

# Desain dan Simulasi Filter FIR Menggunakan Metode Windowing

Neilcy T. Mooniarsih

Laboratorium Telekomunikasi  
Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik  
Universitas Tanjungpura  
E-mail : neilcyte@gmail.com

**Abstract**– Filter didefinisikan sebagai alat atau proses memisahkan suatu elemen dari campuran elemen – elemen atau rangkaian yang melewati pita frekuensi tertentu yang diinginkan dan meredam pita frekuensi lainnya. Filter digital sangat dibutuhkan oleh sistem elektronika. Filter digital dibagi menjadi dua yaitu IIR (*Infinite Impulse Response*) dan FIR (*Finite Impulse Response*). Salah satu metode perancangan filter digital FIR adalah metode windowing. Dalam penelitian ini digunakan empat jenis window yaitu *Rectangular*, *Hanning*, *Hamming* dan *Blackman*. Filter yang dirancang adalah filter *lowpass*.

**Keywords**– filter digital, windowing, *Rectangular*, *Hamming*, *Hanning*, *Blackman*.

## 1. Pendahuluan

Filter atau yang biasa dikenal dengan istilah tapis dalam konteks elektronika filter diartikan sebagai rangkaian yang melewati suatu pita frekuensi tertentu yang diinginkan dan meredam pita frekuensi lainnya.

Filter dibagi menjadi dua jenis yaitu filter analog dan filter digital. Untuk menghasilkan efek pemfilteran yang diinginkan, filter analog dibuat dengan menggunakan rangkaian elektronika yang terdiri dari komponen – komponen seperti resistor, kapasitor dan op-amp, sedangkan filter digital dapat dibuat dalam bentuk operasi *software* pada data yang disimpan dalam memori komputer atau dapat diimplementasikan dengan *Digital Signal Processor* (DSP).

Filter digital adalah suatu piranti yang sangat dibutuhkan oleh sistem–sistem elektronika, misalnya saja untuk pengolahan sinyal *audio* dan *image processing*. Kita dapat menggunakan filter analog untuk melakukan tugas ini, namun filter digital memberikan fleksibilitas dan akurasi yang lebih baik dibanding filter analog.

Filter digital dapat dibagi menjadi dua yaitu filter digital IIR (*Infinite Impulse Response*) dan filter digital FIR (*Finite Impulse Response*). Ada beberapa metode untuk merancang filter digital FIR. Salah satu metode yang sering digunakan adalah metode *windowing*. Dalam metode *windowing* itu sendiri ada beberapa teknik (jenis *window*). Unjuk kerja metode *windowing* sangat bergantung pada jenis *window* yang digunakan.

## 2. Filter Digital FIR ( *Finite Impulse Response* )

Filter digital dalam konteks *software* adalah suatu prosedur matematika / algoritma yang mengolah sinyal masukan digital dan menghasilkan isyarat keluaran digital dengan sifat tertentu sesuai tujuan filter. Banyak sistem digital menggunakan pemfilteran sinyal untuk :

- Memisahkan sinyal – sinyal yang telah digabung, misalnya rekaman musik dan *noise* yang tercampur selama proses perekaman
- Memisahkan sinyal – sinyal sesuai dengan frekuensi yang diinginkan
- Restorasi sinyal yang telah mengalami perubahan

Dua jenis filter digital yang menyediakan fungsi – fungsi di atas adalah filter *Finite Impulse Response* (FIR) dan filter *Infinite Impulse Response* (IIR). Pembagian ini berdasarkan pada respon impuls filter tersebut. FIR memiliki respon impuls yang panjangnya terbatas, sedangkan IIR tidak terbatas. FIR sering juga disebut sebagai filter non-rekursif dan IIR sebagai filter rekursif. Pembagian ini berdasarkan pada cara pengimplementasian filter yaitu rekursif dan konvolusi (non-rekursif). Bila dibandingkan dengan filter IIR, filter FIR memiliki beberapa kelebihan, diantaranya :

- Dapat didesain dengan mudah agar memiliki fasa yang linear
- Memiliki kestabilan
- Mudah diimplementasikan
- Pengaruh kesalahan karena pembulatan dan pemotongan dapat dengan mudah diminimumkan dalam implementasi

Disamping kelebihanannya, filter FIR juga memiliki kekurangan yaitu berdasarkan teori memerlukan lebih banyak perhitungan untuk mendapatkan karakteristik respon filter yang diinginkan, sehingga akan dibutuhkan lebih banyak memori bila filter rancangan diaplikasikan pada *hardware* (*Digital Signal Processor*).

Proses pendesainan filter meliputi identifikasi koefisien-koefisien yang bersesuaian dengan respon frekuensi spesifikasi untuk sistem. Koefisien-koefisien menentukan respon dari filter. Output filter FIR  $y[k]$  dapat diekspresikan secara matematis seperti terlihat pada Persamaan (1) :

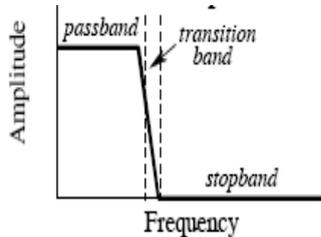
$$y[k] = \sum_{n=0}^{M-1} h[n]x[k-n] \quad (1)$$

**Keterangan :**

- M : panjang filter digital
- h[n] : response impulse filter / koefisien filter
- x[k] : sampel sinyal masukan
- x[k-n] : sampel sinyal masukan yang ditahan dalam TDL
- y[k] : output filter digital

**Lowpass Filter**

Lowpass filter adalah suatu filter yang melewatkan sinyal frekuensi rendah tetapi melemahkan / attenuate (mereduksi amplitudo) sinyal dengan frekuensi yang lebih tinggi dari frekuensi cutoff.



Gambar 1. Lowpass Filter

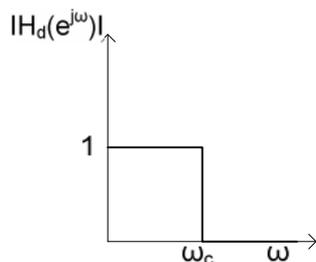
Dari Gambar 1 dapat dilihat pembagian band frekuensi. Passband mengacu pada frekuensi yang dilewatkan, sementara stopband mengacu pada frekuensi yang ditahan dan transition band terletak diantara keduanya.

Suatu lowpass filter ideal memiliki response frekuensi sebagai berikut :

$$H_d(e^{j\omega}) = \begin{cases} 1e^{j\omega} & , 0 \leq \omega \leq \omega_c \\ 0, & \omega_c \leq \omega \leq \pi \end{cases} \quad (2)$$

**Keterangan :**

- $H_d(e^{j\omega})$  : response frekuensi ideal lowpass filter
- $\omega_c$  : frekuensi cutoff dalam radian



Gambar 2. Respon Frekuensi Ideal Lowpass Filter

Dalam perhitungan perancangan filter, response frekuensi aktual filter diperoleh berdasarkan Persamaan (3) berikut :

$$H(e^{j\omega}) = \left[ \sum_{n=0}^{(M-1)/2} a(n) \cos n\omega \right] e^{-j\omega((M-1)/2)} \quad (3)$$

dimana sekuen a(n) diperoleh dari h(n) sebagai :

$$a(0) = h\left(\frac{M-1}{2}\right) ;$$

$$a(n) = 2h\left(\frac{M-1}{2} - n\right) , 1 \leq n \leq \frac{M-1}{2}$$

Dari Persamaan (2) magnitudo dari response frekuensi aktual filter dapat dirumuskan sebagai :

$$\left| H(e^{j\omega}) \right| = \left[ \sum_{n=0}^{(M-1)/2} a(n) \cos n\omega \right] \quad (4)$$

Response frekuensi dari suatu filter dapat diberikan dalam dua cara, yaitu spesifikasi-absolut dan spesifikasi-relatif.

**a. Spesifikasi-absolut**

Spesifikasi absolut dari suatu lowpass filter dapat dilihat seperti pada Gambar 3.

- band  $[0, \omega_p]$  disebut *passband* dengan  $\delta_1$  adalah toleransi ripple yang dapat diterima pada respon *passband* ideal

- band  $[\omega_s, \pi]$  disebut *stopband* dengan  $\delta_2$  adalah toleransi ripple yang dapat diterima pada respon *stopband* ideal

- band  $[\omega_p, \omega_s]$  disebut *transition band*, tidak ada pembatasan pada respon *magnitude* untuk *band* ini.

**b. Spesifikasi-relatif**

Spesifikasi relatif dari suatu lowpass filter dapat dilihat pada Gambar.

- Rp adalah *passband ripple* dalam dB

- As adalah *stopband attenuation* dalam dB

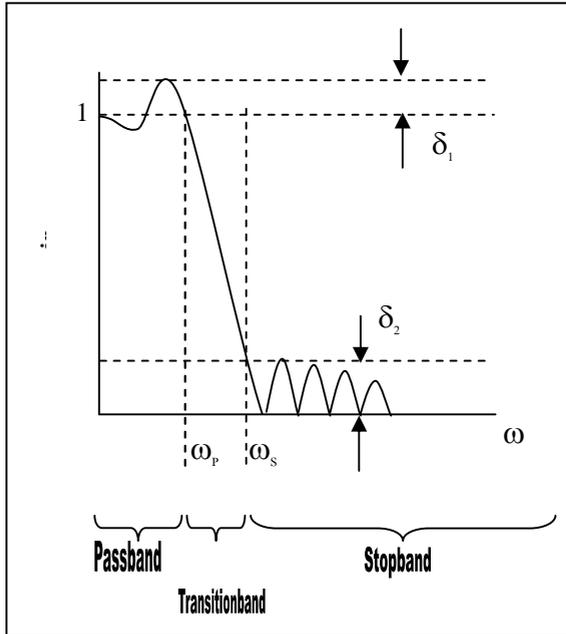
Kedua parameter yang diberikan dalam dua spesifikasi di atas adalah saling berkaitan dimana :

$$R_p = -20 \log_{10} \frac{1 - \delta_1}{1 + \delta_1} \quad (5)$$

$$A_s = -20 \log_{10} \frac{\delta_2}{1 + \delta_1} \quad (6)$$

**Keterangan :**

- M : panjang filter
- $\Delta f$  : delta frekuensi
- $\delta_1$  : toleransi *Ripple Passband*
- $\delta_2$  : toleransi *Stopband Attenuation*
- $R_p$  : *Ripple Passband* (dB)
- $A_s$  : *Stopband Attenuation* (dB)



Gambar 3. Spesifikasi Absolut Lowpass Filter

Dari kedua spesifikasi di atas, dapat dilakukan estimasi panjang (koefisien) filter. Untuk perancangan filter menggunakan metode *windowing*, perhitungan panjang filter tiap – tiap *window* berbeda dan dipengaruhi oleh lebar *transitionband* (*transitionband width*) yang akan dirancang.

Response impulse dari filter dengan panjang tak terbatas (*infinite*) yaitu :

$$h_d(n) = \frac{\sin[\omega_c(n - \alpha)]}{\pi(n - \alpha)} \quad (7)$$

Untuk mendapatkan filter FIR dengan fasa linear dan kausal yang memiliki panjang M, maka Persamaan (8) menjadi :

$$h_d(n) = \begin{cases} h_d(n), & 0 \leq n \leq M - 1 \\ 0, & \text{lainnya} \end{cases} \quad (8)$$

Untuk  $(n - \alpha) = 0$  maka  $h_d(n) = \frac{\omega_c}{\pi}$ ,

dengan  $\omega_c = 2\pi \frac{f_c}{f_{\text{sampling}}}$  dan  $\alpha = \frac{M - 1}{2}$

Keterangan :

$h_d(n)$  : *response impulse* filter digital

$\omega_c$  : frekuensi *cutoff* dalam radian

$f_c$  : frekuensi *cutoff* (Hz)

$f_{\text{sampling}}$  : frekuensi sampling (Hz)

$\alpha$  : *sample delay*

$M$  : panjang filter

$n$  : indeks nilai *sample* waktu diskrit

## Metode Windowing

Ada beberapa pilihan metode dalam merancang filter digital FIR. Salah satunya metode *windowing*. Ide dasar metode *windowing* adalah untuk memperoleh respon frekuensi ideal filter dan menghitung respon *impulsenya*. Masalahnya respon *impulse* suatu filter panjangnya tak hingga (*infinite*), berlawanan dengan filter yang kita inginkan. Untuk mengatasinya dilakukan pemotongan respon *impulse*, namun ternyata mengakibatkan *ripple* berlebihan pada *passband* dan *stopband attenuation* yang buruk. Guna memperbaiki respon filter maka diterapkan teknik *windowing*. Bila dimisalkan  $w(n)$  adalah fungsi *window* dan  $h_d(n)$  adalah respon *impulse* dari filter ideal, maka respon *impulse* dari filter yang sebenarnya (aktual) dapat dirumuskan sebagai :

$$h(n) = h_d(n)w(n) \quad (9)$$

Ada beberapa fungsi *window* yang tersedia. Masing-masing memiliki karakteristik yang berbeda dalam *domain* waktu dan *domain* frekuensi, yaitu :

1. *Rectangular Window*. Ini adalah fungsi *windowing* yang paling sederhana tetapi memberikan performansi terburuk dari sisi *stopband attenuation*. Fungsi ini didefinisikan sebagai :

$$w(n) = \begin{cases} 1, & 0 \leq n \leq M - 1 \\ 0, & \text{lainnya} \end{cases} \quad (10)$$

2. *Hanning Window*

$$w(n) = \begin{cases} 0.5 \left[ 1 - \cos\left(\frac{2\pi n}{M - 1}\right) \right], & 0 \leq n \leq M - 1 \\ 0, & \text{lainnya} \end{cases} \quad (11)$$

3. *Hamming Window*

$$w(n) = \begin{cases} 0.54 - 0.46 \cos\left(\frac{2\pi n}{M - 1}\right), & 0 \leq n \leq M - 1 \\ 0, & \text{lainnya} \end{cases} \quad (12)$$

4. *Blackman Window*

$$w_{(n)} = \begin{cases} 0.42 - 0.5 \cos\left(\frac{2\pi n}{M - 1}\right) + 0.08 \cos\left(\frac{4\pi n}{M - 1}\right), & 0 \leq n \leq M - 1 \\ 0, & \text{lainnya} \end{cases} \quad (13)$$

Penentuan panjang filter dilakukan dengan menggunakan suatu pendekatan nilai *transitionband width* yang besarnya berbeda – beda untuk tiap *window*.

Tabel 1. *Transitionband Width*

<i>Window</i>	<i>Transitionband width</i> ( $\Delta\omega$ )
<i>Rectangular</i>	$\frac{4\pi}{M}$
<i>Hanning</i>	$\frac{8\pi}{M}$
<i>Hamming</i>	$\frac{8\pi}{M}$
<i>Blackman</i>	$\frac{12\pi}{M}$

Dari Tabel 1 di atas, dapat dilakukan pendekatan panjang filter untuk tiap – tiap *window*.

- *Rectangular Window*

$$M = \frac{4\pi}{\Delta\omega} \quad (14)$$

- *Hanning Window*

$$M = \frac{8\pi}{\Delta\omega} \quad (15)$$

- *Hamming Window*

$$M = \frac{8\pi}{\Delta\omega} \quad (16)$$

- *Blackman Window*

$$M = \frac{12\pi}{\Delta\omega} \quad (17)$$

dimana  $\Delta\omega = |\omega_s - \omega_p|$ ,  $\omega_s = 2\pi \frac{f_{stop}}{f_{samp}}$ ,

$$\omega_p = 2\pi \frac{f_{pass}}{f_{samp}}$$

**Keterangan :**

$\Delta\omega$  : *transitionband width*

$\omega_p$  : frekuensi *passband* (rad)

$\omega_s$  : frekuensi *stopband* (rad)

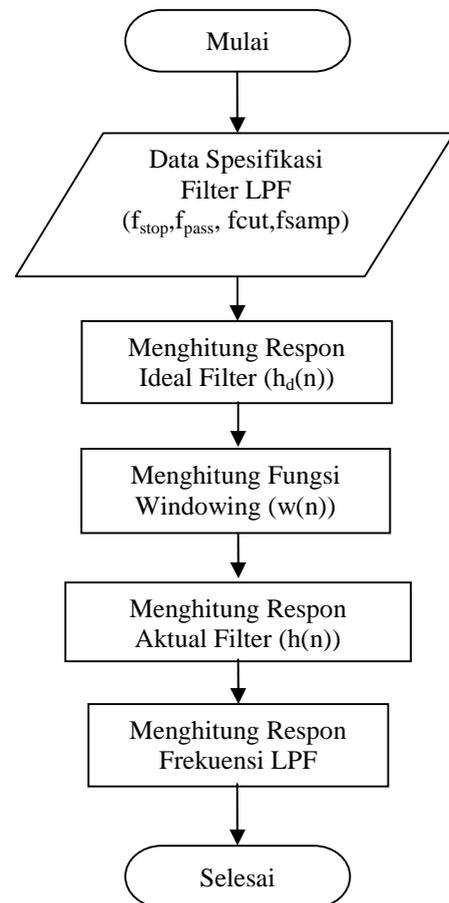
$M$  : panjang filter

### 3. Tahapan Perancangan Filter Digital FIR

Dalam perancangan filter digital, data spesifikasi filter ideal yang diinginkan kemudian diolah menggunakan persamaan matematis untuk mendapatkan respon filter ideal, fungsi penjendalaan, koefisien filter serta respon filter aktual dan untuk memudahkan perhitungan maka digunakan bantuan *software* MATLAB. Tahapan awal perancangan filter adalah penentuan spesifikasi filter yang akan dirancang. Dalam

spesifikasi ini ditentukan jenis filter FIR yang akan dirancang dipilih *lowpass filter*, serta data – data yang diperlukan untuk perancangan filter tersebut.

Tahap selanjutnya adalah aproksimasi, tahap ini meliputi pemilihan metode perancangan dan perhitungan rancangan filter. Pada bagian perhitungan rancangan filter dilakukan beberapa perhitungan sebagai bentuk pengolahan data spesifikasi rancangan. Bagian ini sangat dipengaruhi oleh jenis filter pada spesifikasi dan metode perancangan yang digunakan sebagai aproksimasi (pendekatan). Berikut ini diagram alir dari perhitungan rancangan filter FIR LPF dengan metode *windowing* :



**Gambar 4.** Diagram Alir Perhitungan Rancangan Filter FIR LPF dengan Metode *Windowing*.

### 4. Simulasi dan Analisis Unjuk Kerja Filter FIR

Untuk mengetahui unjuk kerja dan mendapatkan hasil perancangan yang optimal, maka filter digital FIR Lowpass yang telah dirancang perlu diuji dan dianalisa. Pengujian filter dilakukan melalui simulasi program hasil rancangan menggunakan *software* Matlab 7.0.1. Dari pengujian akan didapatkan data yang kemudian dianalisa untuk menentukan unjuk kerja filter hasil rancangan.

Pengujian meliputi beberapa bagian, yaitu :

- Pengujian lebar bidang tansisi (*transitionband width*)

*Transitionband* adalah daerah di antara dua band frekuensi *cut off*, frekuensi *cut off stopband* ke

frekuensi *cut off passband* atau sebaliknya. Secara teoritis semakin pendek *transitionband width* maka dikatakan filter tersebut semakin bagus.

- Pengujian frekuensi *cut off*

Pengujian frekuensi *cut off* bertujuan untuk mengetahui ketepatan frekuensi *cut off* hasil rancangan dengan frekuensi *cut off* yang diinginkan. Sebelum melihat data hasil pengujian akan dijelaskan terlebih dahulu kaidah yang dipakai dalam menentukan frekuensi *cut off*. Frekuensi *cut off passband* didefinisikan sebagai frekuensi dengan amplitudo 0.701 atau -3 dB, sedangkan frekuensi *cut off stopband* didefinisikan sebagai frekuensi dengan amplitudo 0.3 atau -10.5 dB. Frekuensi *cut off* filter sendiri didefinisikan sebagai nilai tengah dari penjumlahan frekuensi *cut off passband* dan *stopband*. Besaran frekuensi *cut off* dapat dilihat dari respon frekuensi filter.

- Pengujian redaman (*stopband attenuation*)

Pengujian redaman *stopband attenuation* bertujuan untuk mengetahui besarnya redaman yang dihasilkan filter. Redaman *stopband attenuation* adalah nilai *gain* tertinggi (dalam dB) yang terjadi di daerah bidang henti (*stopband*). Redaman sering juga disebut dengan *stopband deviation*. Secara teoritis, semakin kecil atau semakin negatif nilai redaman yang terjadi maka filter menjadi semakin baik. Hal ini dikarenakan frekuensi yang tidak diinginkan dapat benar-benar dihilangkan atau dilemahkan menjadi selemah-lemahnya.

- Pengujian *Input/Output*

Bertujuan untuk mengetahui pengaruh filter FIR pada suatu sinyal input.

**5. Analisis Lowpass Filter**

Tabel 2. Frekuensi *Cut Off Passband Lowpass Filter*

Panjang Filter (M)	Metode Windowing			
	<i>Rectangular</i>	<i>Hanning</i>	<i>Hamming</i>	<i>Blackman</i>
	F <sub>pass</sub> (Hz)	F <sub>pass</sub> (Hz)	F <sub>pass</sub> (Hz)	F <sub>pass</sub> (Hz)
81	3757	3713	3720	3696
161	3779	3757	3760	3748
241	3786	3771	3773	3765

Tabel 3. Frekuensi *Cut Off Stopband Lowpass Filter*

Panjang Filter (M)	Metode Windowing			
	<i>Rectangular</i>	<i>Hanning</i>	<i>Hamming</i>	<i>Blackman</i>
	F <sub>stop</sub> (Hz)	F <sub>stop</sub> (Hz)	F <sub>stop</sub> (Hz)	F <sub>stop</sub> (Hz)
81	3841	3884	3878	3900
161	3821	3842	3839	3850
241	3814	3828	3826	3833

Dari Tabel 1 dan 2 di atas, dapat dilihat bahwa frekuensi *passband* dan *stopband* hasil simulasi cukup mendekati frekuensi *passband* dan *stopband* dalam perancangan, dalam hal ini 3600 Hz dan 4000 Hz. Besaran *transitionband width* berhubungan dengan data tersebut. Dari data hasil pengujian, diketahui bahwa panjang filter sangat mempengaruhi *transitionband width*. Filter dengan panjang 81 memiliki *transitionband*

*width* yang lebih lebar dibanding dengan filter dengan panjang 161 dan 241. Oleh karena itu, filter yang lebih panjang memiliki *transitionband width* yang lebih sempit dan dapat dikatakan filter tersebut lebih baik. Disamping itu, data pada Tabel 3 juga menunjukkan bahwa *rectangular window* menghasilkan *transitionband width* yang paling sempit diantara ketiga *window* lainnya, kemudian *hamming window*, *hanning window* dan *blackman window* dengan *transitionband width* paling lebar.

**Pengujian Frekuensi Cut Off Lowpass Filter**

Ketepatan frekuensi *cut off* hasil simulasi juga berhubungan dengan data frekuensi *passband* dan *stopband* filter yang terdapat pada Tabel 2 dan 3. Hasil pengujian frekuensi *cut off* untuk *lowpass filter* dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Hasil Pengujian Frekuensi *Cut Off Lowpass Filter*

Panjang Filter	Metode Windowing			
	<i>Rectangular</i>	<i>Hanning</i>	<i>Hamming</i>	<i>Blackman</i>
	F <sub>cut</sub> (Hz)	F <sub>cut</sub> (Hz)	F <sub>cut</sub> (Hz)	F <sub>cut</sub> (Hz)
81	3799	3798.5	3799	3798
161	3800	3799.5	3799.5	3799
241	3800	3799.5	3799.5	3799

Dari Tabel 4 dapat disimpulkan bahwa frekuensi *cut off* hasil simulasi telah mendekati data spesifikasi frekuensi *cut off* pada rancangan filter (3800 Hz). Panjang filter tidak berpengaruh besar pada ketepatan frekuensi *cut off* filter. Perbedaan frekuensi *cut off* diantara filter dengan panjang 81, 161 atau 241 tidak terlalu besar, hanya berkisar 0.5 – 1 Hz, meskipun demikian filter yang lebih panjang memiliki kecenderungan ketepatan frekuensi *cut off* yang lebih baik. Dari Tabel 4 juga dapat dilihat bahwa *rectangular window* memberikan hasil paling baik dalam hal ketepatan frekuensi *cut off*.

**Pengujian Redaman Lowpass Filter**

Berdasarkan respon frekuensi filter, kita dapat menghitung besarnya redaman (*stopband attenuation*) dengan menggunakan persamaan (6) .

Hasil perhitungan redaman *lowpass filter* dapat dilihat pada Tabel 5 di bawah ini.

Tabel 5. Hasil Pengujian Redaman *Lowpass Filter*

Panjang Filter	Metode Windowing			
	<i>Rectangular</i>	<i>Hanning</i>	<i>Hamming</i>	<i>Blackman</i>
	Redaman (dB)	Redaman (dB)	Redaman (dB)	Redaman (dB)
81	-20.985	-43.942	-54.133	-75.284
161	-20.978	-43.943	-54.134	-75.288
241	-20.976	-43.942	-54.134	-75.289

Dari Tabel 5, dapat dilihat bahwa *blackman window* memberikan hasil redaman yang paling baik, diikuti *hamming window*, *hanning window*, dan *rectangular*

*window*. Penambahan panjang filter tidak terlalu berpengaruh pada besar redaman yang dihasilkan. *Rectangular window* tetap bertahan pada  $\pm -21$  dB, *hanning window*  $\pm -44$  dB, *hamming window*  $\pm -55$  dB dan *blackman window*  $\pm -75$  dB.

Secara keseluruhan, *hamming window* memperlihatkan unjuk kerja filter yang paling baik diantara *rectangular*, *hanning* dan *blackman window*. Hal ini dikarenakan dengan panjang filter yang sama, *hamming window* mampu memberikan nilai *transitionband width* yang tidak terlalu besar, ketepatan frekuensi *cut off* yang cukup mendekati spesifikasi serta nilai redaman yang cukup baik.

## 6. Kesimpulan

1. Hasil simulasi menunjukkan filter FIR *lowpass* sudah dapat memenuhi spesifikasi perancangan filter dengan melewati frekuensi yang diinginkan dan meredam frekuensi lainnya.

2. *Rectangular window* memberikan nilai *transitionband width* paling kecil. Untuk LPF  $M = 241$ , *Rectangular window* memiliki nilai  $\Delta\omega = 28$ , *Hamming*  $\Delta\omega = 53$ , *Hanning*  $\Delta\omega = 57$  dan *Blackman window*  $\Delta\omega = 68$ .

3. *Rectangular window* memberikan nilai ketepatan frekuensi *cut off* paling baik. Untuk LPF  $M = 241$ , *Rectangular window* memiliki nilai  $f_c = 3800\text{Hz}$ , *Hamming*  $f_c = 3799.5\text{Hz}$ , *Hanning*  $f_c = 3799.5\text{Hz}$  dan *Blackman window*  $f_c = 3799\text{Hz}$ .

4. *Rectangular window* memiliki nilai redaman yang sangat buruk. Untuk LPF  $M = 241$ , *Rectangular window* memiliki nilai  $A_s = -20.976\text{dB}$ , *Hanning*  $A_s = -43.942\text{dB}$ , *Hamming*  $A_s = -54.134\text{dB}$  dan *Blackman*  $A_s = -75.289\text{dB}$ .

## Referensi :

- [1]. Grover Dale & Deller John R. 1999. *Digital Signal Processing and The Microcontroller*. USA : Motorola University Press.
- [2]. Ifeachor, E.C., Jervis B.W., *Digital Signal Processing A Practical Approach*, New York, Addison-Wesley, 1993.
- [3]. Ingle Vinay K & Proakis John G. 2007. *Digital Signal Processing using MATLAB*. Canada : Thomson.
- [4]. Kuc R., *Introduction to Digital Signal Processing*, Singapore, McGraw-Hill, 1988.
- [5]. Smith W Steven. 2001. *The Scientist and Engineer's Guide to Digital Signal Processing*. [www.dspguide.com/ch14.pdf](http://www.dspguide.com/ch14.pdf)
- [6]. [www.dspguru.com/info/faqs/fir/basics.htm](http://www.dspguru.com/info/faqs/fir/basics.htm)
- [7]. [www.eng.wima.ac.id/Elektro/Digital/modulsp/PerSPS2.htm](http://www.eng.wima.ac.id/Elektro/Digital/modulsp/PerSPS2.htm).
- [8]. [www.netrino.com/Publications/Glossary/Filters.php](http://www.netrino.com/Publications/Glossary/Filters.php)

## Biography

**Neily T. Mooniarsih**, Dosen Fakultas Teknik jurusan Teknik Elektro Universitas Tanjungpura sejak tahun 1995. Beralamat di Komplek Untan Jalan M. Husni Thamrin P 40 Pontianak. Kelahiran di Pontianak 19 September 1969 bersekolah di Pontianak (SDN 7 tamat 1982, SMPN XIII tamat 1985, SMAN I tamat 1988). Sarjana Teknik Elektro Untan tamat 1995. Menyelesaikan Program S2 Teknik Elektro pada Universitas Gadjah Mada pada tahun 2003. Membina Mata Kuliah Kalkulus, Matematika Teknik I, Matematika Teknik II, dan Sistem Telekomunikasi di Pogram Studi Teknik Elektro dan Teknik Informatika di Fakultas Teknik Untan.

