikit lebih baik daripada Hamming *Window*.

Noise pada 1.6 Hz dan 3.1 Hz belum hilang secara sempurna.

4.3. Simulasi Filter *Bandpass* Digital FIR Orde 50

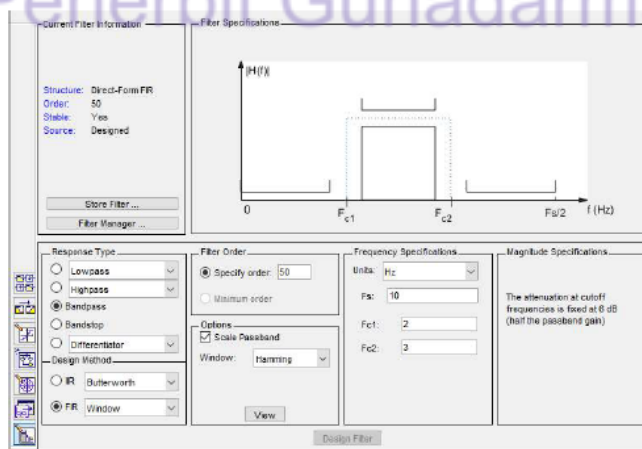
Filter bandpass digital FIR orde ke-50 disimulasikan menggunakan *Filter Designer* yang sama seperti sebelumnya menggunakan 2 metode yang berbeda, *Hamming Window* dan *Hanning Window*.

4.3.1. Simulasi Filter *Bandpass* Digital FIR Orde 50 dengan Metode *Hamming Window*

Spesifikasi filter yang dibutuhkan adalah sebagai berikut:

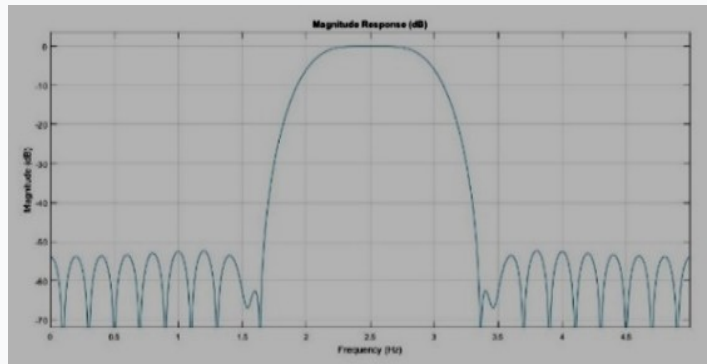
- Metode Desain : *FIR Window*
- Tipe Respon : *Bandpass*
- Orde Filter : 50
- Metode : *Hamming Window*
- Spesifikasi Frekuensi : F_s (10 Hz), F_{c1} (2 Hz), F_{c2} (3 Hz)

Spesifikasi tersebut kemudian dimasukan pada *Filter Designer* seperti pada Gambar 4.14.



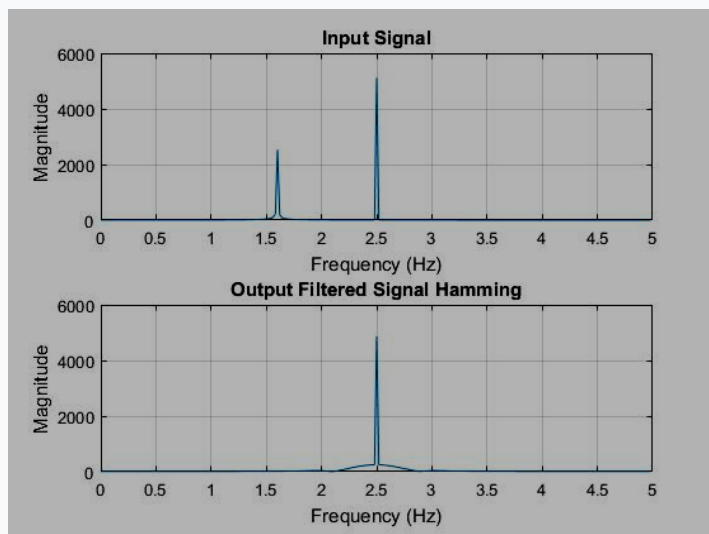
Gambar 4.14. Simulasi *Bandpass* Filter Digital FIR orde 50 dengan Metode *Hamming Window*

Menggunakan Filter *Designer* kemudian didapatkan *magnitude respons* dari *Bandpass Filter Digital FIR* orde 50 menggunakan metode *Hamming Window* yang dapat dilihat pada Gambar 4.15.

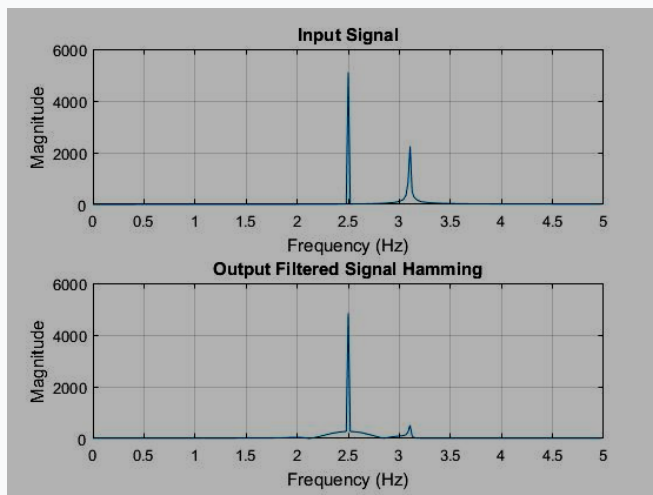


Gambar 4.15 Respons Magnitudo Filter *Bandpass* Digital Orde 50 menggunakan *Hamming Window*

Hasil simulasi pada domain frekuensi dapat dilihat pada Gambar 4.16 dan Gambar 4.17



Gambar 4.16 Output Domain Frekuensi Filter Orde 50 dengan Noise 1.6 Hz meggunakan *Hamming Window*



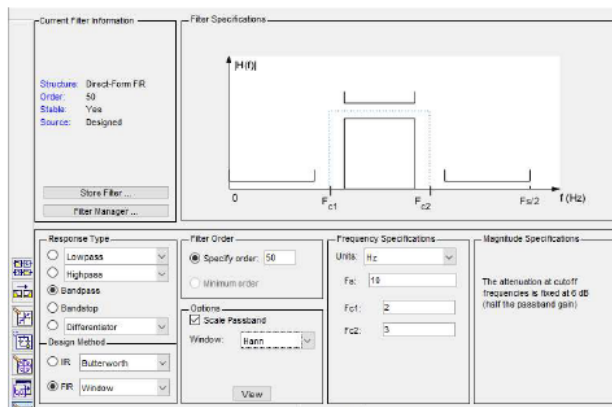
Gambar 4.17 Output Domain Frekuensi Filter Orde 50 dengan Noise 3.1 Hz meggunakan Hamming Window

4.3.2. Simulasi Filter *Bandpass* Dgital FIR Orde 50 dengan Metode Hanning Window

Spesifikasi filter yang dibutuhkan adalah sebagai berikut:

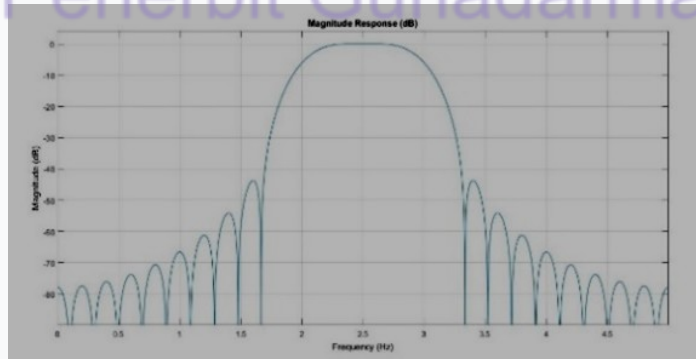
- Metode Desain : FIR *Window*
- Tipe Respon : Bandpass
- Orde Filter : 50
- Metode : Hanning *Window*
- Spesifikasi Frekuensi : F_s (10 Hz), F_{c1} (2 Hz), F_{c2} (3 Hz)

Spesifikasi tersebut kemudian dimasukkan pada *Filter Designer* seperti pada Gambar 4.18.



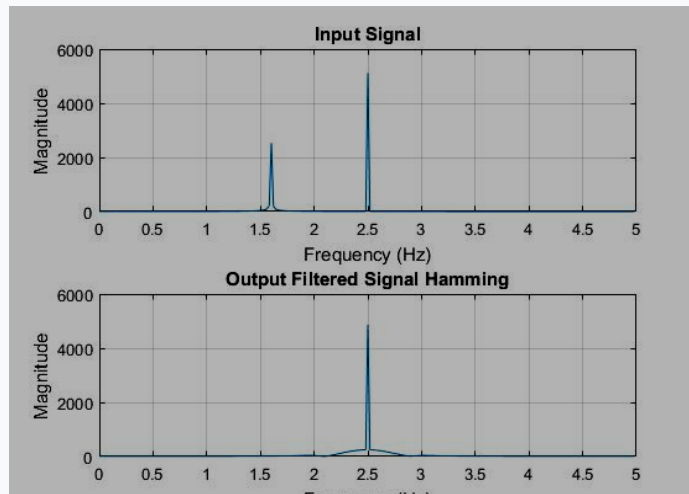
Gambar 4.18. Simulasi *Bandpass* Filter Digital FIR orde 50 dengan Metode Hanning Window

Menggunakan Filter Designer kemudian didapatkan *magnitude respons* dari *Bandpass* Filter Digital FIR orde 50 menggunakan metode *Hanning Window* yang dapat dilihat pada Gambar 4.19.

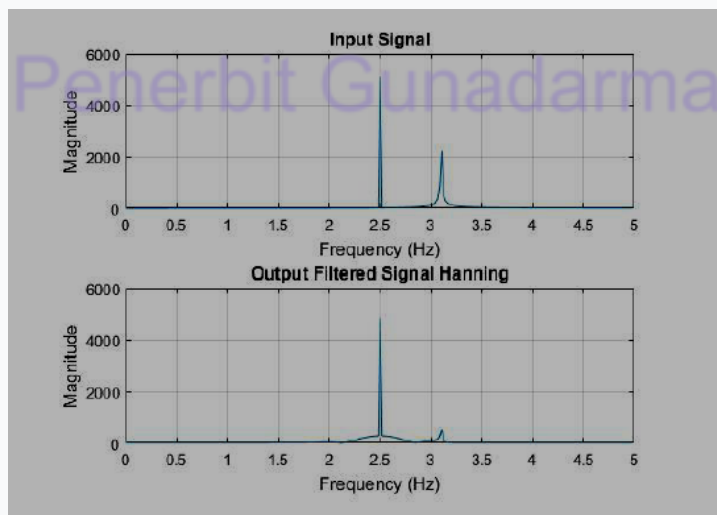


Gambar 4.19 Respons Magnitudo Filter *Bandpass* Digital Orde 50 menggunakan Hanning Window

Hasil simulasi pada domain frekuensi dapat dilihat pada Gambar 4.20 dan Gambar 4.21.



Gambar 4.20 Output Domain Frekuensi Filter Orde 50 dengan Noise 1.6 Hz meggunakan Hanning *Window*



Gambar 4.21 Output Domain Frekuensi Filter Orde 50 dengan Noise 3.1 Hz meggunakan Hanning *Window*

Dari Gambar 4.16 dan Gambar 4.20 terlihat bahwa *noise* pada 1.6 Hz telah teredam dengan sempurna

Dari Gambar 4.17 dan gambar 4.21 terlihat bahwa Hanning *Window* lebih baik dari Hamming *Window*. *Noise* di 3.1 Hz berkurang, tapi masih ada jika menggunakan Hamming *Window*. *Noise* pada 3,1 Hz dihilangkan sempurna jika menggunakan Hanning *Window*..

4.4. Simulasi Filter *Bandpass* Dgital FIR Orde 100

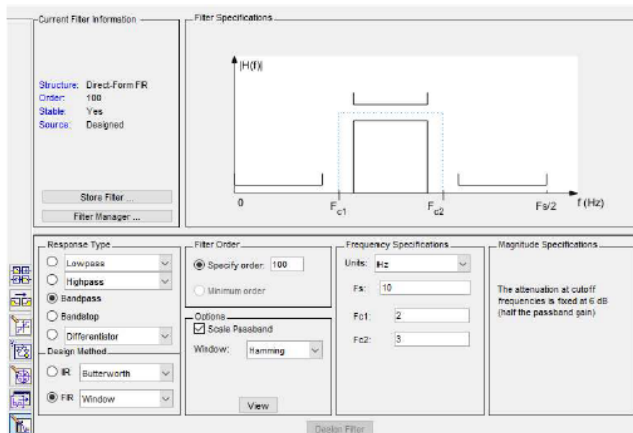
Filter bandpass digital FIR orde 100 disimulasikan menggunakan *Filter Designer* yang sama seperti sebelumnya menggunakan 2 metode yang berbeda yaitu Hamming *Window* dan Hanning *Window*.

4.4.1. Simulasi Filter *Bandpass* Dgital FIR Orde 100 dengan Metode Hamming *Window*

Spesifikasi filter yang dibutuhkan adalah sebagai berikut:

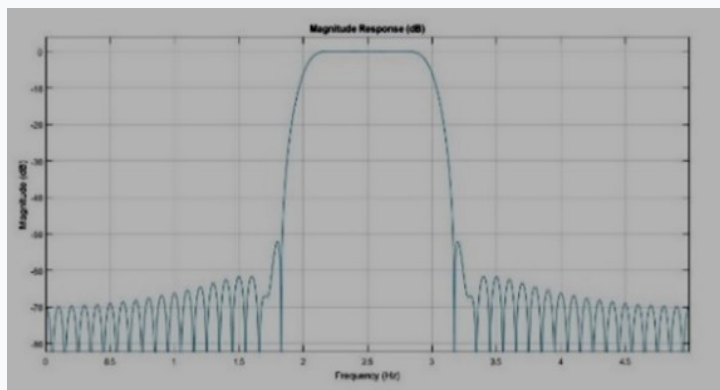
- Metode Desain : FIR *Window*
- Tipe Respon : Bandpass
- Orde Filter : 100
- Metode : Hamming *Window*
- Spesifikasi Frekuensi : F_s (10 Hz), F_{c1} (2 Hz), F_{c2} (3 Hz)

Spesifikasi tersebut kemudian dimasukan pada *Filter Designer* seperti pada Gambar 4.22.



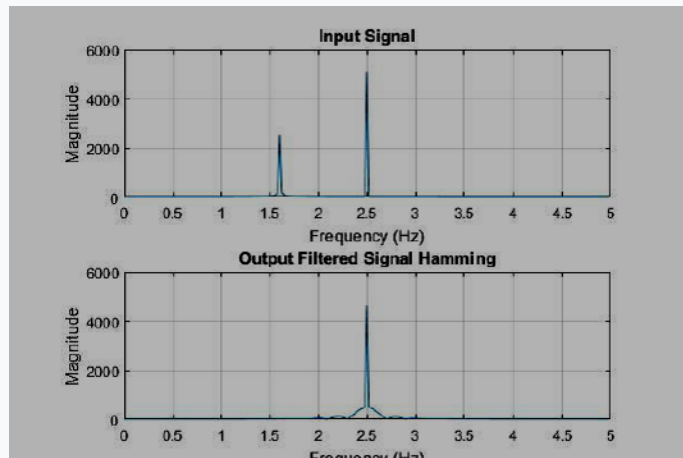
Gambar 4.22. Simulasi *Bandpass* Filter Digital FIR orde 100 dengan Metode Hamming *Window*

Menggunakan Filter *Designer* kemudian didapatkan *magnitude respons* dari *Bandpass* Filter Digital FIR orde 100 menggunakan metode Hamming *Window* yang dapat dilihat pada Gambar 4.23.

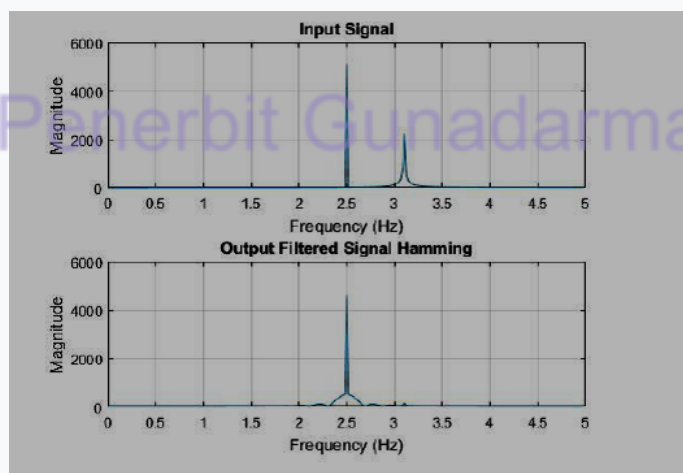


Gambar 4.23 Respons Magnitudo Filter *Bandpass* Digital Orde 100 menggunakan Hamming *Window*

Hasil simulasi pada domain frekuensi dapat dilihat pada Gambar 4.24 dan Gambar 4.25.



Gambar 4.24 Output Domain Frekuensi Filter Orde 100 dengan Noise 1.6 Hz meggunakan Hamming *Window*



Gambar 4.25 Output Domain Frekuensi Filter Orde 100 dengan Noise 3.1 Hz meggunakan Hamming *Window*

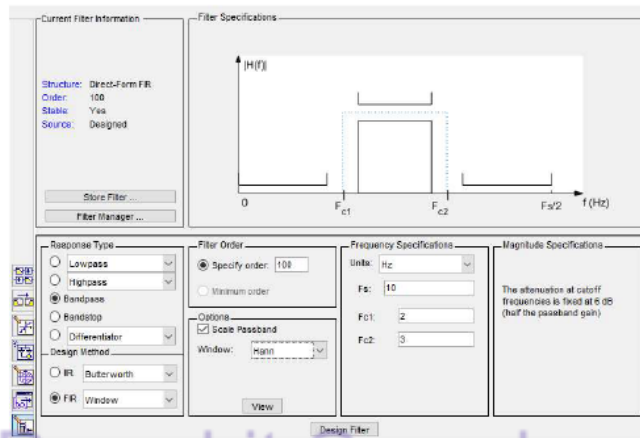
4.4.2. Simulasi Filter *Bandpass* Dgital FIR Orde 100 dengan Metode Hanning *Window*

Spesifikasi filter yang dibutuhkan adalah sebagai berikut:

- Metode Desain : FIR *Window*
- Tipe Respon : Bandpass

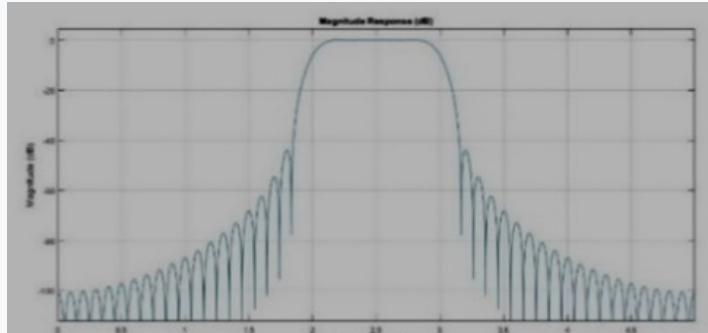
- Orde Filter : 100
- Metode : Hanning *Window*
- Spesifikasi Frekuensi : F_s (10 Hz), F_{c1} (2 Hz), F_{c2} (3 Hz)

Spesifikasi tersebut kemudian dimasukan pada *Filter Designer* seperti pada Gambar 4.26.



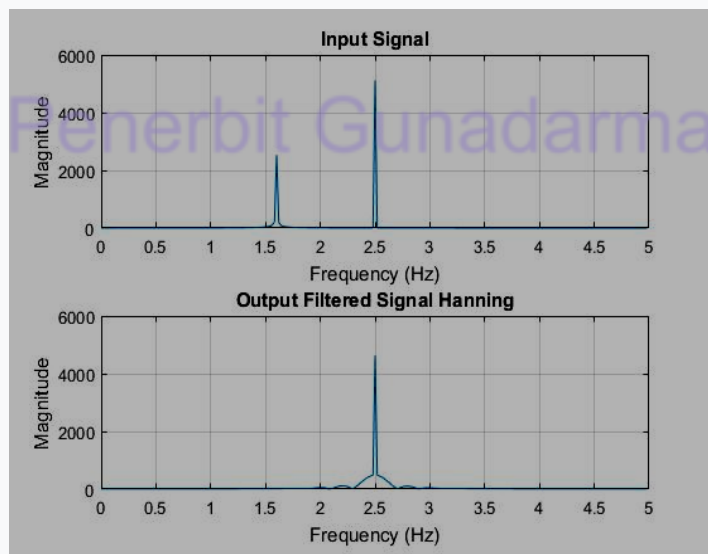
Gambar 4.26. Simulasi *Bandpass* Filter Digital FIR orde 100 dengan Metode Hanning *Window*

Menggunakan *Filter Designer* kemudian didapatkan *magnitude respons* dari *Bandpass* Filter Digital FIR orde 100 menggunakan metode Hanning *Window* yang dapat dilihat pada Gambar 4.27.

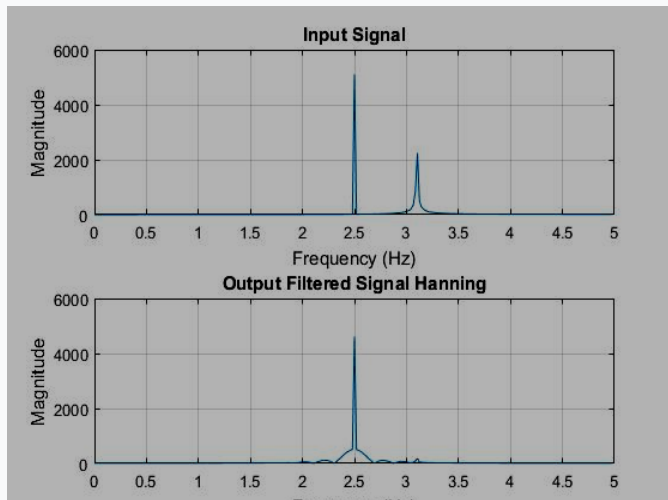


Gambar 4.27 Respons Magnitudo Filter *Bandpass* Digital Orde 100 menggunakan *Hanning Window*

Hasil simulasi pada domain frekuensi dapat dilihat pada Gambar 4.28 dan Gambar 4.29.



Gambar 4.28 Output Domain Frekuensi Filter Orde 100 dengan Noise 1.6 Hz meggunakan *Hanning Window*



Gambar 4.29 Output Domain Frekuensi Filter Orde 100 dengan Noise 3.1 Hz meggunakan Hanning Window

Dari Gambar 4.24 dan Gambar 4.28 terlihat bahwa noise pada 1.6 Hz sudah dihilangkan sempurna dengan menggunakan Hamming Window atau Hanning Window.

Dari Gambar 4.25 dan Gambar 4.29 terlihat bahwa noise pada 3.1 Hz sudah dihilangkan sempurna dengan menggunakan Hamming Window atau Hanning Window.

BAB 5

PENUTUP

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil simulasi filter orde 20, 50, dan 100 dengan menggunakan metode Hamming *Window* dan Hanning *Window*, dapat disimpulkan:

1. Dengan menggunakan Hanning *Window*, untuk menghilangkan noise pada 1.6 Hz dan 3.1 Hz diperlukan orde 50.
2. Dengan menggunakan Hamming *Window*, untuk menghilangkan noise pada 1.6 Hz dan 3.1 Hz diperlukan orde 100.
3. Oleh karena itu filter yang paling sesuai adalah Hanning *Window* orde 50.

5.2. Saran

Dapat dilakukan perancangan Filter dengan menggunakan metode *Window* yang lain.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdulhay,E.W., Oweis, R.J., Alhaddad, A.M., Sublaban, F. N., Radwan, M. A., dan Almasaeed, H. M. (2014). Review Article: Non-Invasive Fetal Heart Rate Monitoring Techniques. *Biomedical Science and Engineering*, 2(3), 53–67. <http://pubs.sciepub.com/bse/2/3/2/>
- Amir, T. 2017. *Pengantar Pemrograman MATLAB*, Jakarta: Elex Media Komputindo.
- Anastasiadis, P., Anninos, P.A., Ludinghausen, M.V., Kotini, A., Galazios, G., dan Limberis, B. (1999). Fetal Magnetocardiogram Recordings and Fourier Spectral Analysis. *Journal of Obstetrics and Gynaecology*, 19(4), 390–393. <https://doi.org/10.1080/01443619964715>
- Avci, K. (2016). Design of FIR Filters using Exponential - Hamming Window Family. *Turkish Journal of Electrical Engineering & Computer Sciences*, 24, 2513–2524. DOI: [10.3906/elk-1312-246](https://doi.org/10.3906/elk-1312-246)
- Chandra, S., Bhowmik, S., Bhaumik, S., dan Malik, S. (2015). A comparative study on Main and Side lobe of frequency response curve for FIR Filter using Frequency Series Expansion Method. *IOSR Journal of Electronics and Communication Engineering (IOSR-JECE)*, 10(2), 79–82. www.iosrjournals.org/iosr-
- Cheveigne, A., dan Nelken, I. (2019). Filters: When, Why, and How (Not) to Use Them. *Neuron*, 102(2), 280-293. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0896627319301746>
- Das,P. dan Karmakar, M. (2013). A New Window Function to Design FIR Filter with an Improved Frequency Response for Suppressing Side-Lobe Attenuation and Study Comparison with the Other Windows. *International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT)*, 2(12), 314-321. <https://www.semanticscholar.org/paper/A-New-Window-Function-to-Design-FIR-Filter-with-an-Das-Karmakar/4c2bba3f1f81b935f54f0dd8d951fdd65a987f7a>

- Dogra, S. dan Sharma, N. (2014). Comparison of Different Techniques to Design of Filter. *International Journal of Computer Applications*, 97(1), 25–29. DOI:[10.5120/16972-6823](https://doi.org/10.5120/16972-6823)
- Goyal, D., dan Goel, R. (2015). Review of Low-Pass FIR Filter Design Using Window Method. *International Journal of Advanced Research in Electronics and Communication Engineering (IJARECE)*, 4(7), 1975–1978. <http://ijarece.org/wp-content/uploads/2015/07/IJARECE-VOL-4-ISSUE-7-1975-1978.pdf>
- Hamelmann, P., Mischi, M., Kolen, A.F., van Laar, J.O.E.H., Vullings R., dan Bergmans, J.W.M. (2019). Fetal Heart Rate Monitoring Implemented by Dynamic Adaptation of Transmission Power of a Flexible Ultrasound Transducer Array. *Sensors*, 19(5), 1195-1215. DOI: [10.3390/s19051195](https://doi.org/10.3390/s19051195)
- Hamelmann, P., Vullings, R., Kolen, A.F., Bergmans, J.W.M., van Laar, J.O.E.H., Tortoli, P., dan Mischi, M. (2020). Doppler Ultrasound Technology for Fetal Heart Rate Monitoring: a Review. *IEEE Transactions on Ultrasonics, Ferroelectrics, and Frequency Control*, 67(2), 226–238. DOI: 10.1109/TUFFC.2019.2943626
- Heelan. (2013). Fetal Monitoring: Creating a Culture of Safety with Informed Choice. *The Journal of Perinatal Education*, 22(3), 156–165
DOI: [10.1891/1058-1243.22.3.156](https://doi.org/10.1891/1058-1243.22.3.156)
- Jwo,D.J., Wu, I.H., dan Chang, Y. (2019). Windowing Design and Performance Assessment for Mitigation of Spectrum Leakage. *International Symposium on Global Navigation Satellite System 2018*, 94, 1-8. DOI: [10.1051/e3sconf/20199403001](https://doi.org/10.1051/e3sconf/20199403001)
- Kaur, E.S. dan Kaur, E.S.P. (2015). Design of FIR filter using Hanning window, Hamming Window and Modified Hamming Window. *International Journal of Advanced Research in Computer Engineering & Technology (IJARCET)*, 4(5), 2440–2443. <http://ijarcet.org/wp-content/uploads/IJARCET-VOL-4-ISSUE-5-2440-2443.pdf>
- Kaur, M., dan Kaur, S.P. (2016). FIR Low Pass Filter Designing Using Different Window Functions and their Comparison using

- MATLAB. *International Journal of Advanced Research in Electrical, Electronics and Instrumentation Engineering*, 5(2), 753–758.
https://www.ijareeie.com/upload/2016/february/16_FIR.pdf
- Mmeremikwu, V. O. (2018). Digital Filter Enhancement of Electrocardiographic Signal Using Parzen Window. *World Journal of Innovative Research (WJIR)*, 4(5), 01–04.
media.neliti.com/media/publications/262481-digital-filter-enhancement-of-electrocar-22182aaf.pdf
- Mynuddin, M., Tanjimuddin, M., Rana, M.M., dan Abdullah. (2015). Designing a Low-Pass FIR Digital Filter by Using Hamming Window and Blackman Window Technique. *Science Journal of Circuits, Systems and Signal Processing*, 4(2), 9–13.
<https://www.sciencepublishinggroup.com/journal/paperinfo.aspx?journalid=136&doi=10.11648/j.cssp.20150402.11>
- Narwaria, R. P., Kumar, M. (2018). Comparison of FIR Filter Using Different Window Functions. *International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET)*, 05(10), 634–637.
<https://www.irjet.net/archives/V5/i10/IRJET-V5I10118.pdf>
- Pandey, S., Choudhary, S., dan Rahi, P.K. (2017). Design of Low Pass Fir Filter Using Rectangular, Bartlett and Blackman-Harris Window Techniques. *International Journal of Advanced Research in Computer and Communication Engineering*, 6(3), 434–441. DOI:10.17148/IJARCCE.2017.63100
- Patell, R., Kumar, E.M., Jaiswal, A.K., dan Saxena, E.R. (2013). Design Technique of Bandpass FIR filter using Various Window Function. *IOSR Journal of Electronics and Communication Engineering (IOSR-JECE)*, 6(6), 52–57.
www.iosrjournals.org/iosr-jece/papers/Vol6-Issue6/I0665257.pdf
- Persis M.H., 1995. *Dasar-Dasar Keperawatan Maternitas*, Edisi Keenam. Jakarta: EGC.
- Podder, P., Khan, T.Z., Khan, M.H., dan Rahman, M.M. (2014). Comparative Performance Analysis of Hamming, Hanning and

- Blackman Window. *International Journal of Computer Applications*, 96(18), 1-7. DOI:[10.5120/16891-6927](https://doi.org/10.5120/16891-6927)
- Rani, K.R. dan Baskar, R. (2018). FIR Digital Filter Designed by using Hamming and Hanning (Windows) Method. *International Journal of Pure and Applied Mathematics*, 119(18), 156–1576. . <https://acadpubl.eu/hub/2018-119-18/2/128.pdf>
- Seed,A.T., Saber,Z.R., Sana, A.M., dan Hameed, M.A. (2020). Eliminating Unwanted Signals in Sound by using Digital Signal Processing System. *Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science*, 18(2), 829–834. DOI: <http://doi.org/10.11591/ijeecs.v18.i2.pp829-834>
- Singh, T., dan Josan,H.S. (2014). Design of Low Pass Digital FIR Filter Using Cuckoo Search Algorithm. *International Journal of Engineering Research and Applications*, 4(8), 72–77. https://www.academia.edu/8356609/Design_of_Low_Pass_Digital_FIR_Filter_Using_Cuckoo_Search_Algorithm
- Srivastava, S., dan Mehra, E.R. (2014). Design and Analysis of Band Pass FIR Filter using Different Window Techniques. *International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT)*, 3(2), 506–511. <https://www.ijert.org/research/design-and-analysis-of-band-pass-fir-filter-using-different-window-techniques-IJERTV3IS20288.pdf>
- Vaishali, dan Singh, M.K. (2020). Comparative Study of Digital FIR Filter (Using Various Windows) on DSP Processor. *International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET)*, 07(08), 3951-3956. <https://www.irjet.net/archives/V7/i8/IRJET-V7I8680.pdf>
- von Steinburg, S.P., Boulesteix, A.L., Lederer, C., Grunow, S., Schiermeier, S., Hatzmann, W., Schneider, K.T.M., dan Daumer,M. (2013). What is the “normal” fetal heart rate?. *Peer J*, 1(82). <https://peerj.com/articles/82/>
- Zahoor, S., dan Naseem, S. (2017). Design and implementation of an efficient FIR digital filter. *Cogent Engineering*, 4(1). DOI:[10.1080/23311916.2017.1323373](https://doi.org/10.1080/23311916.2017.1323373)

Zhao, J. (2015). Modeling and Simulation of Digital Filter. *4th National Conference on Electrical, Electronics and Computer Engineering (NCEECE 2015)*, Xi'an, China. pp. 1333–1338. <https://www.atlantispress.com/proceedings/nceece-15/25847103>

Penerbit Gunadarma