

PERANCANGAN DAN SIMULASI LOW PASS FINITE IMPULSE RESPONSE DENGAN METODE WINDOWING

Irmawan, S.Si, MT

Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya

ABSTRAK

Filter digital adalah suatu algoritma yang mengolah sinyal masukan digital dan menghasilkan isyarat keluaran digital yang memiliki sifat tertentu sesuai dengan tujuan filter. Filter digital dapat dibagi menjadi dua yaitu Filter Digital IIR (infinite impulse response) dan FIR (finite impulse response). Pembagian ini berdasarkan pada tanggapan impuls filter tersebut. FIR memiliki tanggapan impuls yang panjangnya terbatas, sedangkan IIR tidak terbatas.

Filter yang akan dirancang adalah filter digital low-pass non recursive (FIR) yang mempunyai karakteristik, amplitudo pada pita frekuensi lolos turun sampai -3 dB dari 0 s/d 1000 Hz. Pada frekuensi 3300 Hz diinginkan sinyal diredam minimum 24 dB. Filter tersebut direncanakan bekerja pada frekuensi pencuplikan 10 kHz.

Perancangan Low Pass Filter dengan Teknik Windowing telah berhasil dilakukan. Penentuan jenis window yang dipakai untuk mendapatkan redaman sebesar 24 dB dengan nilai k terkecil adalah window Bartlet. Respon frekuensi filter Low Pass Filter, pada frekuensi cutoff, magnitudo impulse response sebesar 6 dB dan pada frekuensi stop band redamannya sebesar 35 dB.

Kata Kunci : FIR, IIR, amplitudo, frekuensi cutoff, windowing

ABSTRACT

Filter digital is an the algorithm digital signal processing and yield the digital output signal which measure up to selected in line with filter. Filter divisible digital become two that is Filter Digital IIR (infinite impulse response) and FIR (finite impulse response). This division pursuant to impulse response filter. FIR have the is impulse response of limited length, is while IIR not limited.

Filter to be designed is filter digital low-pass the non recursive (FIR) having the characteristic, amplitude at frequency band get away to get down to -3 dB from 0 to 1000 Hz. At frequency of 3300 Hz wanted sinyal weakened by the minimum of 24 dB. Filter the is planned put hand to the sampling frequency 10 kHz.

Design Low Pass Filter with Windowing metode have succeeded to be done. Determination of type window weared to get the damping equal to 24 dB with value k smallest is window Bartlet. Frequency response LPF at frequency cutoff, magnitude impulse response equal to 6 dB and at frequency stop his damping band equal to 35 dB.

Key Words : FIR, IIR, amplitudo, frekuensi cutoff, windowing

I. PENDAHULUAN

Filter digital adalah suatu prosedur matematika/algorithm yang mengolah sinyal masukan digital dan menghasilkan isyarat keluaran digital yang memiliki sifat tertentu sesuai dengan tujuan filter. Filter digital dapat dibagi menjadi dua yaitu Filter Digital IIR (infinite impulse response) dan FIR (finite impulse response). Pembagian ini berdasarkan pada tanggapan impuls filter tersebut. FIR memiliki tanggapan impuls yang panjangnya terbatas, sedangkan IIR tidak terbatas. FIR sering juga disebut sebagai filter nonrekursif dan IIR sebagai filter rekursif. FIR tidak memiliki pole, maka kestabilan dapat dijamin sedangkan IIR memiliki pole-pole sehingga lebih tidak stabil. Pada filter digital orde tinggi, kesalahan akibat pembulatan koefisien filter dapat mengakibatkan ketidakstabilan.

Ada beberapa metode untuk merancang filter digital FIR. Salah satu metode yang sering digunakan adalah metode penjendelaan (windowing). Dalam metode penjendelaan itu sendiri ada beberapa teknik yang tergantung pada jenis jendela yang digunakan. Unjuk kerja metode penjendelaan sangat tergantung pada tipe jendela yang digunakan, suatu hal yang sangat menarik untuk diteliti pengaruh masing-masing jendela terhadap unjuk kerja filter serta untuk mengetahui kelebihan dan kekurangan masing-masing jendela relatif terhadap jendela lainnya.

A. Perumusan masalah

Filter yang akan dirancang adalah filter digital *low-pass non recursive* (FIR) yang mempunyai karakteristik, amplitudo pada pita frekuensi lolos turun sampai -3 dB dari 0 s/d 1000 Hz. Pada frekuensi 3300 Hz diinginkan sinyal diredam minimum 24 dB. Filter tersebut direncanakan bekerja pada frekuensi pencuplikan 10 kHz.

Masalah yang akan diselesaikan dalam pancangan filter digital ini adalah:

- Menentukan persamaan response impuls $h[n]$ dan persamaan response frekuensi $H(e^{j\omega})$ filter digital hasil perencanaan.
- Menggambarkan response magnitudonya.
- Menentukan persamaan fungsi transfer $H(z)$ dan persamaan beda filter digital hasil perencanaan.
- Menggambarkan realisasi rangkaian filter digital tersebut.

B. Tujuan penelitian

- Merancang Low Pass Filter dengan Teknik Windowing
- Memahami tahapan perancangan Low Pass Filter dengan Teknik Windowing dan mengimplementasikannya dalam bentuk program matlab.

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Filter Ideal

Dalam pembicaraan filter ideal ada satu hal yang harus diikuti yaitu bahwa semua sinyal yang memiliki komponen frekuensi dibawah nilai cut-off harus dilewatkan dan semua komponen frekuensi diatas frekuensi cut-off harus direject. Respon impulse pada filter ideal dapat dinyatakan sebagai (Haykin, S., 1991):

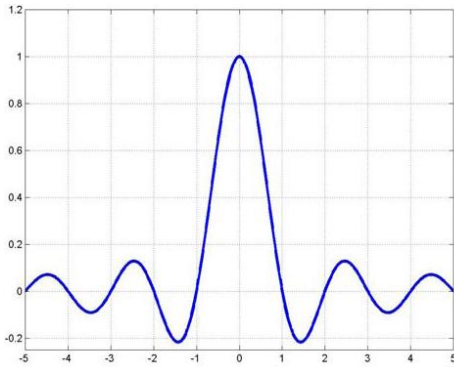
$$h_d(n) = \frac{\sin(\omega_c n)}{\pi n}, \quad -\infty < n < \infty \quad (2.1)$$

Dimana :

ω_c = nilai frekuensi cut off

n = merupakan indek nilai sample waktu diskrit

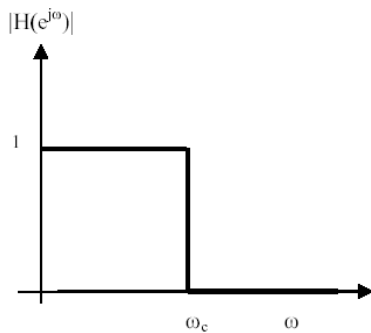
Selanjutnya dikenal sebagai filter infinite impulse response (IIR).



Gambar 2.1. Respon impulse filter ideal

Filter ini memiliki respon frekuensi seperti berikut:

$$H_{dLP}(e^{j\omega}) = \begin{cases} 1, & 0 \leq \omega \leq \omega_c \\ 0, & \omega_c \leq \omega \leq \pi \end{cases} \quad (2.2)$$



Gambar 2.2. Respon frekuensi LPF Ideal

Tetapi filter ideal semacam ini tidak mungkin untuk direalisasikan secara fisis, yang paling mungkin adalah menyusun suatu filter yang memiliki karakteristik mendekati filter ideal tersebut.

Cara untuk memperoleh pendekatan adalah dengan memotong respon impulsenya mulai dari titik nol sampai dengan suatu nilai N tertentu, dengan demikian persamaan (2.1) diatas harus dimodifikasi menjadi:

$$h(n) = \begin{cases} h_d(n), & 0 \leq n \leq N-1 \\ 0, & \text{nyanglain} \end{cases} \quad (2.3)$$

Respon ini merupakan bentuk respon impulse yang selanjutnya dikenal sebagai *finite impulse response (FIR)*.

Dalam beberapa hal sering diperlukan filter dengan fase linear, yang bentuk tanggap frekuensinya dapat ditulis sebagai :

$$H(j\omega) = |H(j\omega)|e^{j\Phi(\omega)} \quad (2.4)$$

dimana $\Phi(\omega) = \alpha\omega$

B. Jenis-Jenis Window

Untuk memperoleh filter kausal dengan fase linear, diperlukan filter FIR, yaitu filter dengan tanggap impuls $h(n)$ yang panjangnya berhingga. Syarat agar filter FIR mempunyai fase linear $h(n)$ harus simetri, sehingga memenuhi

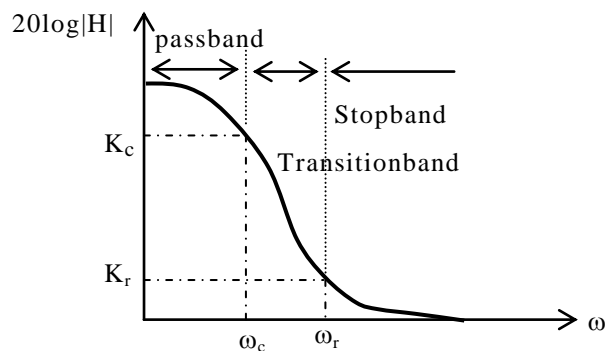
$$h(n) = h(N-n-1) \quad (2.5)$$

Tabel 2.1. Jenis-jenis Window

| Jenis Window | Lebar transisi | Pelemahan stopband minimum |
|--------------|----------------|----------------------------|
| Rectangular | $4\pi/N$ | -21 dB |
| Bartlett | $8\pi/N$ | -25 dB |
| Hanning | $8\pi/N$ | -44 dB |
| Hamming | $8\pi/N$ | -53 dB |
| Blackman | $12\pi/N$ | -74 dB |

III. METODE PENELITIAN

Response magnitudo suatu filter LPF dapat dilihat seperti pada gambar berikut:



Gambar 3.1. Respon frekuensi LPF

Dari gambar di atas terlihat bahwa ada tiga daerah, yaitu daerah passband, daerah transisi, dan daerah stopband.

Prosedur untuk mencari nilai parameter (ω_c , ω_r , orde filter) adalah sebagai berikut:

- 1) Menentukan nilai ω_c dan ω_r

untuk $K_c \geq -3\text{dB}$

$$\omega_c = 2 \times \pi \times f_c \times T_{\text{sampling}}$$

Untuk $K_r \leq -24\text{ dB}$

$$\omega_r = 2 \times \pi \times f_r \times T_{\text{sampling}}$$

- 2) Penentuan Window

Pemilihan jenis window yang digunakan dapat dilakukan dengan memperhatikan tabel berikut:

Tabel 3.1. Jenis-jenis window

| Jenis Window | Lebar transisi | Pelemahan stopband minimum |
|--------------|----------------|----------------------------|
| Rectangular | $4\pi/N$ | -21 dB |
| Bartlett | $8\pi/N$ | -25 dB |
| Hanning | $8\pi/N$ | -44 dB |
| Hamming | $8\pi/N$ | -53 dB |
| Blackman | $12\pi/N$ | -74 dB |
| Keiser | variabel | - |

Dari tabel di atas untuk mendapatkan redaman sebesar -24 dB atau lebih pada daerah stop band, maka dapat digunakan window Bartlett, Hanning, Hamming, Blackman atau Kaiser. Dalam hal ini dipilih window dengan harga k yang terkecil.

- 3) Penentuan orde filter

Orde filter N , dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan:

$$N \geq k \times 2\pi / (\omega_2 - \omega_1)$$

Dimana dalam hal ini ω_2 dan ω_1 dicari dari pendekatan titik-titik pada pita peralihan (transition band) sebagai berikut :

$$\omega_1 = 0,2\pi \text{ dan } \omega_2 = 0,66\pi$$

Dengan harga $k = 4$, dari window Bartlett, maka harga N dapat dicari :

$$N \geq \frac{k \cdot 2\pi}{(\omega_2 - \omega_1)}$$

Nilai pergeseran phase α adalah :

$$\alpha = \frac{N - 1}{2}$$

- 4) Menyelesaikan persamaan Impuls response $h(n)$ dan respons frekuensi $H(e^{j\omega})$

Impuls respons $h(n)$:

$$h(n) = h_d(n) \cdot w(n) = \frac{\sin[\omega_c(n - \alpha)]}{\pi[n - \alpha]} \cdot w(n)$$

dimana w adalah window yang akan dipilih.

Persamaan respons frekuensi :

$$H(e^{j\omega}) = \sum_{n=0}^N h(n) \cdot e^{-j\omega n}$$

- 5) Menggambar response magnitudo

Dengan menggunakan program MATLAB, grafik Response frekuensi : $|H(e^{j\omega})|$ sebagai fungsi ω dapat digambar.

- 6) Menyelesaikan persamaan fungsi transfer dan persamaan beda

Persamaan fungsi transfer :

$$H(z) = \sum_{n=0}^N h(n) \cdot z^{-n}$$

Persamaan beda :

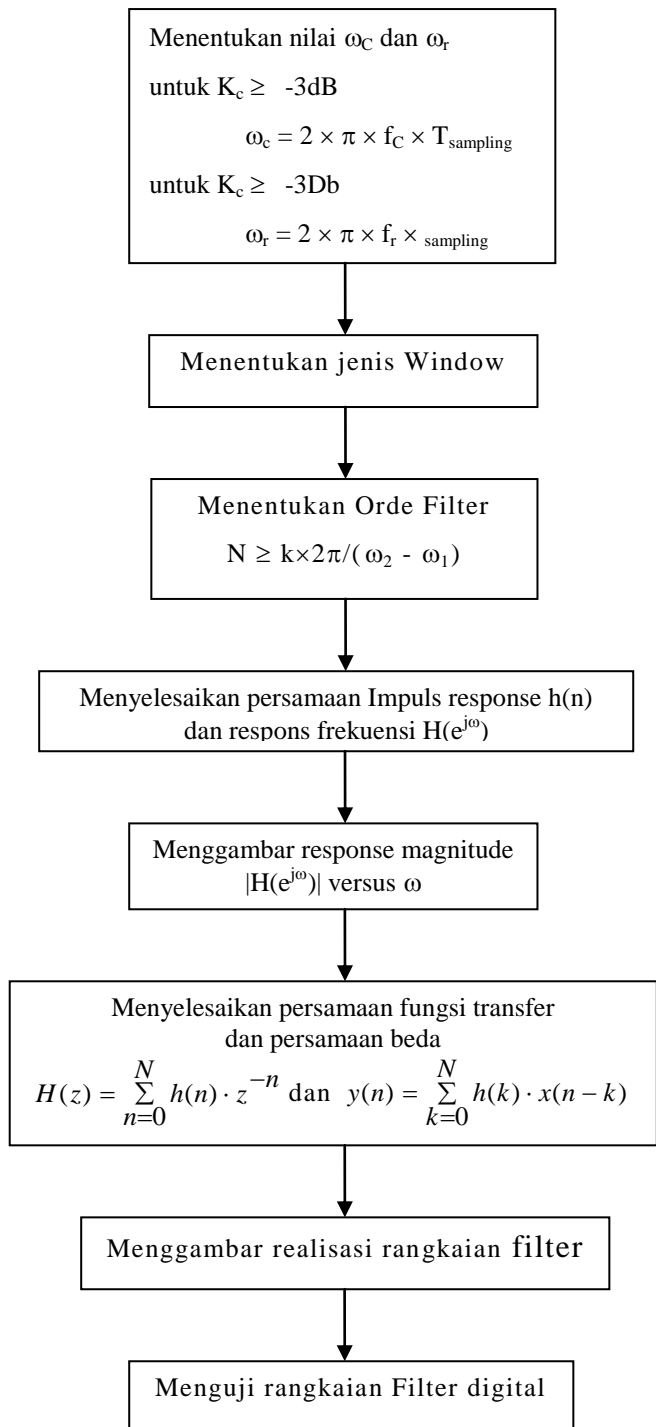
$$y(n) = \sum_{k=0}^N h(k) \cdot x(n-k)$$

7) Menggambar realisasi rangkaian filter
Ditentukan dari penyelesaian persamaan bedanya.

8) Menguji rangkaian Filter digital
Menguji rangkaian Filter digital yang dibuat dengan sinyal input berupa sinyal sinusoidal dengan komponen frekuensi 500 Hz, 4500 Hz dan dinyatakan sebagai berikut:

$$x(t) = \sin(2\pi \cdot 500 t) + \sin(2\pi \cdot 4500 t)$$

Sinyal tersebut disampling dengan frekuensi sampling, $F_s = 10$ KHz.



Gambar 3.2. Diagram alir rancangan penelitian

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Menentukan dan Menghitung Parameter Filter FIR

1) Menentukan nilai ω_c dan ω_r

untuk $K_c \geq -3\text{dB}$

$$\omega_c = 2 \times \pi \times f_c \times T_{\text{sampling}} = 2 \times \pi \times 1000 \times 10^{-4} \\ = 0,2 \pi \text{ rad.}$$

Untuk $K_r \leq -24 \text{ dB}$

$$\omega_r = 2 \times \pi \times f_r \times T_{\text{sampling}} = 2 \times \pi \times 3300 \times 10^{-4} \\ = 0,66 \pi \text{ rad}$$

2) Penentuan Jenis Window

Pemilihan jenis window yang digunakan dapat dilakukan dengan memperhatikan tabel berikut:

Tabel 4.1 Jenis-jenis Window

| Jenis Window | Lebar transisi | Pelemahan stoband minimum |
|--------------|----------------|---------------------------|
| Rectangular | $4\pi/N$ | -12 dB |
| Bartlett | $8\pi/N$ | -25 dB |
| Hanning | $8\pi/N$ | -44 dB |
| Hamming | $8\pi/N$ | -53 dB |
| Blackman | $12\pi/N$ | -74 dB |
| Keiser | variabel | - |

Dari tabel di atas untuk mendapatkan redaman sebesar -24 dB atau lebih pada daerah stop band, maka dapat digunakan window Bartlett, Hanning, Hamming, Blackman atau Kaiser. Dalam hal ini dipilih window dengan harga k yang terkecil, yaitu window Bartlett ($k = 4$).

3) Penentuan orde filter

Orde filter, N , dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan:

$$N \geq k \times 2\pi / (\omega_2 - \omega_1)$$

Dimana dalam hal ini ω_2 dan ω_1 dicari dari pendekatan titik-titik pada pita peralihan (transition band) sebagai berikut :

$$\omega_1 = 0,2 \pi \text{ dan } \omega_2 = 0,66 \pi$$

Dengan harga $k = 4$, dari window Bartlett, maka harga N dapat dicari :

$$N \geq \frac{k \cdot 2\pi}{(\omega_2 - \omega_1)} = \frac{4 \cdot 2\pi}{0,66\pi - 0,2\pi} = \frac{8\pi}{0,46\pi} = 17,3$$

Untuk mendapatkan delay integer bilangan ganjil berikutnya, maka dipilih nilai :

$$N = 19$$

Nilai pergeseran phase α adalah :

$$\alpha = \frac{N - 1}{2} = \frac{19 - 1}{2} = 9$$

4) Impuls response $h(n)$ dan persamaan respons frekuensi $H(e^{j\omega})$

Impuls respons $h(n)$:

$$h(n) = h_d(n) \cdot w_B(n) = \frac{\sin[\omega_c(n - \alpha)]}{\pi[n - \alpha]} \cdot w_B(n) \\ = \frac{\sin[\omega_c(n - 9)]}{\pi[n - 9]} \cdot w_B(n)$$

dimana w_B adalah window Bartlett yang memiliki persamaan sebagai berikut:

$$w_B(n) = \begin{cases} \frac{n}{\alpha} & \text{untuk } 0 \leq n \leq \alpha \\ 2 - \frac{n}{\alpha} & \text{untuk } \alpha \leq n \leq 2\alpha \\ 0 & \text{untuk yang lain} \end{cases} \text{ atau}$$

$$w_B(n) = \begin{cases} \frac{n}{9} & \text{untuk } 0 \leq n \leq 9 \\ 2 - \frac{n}{9} & \text{untuk } 9 \leq n \leq 18 \\ 0 & \text{untuk yang lain} \end{cases}$$

Sehingga,

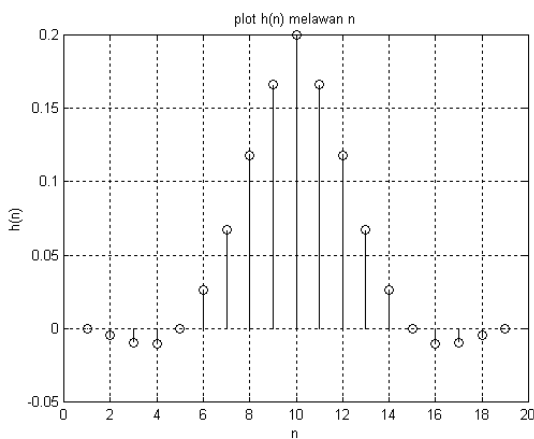
$$h(n) = \begin{cases} \frac{n}{9} \cdot \frac{\sin[0,2\pi(n-9)]}{\pi[n-9]} & \text{untuk } 0 \leq n \leq 9 \\ (2 - \frac{n}{9}) \cdot \frac{\sin[0,2\pi(n-9)]}{\pi[n-9]} & \text{untuk } 9 < n \leq 18 \end{cases}$$

Nilai h(n) untuk harga $0 \leq n \leq 18$ seperti pada tabel berikut:

Tabel 4.2. Nilai respons impuls filter dengan window Bartlett N = 19

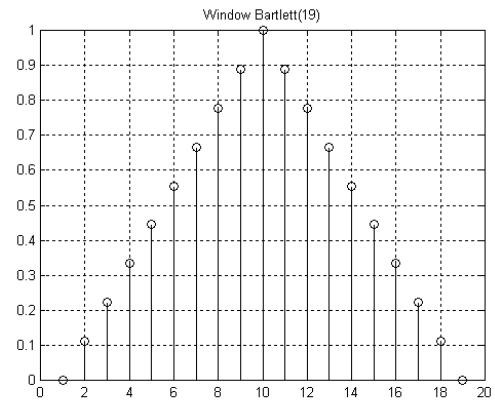
| | | | | | | | |
|------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| N | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| H(n) | 0 | 0.0042 | 0.0096 | 0.0104 | 0.0000 | 0.0260 | 0.0673 |
| N | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 |
| H(n) | 0.1177 | 0.1663 | 0.2000 | 0.1663 | 0.1177 | 0.0673 | 0.0260 |
| N | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | | |
| H(n) | 0.0000 | 0.0104 | 0.0096 | 0.0042 | 0 | | |

dan jika nilai h(n) ini diplot terhadap n akan diperoleh gambar di bawah:



Gambar 4.2. Respons impuls h(n) terhadap n filter LPF dengan N = 19

Gambar di atas diperoleh dengan menggunakan window Bartlett(19). Plot Bartlett(19) seperti gambar bawah



Gambar 4.3. Plot window Bartlett(19)

Persamaan respons frekuensi :

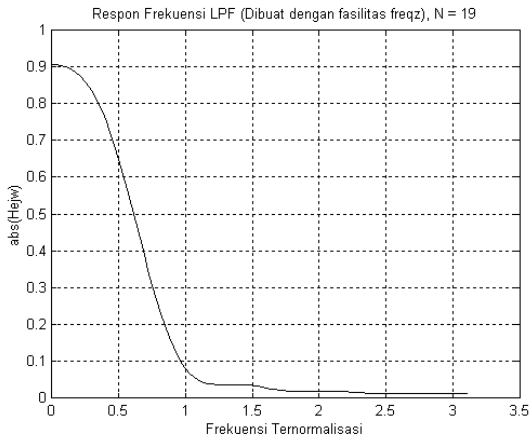
$$H(e^{j\omega}) = \sum_{n=0}^{18} h(n) \cdot e^{-jn\omega}$$

$$H(e^{j\omega}) = h(0)e^{-j0} + h(1)e^{-j\omega} + h(2)e^{-j2\omega} + h(3)e^{-j3\omega} + h(4)e^{-j4\omega} + h(5)e^{-j5\omega} + h(6)e^{-j6\omega} + h(7)e^{-j7\omega} + h(8)e^{-j8\omega} + h(9)e^{-j9\omega} + h(10)e^{-j10\omega} + h(11)e^{-j11\omega} + h(12)e^{-j12\omega} + h(13)e^{-j13\omega} + h(14)e^{-j14\omega} + h(15)e^{-j15\omega} + h(16)e^{-j16\omega} + h(17)e^{-j17\omega} + h(18)e^{-j18\omega}$$

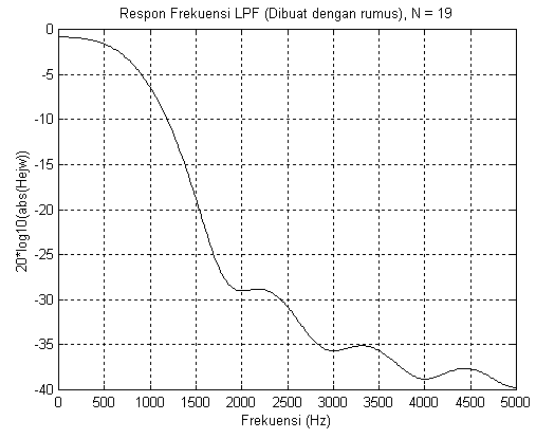
$$H(e^{j\omega}) = 0 - 0,0042 e^{-j\omega} - 0,0096 e^{-j2\omega} - 0,0104 e^{-j3\omega} + 0 + 0,0260 e^{-j5\omega} + 0,0673 e^{-j6\omega} + 0,1177 e^{-j7\omega} + 0,1663 e^{-j8\omega} + 0,2000 e^{-j9\omega} + 0,1663 e^{-j10\omega} + 0,1177 e^{-j11\omega} + 0,0673 e^{-j12\omega} + 0,0260 e^{-j13\omega} + 0 - 0,0104 e^{-j15\omega} - 0,0096 e^{-j16\omega} - 0,0042 e^{-j17\omega} + 0$$

5) Gambar response magnitude

Dengan menggunakan program MATLAB (seperti pada listing program), grafik Response frekuensi : $|H(e^{j\omega})|$ sebagai fungsi ω adalah sebagai berikut:

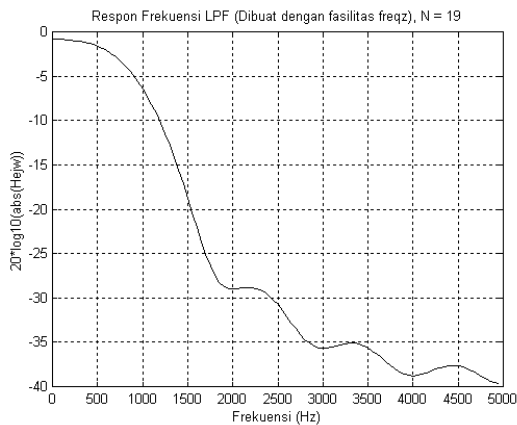


Gambar 4.4. Respon frekuensi filter LPF dengan fungsi freqz



Gambar 4.6. Respon frekuensi filter LPF yang dibuat dengan rumus

Grafik Response frekuensi dalam dB : $20 \log |H(e^{j\omega})|$ sebagai fungsi f (hertz)



Gambar 4.5. Gambar yang sama dengan gambar 4.3

Grafik di atas diperoleh dengan memanfaatkan fasilitas yang dimiliki oleh MATLAB untuk merubah kedalam domain frekuensi (freqz). Grafik ini persis sama dengan menggunakan rumus $H(e^{j\omega})$ untuk mendapatkan respon frekuensinya seperti pada gambar di bawah ini.

Dari grafik di atas terlihat bahwa pada frekuensi cut off, magnitudo impulse response sebesar 6 dB dan pada frekuensi stop band redamannya sebesar 35 dB. Untuk memenuhi kriteria desain yang diinginkan maka nilai N dicoba diturunkan (dengan metoda trial and error) menjadi $N = 9$ ($\alpha = 4$) atau $N = 7$ ($\alpha = 3$).

Gambar grafik respon frekuensi untuk $N = 7$ dan $N = 9$ disajikan pada pengujian filter.

6) Persamaan fungsi transfer dan persamaan beda

Persamaan fungsi transfer :

$$H(z) = \sum_{n=0}^{18} h(n) \cdot z^{-n}$$

$$H(z) = h(0)z^{-0} + h(1)z^{-1} + h(2)z^{-2} + h(3)z^{-3} + h(4)z^{-4} + h(5)z^{-5} + h(6)z^{-6} + h(7)z^{-7} + h(8)z^{-8} + h(9)z^{-9} + h(10)z^{-10} + h(11)z^{-11} + h(12)z^{-12} + h(13)z^{-13} + h(14)z^{-14} + h(15)z^{-15} + h(16)z^{-16} + h(17)z^{-17} + h(18)z^{-18}$$

$$H(z) = 0 - 0,0042 z^{-1} - 0,0096 z^{-2} - 0,0104 z^{-3} + 0 + 0,0260 z^{-5} + 0,0673 z^{-6} + 0,1177 z^{-7} + 0,1663 z^{-8} + 0,2000 z^{-9} + 0,1663 z^{-10} + 0,1177 z^{-11} + 0,0673 z^{-12} + 0,0260 z^{-13} + 0 - 0,0104 z^{-15} - 0,0096 z^{-16} - 0,0042 z^{-17} + 0$$

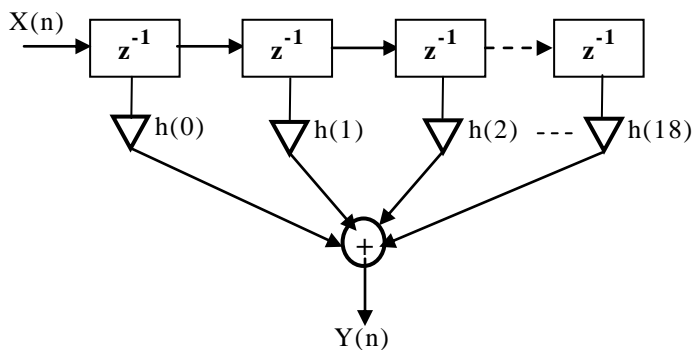
Persamaan beda :

$$y(n) = \sum_{k=0}^{18} h(k) \cdot x(n-k)$$

$$y(n) = h(0)x(n) + h(1)x(n-1) + h(2)x(n-2) + h(3)x(n-3) + h(4)x(n-4) + h(5)x(n-5) + h(6)x(n-6) + h(7)x(n-7) + h(8)x(n-8) + h(9)x(n-9) + h(10)x(n-10) + h(11)x(n-11) + h(12)x(n-12) + h(13)x(n-13) + h(14)x(n-14) + h(15)x(n-15) + h(16)x(n-16) + h(17)x(n-17) + h(18)x(n-18)$$

$$y(n) = 0 - 0,0042 x(n-1) - 0,0096 x(n-2) - 0,0104 x(n-3) + 0 + 0,0260 x(n-5) + 0,0673 x(n-6) + 0,1177 x(n-7) + 0,1663 x(n-8) + 0,2000 x(n-9) + 0,1663 x(n-10) + 0,1177 x(n-11) + 0,0673 x(n-12) + 0,0260 x(n-13) + 0 - 0,0104 x(n-15) - 0,0096 x(n-16) - 0,0042 x(n-17) + 0$$

7) Gambar realisasi rangkaian filter



Gambar 4.7. Realisasi rangkaian filter

B. Pengujian Filter

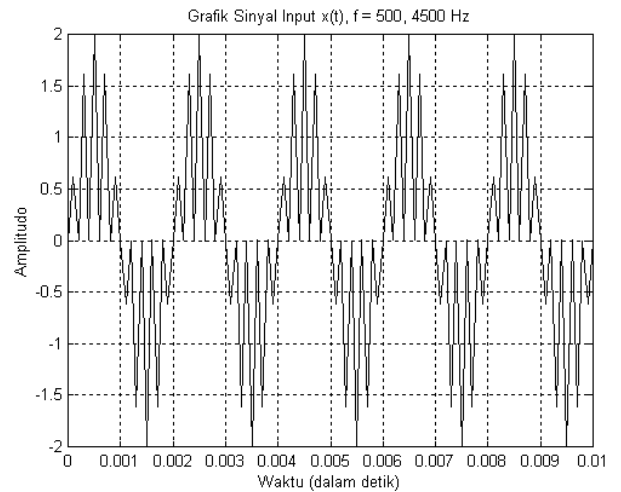
Mensimulasi Sinyal Input, sinyal input hasil sampling, respon frekuensi dari filter (N = 19) dan sinyal output.

Sinyal input berupa sinyal sinusoidal dengan komponen frekuensi 500 Hz, 4500 Hz dan dinyatakan sebagai berikut:

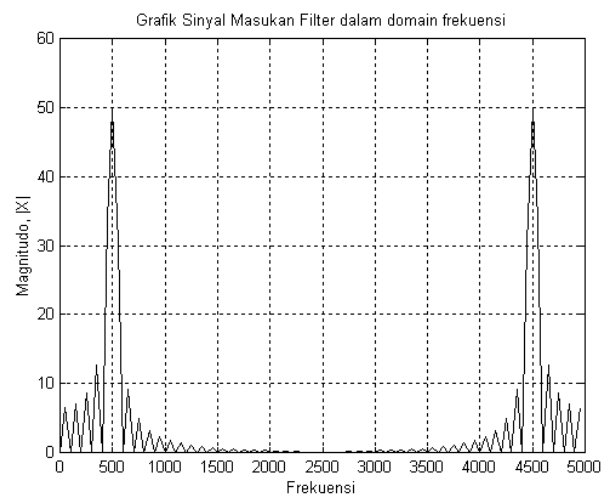
$$x(t) = \sin(2\pi \cdot 500 t) + \sin(2\pi \cdot 4500 t)$$

Sinyal tersebut disampling dengan frekuensi sampling, $F_s = 10$ KHz.

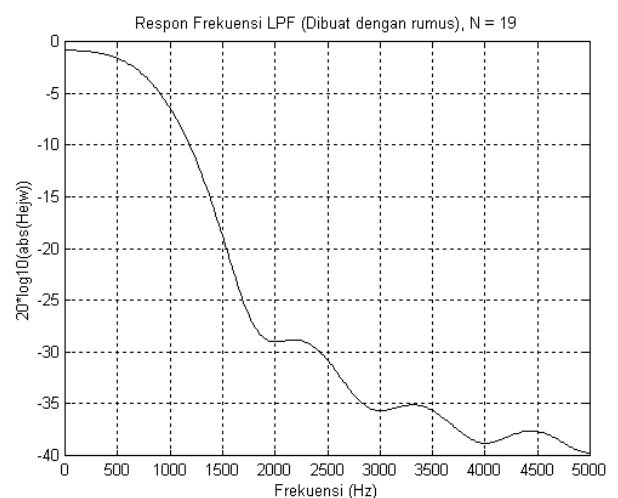
Gambar grafik dari sinyal input, sinyal input hasil sampling, respon frekuensi dari filter (N = 19) dan sinyal output ditunjukkan pada gambar-gambar berikut ini.



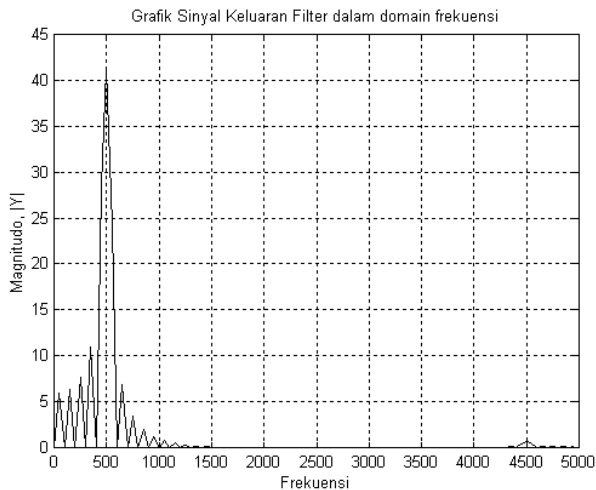
Gambar 4.8. Sinyal masukan x(t)



Gambar 4.9. Sinyal masukan dalam domain frekuensi X(f)

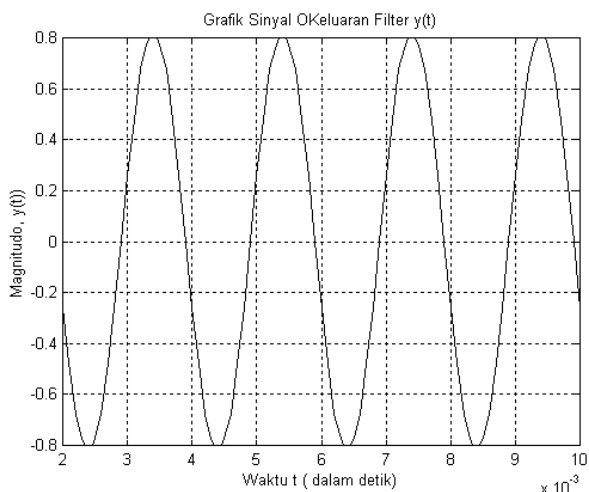


Gambar 4.10. Respon frekuensi filter LPF dengan N = 19



Gambar 4.11. Sinyal keluaran filter dalam domain frekuensi $Y(f)$

Dari gambar di atas tampak bahwa komponen sinyal dengan frekuensi 4500 Hz terfilter, sedangkan sinyal dengan komponen frekuensi 500 Hz diteruskan.



Gambar 4.12. Sinyal keluaran dari filter $y(t)$

V. KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Berdasarkan hasil dan pembahasan penelitian, memberikan beberapa kesimpulan berikut:

1. Perancangan Low Pass Filter dengan Teknik Windowing telah berhasil dilakukan.

2. Penentuan jenis window yang dipakai untuk mendapatkan redaman sebesar -24 dB dengan nilai k terkecil adalah window Bartlet.
3. Respon frekuensi filter LPF, pada frekuensi cut off, magnitudo impulse response sebesar 6 dB dan pada frekuensi stop band redamannya sebesar 35 dB.

B. Saran

Perancangan Filter FIR yang dilakukan dalam penelitian ini berlangsung dengan lancar, namun tetap ada hal-hal lain yang perlu ditambahkan untuk melengkapi dan menyempurnakan penelitian ini. Beberapa saran yang mungkin bisa melengkapi penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Rancangan filter FIR didesain dengan jenis window yang lain, kemudian dibandingkan unjuk kerjanya dengan window Bartlet.
2. Pengujian filter FIR dilakukan secara real time.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Ahn, S-S., Voltz, P.J., 1996, "Convergence of the Delayed Normalized LMS Algorithm with Decreasing Step Size", IEEE Transactions on Signal Processing, Vol. 44, No. 12, pp. 3008 – 3016.
- [2] Douglas, S.C., Pan, W., 1995, "Exact Expectation Analysis of the LMS Adaptive Filter", IEEE Transactions on Signal Processing, Vol. 43, No. 12, pp. 2863 – 2871.
- [3] Eweda, E., 1994, "Comparison of RLS, LMS, and Sign Algorithms for Tracking Randomly Time-Varying Channels", IEEE Transactions on Signal Processing, Vol. 42, No. 11, pp. 2937 – 2943.
- [4] Gardner, W.A., 1989, "Introduction to Random Processes", McGraw-Hill, Singapore.