

SIMULASI TAPIS *FINITE IMPULSE RESPONSE (FIR)* DENGAN *DISCRETE COSINE TRANSFORM (DCT)*

Muh Taufik Setyawan (NIM. L2F 097 659) ¹

¹Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro,
Jl. Prof. Sudharto, Tembalang, Semarang, Indonesia

Abstrak

Tapis FIR yang diimplementasikan sebagai tapis seleksi frekuensi digunakan untuk memisahkan sinyal ke dalam pita-pita frekuensi yang berbeda, diantaranya LPF untuk frekuensi rendah, BPF untuk frekuensi bidang, dan HPF untuk frekuensi tinggi. Sebagai alternatif, penapisan FIR dapat dilakukan secara tidak langsung, yaitu dalam kawasan transformasi diskrit. DCT adalah salah satu transformasi diskrit, selain DFT yang sudah jamak dipakai.

Namun, alternatif ini mensyaratkan panjang tapis harus sama dengan panjang masukannya. Jika sinyal yang akan ditapis adalah deret data yang panjang, maka tapis harus memiliki panjang yang sama. Sehingga, proses komputasi menjadi tidak efisien dan boros memori komputer. Untuk mengatasi masalah efisiensi penggunaan memori, algoritma penapisan menggunakan metode tambah tumpang tindih.

Dalam tugas akhir ini, penapisan FIR dengan DCT dibandingkan dengan FFT dengan metode yang sama. Dengan harga parameter masukan yang tepat, keluaran tapis FIR dengan DCT memiliki unjuk kerja penapisan yang sama dengan FFT. Keuntungan dari pemakaian DCT adalah dapat mengubah persentase kompresi dari sinyal keluarannya, sehingga bisa diperoleh sinyal keluaran yang memiliki energi mendekati dari energi sinyal masukannya.

1. PENDAHULUAN

Dalam pemrosesan sinyal digital, sinyal yang melewati sebuah sistem mengalami pemrosesan agar diperoleh karakteristik sinyal yang diinginkan. Penapisan adalah salah satu contoh operasi pemrosesan sinyal digital. Diantaranya bertujuan untuk pembersihan derau yang tidak diinginkan dari suatu sinyal, pembentukan spektrum dan analisis spektrum sinyal, deteksi sinyal dalam radar sonar dan komunikasi, dan sebagainya.

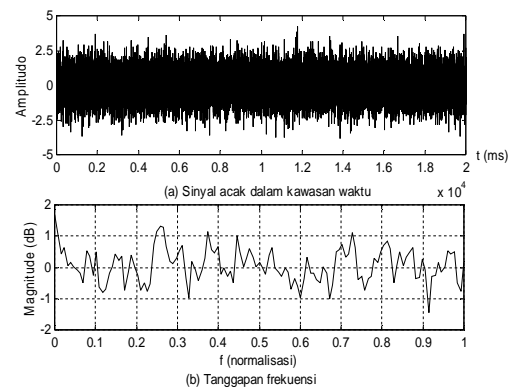
Ada dua macam tapis digital yakni *Finite Impulse Response (FIR)* dan *Infinite Impulse Response (IIR)*, yang keduanya dibedakan oleh panjang tanggapan impulsnya. Dalam hal teknik untuk desain tapis *FIR* dan *IIR* digital, banyak metode yang bisa dipakai baik metode desain langsung untuk waktu diskrit, metode konversi tapis analog ke dalam tapis digital dengan berbagai transformasi dan juga metode dengan kuadrat terkecil.

Dengan keperluan yang harus dibatasi dalam ukuran terhadap batas memori dari suatu komputer digital, suatu deret sinyal masukan yang sangat panjang pada tapis *FIR* digital digunakan dua metode yaitu metode tambah tumpang tindih (*overlap-add*) dan simpan tumpang tindih (*overlap-save*). Dalam kawasan transformasi diskrit, *Discrete Cosine Transform (DCT)* memiliki kaitan yang erat atau mirip dengan *DFT*. Atas dasar hal tersebut, dalam tugas akhir ini penulis mencoba menggantikan peran *DFT* dalam pentapisan linier *FIR* menggunakan metode *overlap-add* dengan *DCT*.

2. LANDASAN TEORI

2.1 Sinyal Acak

Sinyal acak (*random*) adalah sinyal-sinyal yang tidak dapat dideskripsikan terhadap setiap alasan derajat keakuratan dengan formula-formula matematis eksplisit. Sinyal-sinyal seperti itu dibatasi waktu dengan cara yang tidak dapat diramalkan. Contoh sinyal acak dan tanggapan frekuensinya ditunjukkan pada Gambar 1.

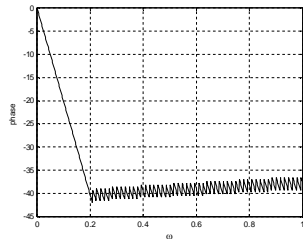


Gambar 1 Contoh sinyal acak dengan panjang 20.000 ms

Dari tanggapan frekuensi sinyal tersebut, tidak diketahui apakah sinyal merupakan sinyal frekuensi rendah, sinyal frekuensi sedang, atau sinyal frekuensi tinggi. Sehingga, proses penapisan perlu untuk mendapatkan sinyal dengan karakteristik daerah frekuensi yang diinginkan.

2.2 Tapis FIR

Hal penting mendasar yang harus dimiliki sebuah tapis FIR adalah linieritas dari tanggapan fasanya.

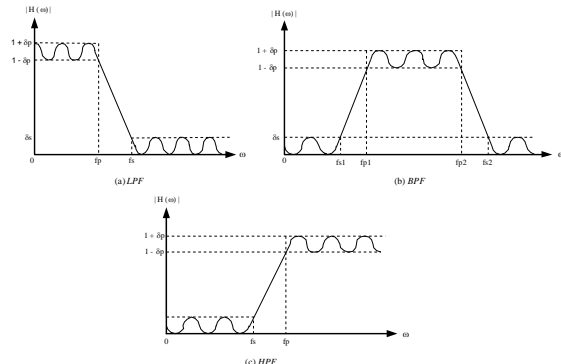


Gambar 2 Contoh tanggapan fasa tapis FIR

Pada daerah frekuensi *passband* yaitu antara $\omega=0$ dan $\omega=0.2$, terlihat fasa adalah linier.

2.2.1 Spesifikasi Tapis FIR

Karakteristik tapis digital sering dispesifikasikan dalam *domain* frekuensi. Tapis yang dapat direalisasikan secara praktis, ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3 Spesifikasi tapis FIR seleksi frekuensi

Keterangan :

- fp = frekuensi *passband*
- fs = frekuensi *stopband*
- lebar transisi (*transition width*) = fs – fp
- *passband ripple* = selisih 1+ δ p dan 1- δ p
- *bandwidth* = lebar dari *passband*

2.2.2 Kalkulasi Koefisien Tapis dengan Windowing

Tanggapan impuls ideal dari suatu tapis dapat diperoleh melalui invers transformasi *Fourier* dari tanggapan frekuensinya atau dengan persamaan berikut :

$$H_D(\omega) = \sum_{k=0}^{\infty} h_D(k) e^{-j\omega k} \dots\dots\dots(1)$$

$$h_D(k) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\pi}^{\pi} H_D(\omega) e^{j\omega k} d\omega \dots\dots\dots(2)$$

dimana $h_D(k)$ = tanggapan impuls ideal
 $H_D(\omega)$ = tanggapan frekuensi tapis ideal

ω = frekuensi

Tanggapan impuls ideal dari tapis memiliki durasi yang tak berhingga sehingga harus dilakukan pemotongan (*truncation*) pada suatu titik yakni $k = M-1$ dimana k adalah orde tapis. Tujuannya, menghasilkan sebuah tapis FIR dengan panjang M . Cara pemotongan dengan mengalikan tanggapan impuls ideal dengan fungsi *window*, $w(k)$, sesuai persamaan:

$$h(k) = h_D(k) w(k) \dots\dots\dots(3)$$

Fungsi *window* yang digunakan pada tugas akhir ini adalah *rectangular window*, dimana spesifikasinya sebagai berikut :

- $w(k) = 1$, $|k| \leq (M-1) / 2$
- lebar transisi = $0.9 / M$ Hz
- *passband ripple* = 0.7416 dB
- *stopband attenuation* = 21 dB..... (4)

2.3 Discrete Cosine Transform (DCT)

Pada dasarnya *DCT* adalah bagian real dari *DFT*. Bentuk *DCT* yang akan diterapkan pada tugas akhir ini adalah :

$$X(n) = \sum_{k=1}^N 2 x(k) \cos \frac{\pi}{2N} n(2k+1), \quad n=0, \dots, N-1(5)$$

Sedangkan inversnya dirumuskan persamaan (6),

$$x(k) = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N w(n) X(n) \cos \frac{\pi}{2N} n(2k+1), \quad k=0, \dots, N-1(6)$$

denga~

$$w(n) \begin{cases} \frac{1}{2}, & n=0 \\ \dots\dots\dots(7) \\ 1, & 1 \leq n \leq N-1 \end{cases}$$

Dalam penerapannya, *DCT* adalah transformasi ideal untuk proses kompresi. oleh karena efisiensinya dalam kompresi data, misalnya pada transmisi audio video dan perekaman sinyal biomedis seperti *EEG* dan *ECG*

2.4 Penapisan Deret Sinyal yang Panjang

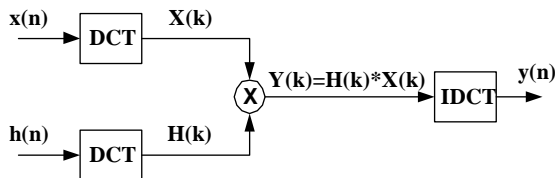
Penapisan dalam kawasan transformasi diskrit hanya dapat dilakukan apabila panjang $X(k)$ dan $H(k)$ adalah sama. Hal ini karena perkalian titik (*dot product*) antara keduanya mesyaratkan bahwa panjangnya harus sama. Misalnya, untuk data sepanjang 10.000 diperlukan panjang tapis 10.000. Atas dasar hal tersebut, maka metode khusus untuk penapisan deret data yang panjang sangat diperlukan demi efisiensi. Sehingga penapisan untuk data sepanjang 10.000 bisa dilakukan dengan panjang tapis 64, 128, dan seterusnya. Ada 2 metode penapisan untuk suatu deret data yang panjang yaitu :

- 1) Metode simpan tumpang tindih (*Overlap Save*)
- 2) Metode tambah tumpang tindih (*Overlap Add*)

Kedua metode yaitu *overlap-add* dan *overlap-save* merupakan metode pemrosesan secara blok. Berdasarkan nama metodenya, *overlap* berarti antara blok yang satu dengan yang lainnya perlu dibuat adanya *overlap* untuk menghilangkan adanya efek tepi pada setiap blok. Sedangkan *save* berarti, hasil penapisan suatu blok disimpan (dapat dalam memori atau dalam *disk*), untuk kemudian digabung dengan hasil-hasil penapisan dari blok yang lainnya secara berurutan. Hasil dari penggabungan ini merupakan bentuk hasil konvolusi dari deret masukan dengan tapisnya.

3. PERANCANGAN

Struktur tapis *FIR* dengan metode *overlap-add* menggunakan *DCT* yang akan dirancang digambarkan dengan diagram alir dan proses komputasinya pada Gambar 3.1.



Gambar 4 Realisasi tapis *FIR* metode *overlap-add* menggunakan *DCT*

Struktur yang akan direalisasikan menggunakan struktur *fast convolution*. Proses penapisannya dengan menghitung *DCT* dari $x(n)$ dan $h(n)$ lalu mengalikan keduanya. Hasil yang diperoleh, dicari inversnya. Penerapan metode *overlap-add* dilakukan saat menentukan *DCT* dari sinyal masukan, $x(n)$.

3.1 Koefisien Blok

Pada metode *overlap-add* diasumsikan panjang blok jauh lebih besar dari panjang tapis ($L \gg M$). Dimisalkan nilai L adalah k kalinya dari panjang tapis.

$$L = k * M \dots\dots\dots(8)$$

- dimana L = panjang blok
- k = koefisien blok
- M = panjang tapis

Selanjutnya, nilai L menentukan panjang *DCT* dan *IDCT* yang digunakan

$$N = L + M - 1 \dots\dots\dots(9)$$

Mengingat *DCT* adalah transformasi ideal untuk proses kompresi data, dengan kemampuan memampatkan data hingga 99% lebih kecil dari sinyal masukannya, maka parameter koefisien blok sangat diperlukan untuk mengatur kompresi sinyal hasil penapisan. Nilai koefisien blok terbaik adalah sedemikian hingga mendapatkan hasil spektrum dengan peredaman *passband* 0 dB, dengan persamaan:

$$k_{odB} = (4096 - od) / M \dots\dots\dots(10)$$

dimana k_{odB} = nilai koefisien blok dengan peredaman *passband* pada 0 dB

- od = orde tapis
- M = panjang tapis

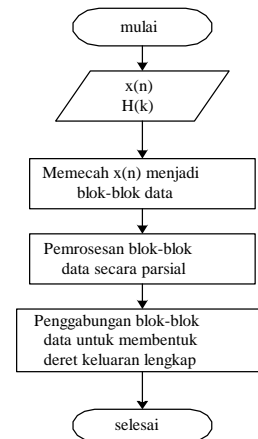
Konstanta 4096 diperoleh dari panjang *DCT* yang menghasilkan persentase kompresi sehingga energi sinyal keluaran memperoleh peredaman pada 0 dB.

3.2 Penerapan Metode Overlap-Add

Prinsipnya adalah, deret masukan dibagi dalam blok-blok sepanjang L . Untuk setiap blok ditambahkan sejumlah $M-1$ nol, sedangkan untuk keperluan transformasi blok, panjang *DCT* dan *IDCT* yang dipakai adalah $N=L+M-1$, dengan M adalah panjang tapis *FIR*. Selanjutnya, dua N -titik *DCT* diperkalikan untuk membentuk:

$$Y_b(n) = H(n) X_b(n) \quad n = 0, 1, \dots, N-1 \dots\dots\dots(11)$$

IDCT dari $Y_b(n)$ diatas akan menghasilkan blok data sepanjang N . Karena setiap blok data mendapat tambahan $M-1$ titik, maka sejumlah $M-1$ titik yang terakhir disetiap blok harus *overlap* dan dijumlahkan ke sejumlah $M-1$ titik yang pertama yang ada di blok selanjutnya. Hasil dari *overlapping* dan penjumlahan ini akan menghasilkan data keluaran $y(n)$. Dengan diagram alir, ditunjukkan pada Gambar 5.



Gambar 5 Diagram alir metode *overlap-add*

Untuk melakukan pemrosesan blok, dilakukan secara parsial yaitu berurutan untuk setiap blok. Sehingga terjadi proses perulangan (*looping*) yang akan berhenti pada saat mencapai panjang masukan.

3.2.1 Memecah Deret Masukan

Untuk masing-masing blok, terdiri titik-titik L dan $M-1$ nol tambahan sehingga panjangnya adalah N . Jadi, blok-blok data dapat digambarkan sebagai :

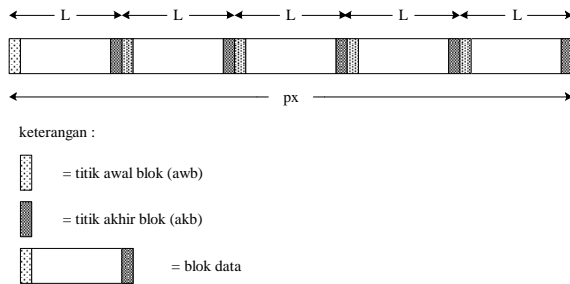
$$x_1(n) = \{x(0), x(1), \dots, x(L-1), 0, 0, \dots, 0\}$$

$$x_2(n) = \{x(L), x(L+1), \dots, x(2L-1), 0, 0, \dots, 0\}$$

$$x_3(n) = \{x(2L), x(2L+1), \dots, x(3L-1), 0, 0, \dots, 0\} \dots\dots(12)$$

dan seterusnya.

Berdasarkan persamaan (12), proses pemecahan data masukan dapat diilustrasikan sesuai Gambar 6.



Gambar 6 Pemecahan deret masukan menjadi blok-blok

Dari bagan pada Gambar 6, maka langkah-langkah yang perlu dilakukan untuk melakukan pemecahan data masukan adalah :

1. Memberi nilai awal untuk blok pertama, $awb=1$
2. Jarak perulangan atau jarak antara awal blok pertama dengan awal blok berikutnya adalah sebesar panjang blok, L
3. Menghentikan perulangan saat melebihi panjang masukan.

3.2.2 Pemrosesan Blok

Dalam pemrosesan blok, ada 3 langkah yang dilakukan, yaitu :

1. Menentukan DCT untuk masing-masing blok
 2. Mengalikan DCT dari tiap blok dengan DCT dari tanggapan impuls FIR
 3. Menentukan $IDCT$ dari hasil perkalian langkah 2
- Panjang DCT untuk mentransformasikan tiap-tiap blok adalah $pdct=L+M-1$. Blok yang semula panjangnya L bertambah menjadi sepanjang $pdct$ dengan penambahan nol sebanyak $M-1$.

Apabila panjang blok terakhir kurang dari L , maka kekurangan itu diasumsikan adalah data nol, sehingga panjang blok adalah L . Hal ini tidak akan mempengaruhi hasil transformasi, dan dapat dijelaskan sebagai berikut :

Misal : data yang seharusnya, $x = [1 \ 2]$.

$$X = DCT(x,6) = [8.57 \ 9.61 \ 3.50 \ -2.85 \ -6.06 \ -4.66]$$

Hasil yang sama diperoleh meski x ditambahi data baru yaitu nol .

$$x = [1 \ 2 \ 0 \ 0]$$

$$X = DCT(x,6) = [8.57 \ 9.61 \ 3.50 \ -2.85 \ -6.06 \ -4.66]$$

Namun, apabila pemecahan data masukan menyisakan satu data terakhir yaitu data pada titik panjang masukannya, maka data tersebut akan dipanjangkan menjadi $pdct$ dengan data yang sama. Hal ini dapat dijelaskan sebagai berikut :

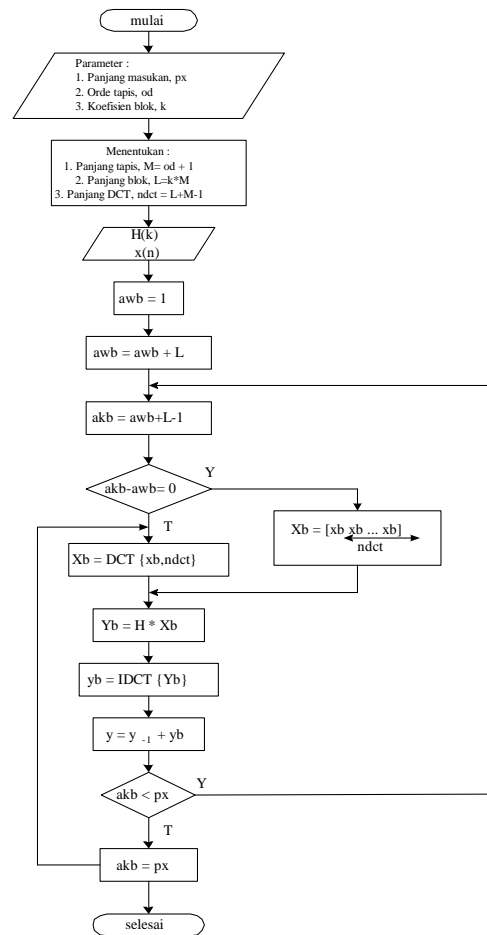
Misal : $x = [9]$

$$X = DCT(x) = [9]$$

Sehingga, apabila ditemui kondisi dimana blok terakhir hanya memiliki 1 data, maka tidak akan ditransformasikan, melainkan akan digandakan sebanyak $pdct$. Misal $x = [9]$, maka $X = [9 \ 9 \ 9 \dots 9]$.

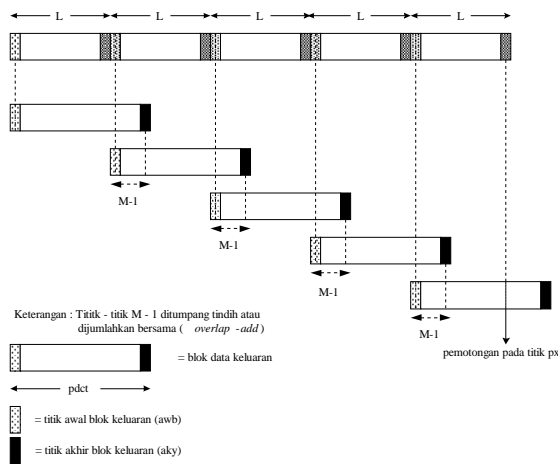
3.2.3 Penggabungan Blok-Blok

Dengan meninjau kembali proses pembentukan blok-blok data, pemrosesan hingga penggabungan kembali untuk membentuk deret keluaran lengkap, maka dapat diilustrasikan dengan diagram alir Gambar 7.



Gambar 7 Diagram alir penerapan *overlap-add* pada program simulasi

Untuk menggambarkan proses penggabungan blok, diilustrasikan dengan Gambar 8.



Gambar 8 Skema penggabungan blok-blok

Berdasar Gambar 8, proses penggabungan blok dilakukan dengan langkah:

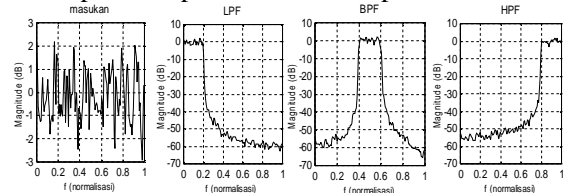
1. menentukan panjang blok keluaran sebesar $pdct$
2. memotong blok terakhir pada titik panjang masukan
3. deretan blok sebelumnya ditetapkan sebagai nilai awal bagi blok yang sedang diproses

4. SIMULASI DAN ANALISIS

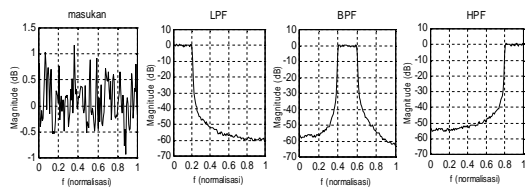
4.1 Hasil simulasi

4.1.1 Pengaruh Panjang masukan

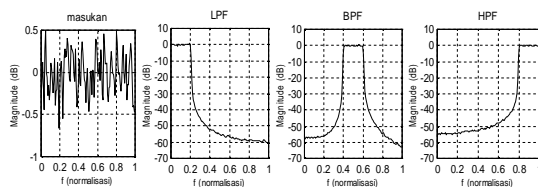
Orde tapis dan koefisien blok ditetapkan masing-masing sebesar 256 dan 14. Panjang masukan adalah :5.000 ms, 30.000 ms, dan 100.000 ms., diperoleh spektrum keluaran pada Gambar 9.



(a) Panjang masukan = 5.000 ms



(b) Panjang masukan = 30.000 ms



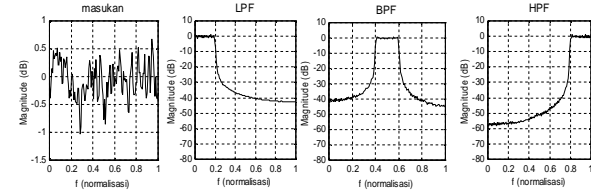
(c) Panjang masukan = 100.000 ms

Gambar 9 Spektrum keluaran *FIR* dengan panjang masukan bervariasi

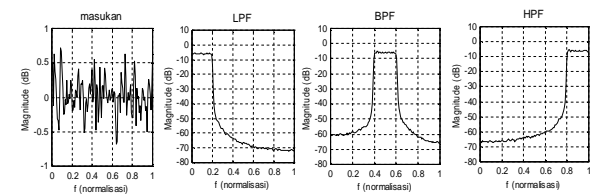
Diperoleh hasil sama untuk semua harga panjang masukan dalam hal *magnitude* peredaman pada *passband* dan *stopband*. Hanya, untuk panjang masukan yang lebih besar memiliki riak *passband* dan *stopband* lebih sedikit. Pada *LPF*, *BPF*, dan *HPF* mempunyai redaman sama pada *passband* sebesar 0 dB. Sedangkan peredaman *stopband* untuk *LPF*, *BPF*, dan *HPF* sebesar -60 dB.

4.1.2 Pengaruh orde tapis

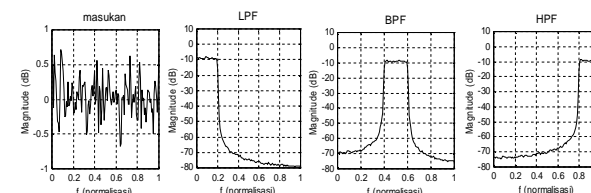
Harga panjang masukan = 50.000 ms dan koefisien blok = 16, orde tapis yang akan disimulasikan adalah 128, 512, dan 1024. Diperoleh spektrum yang ditunjukkan pada Gambar 10.



(a) orde = 128



(b) orde = 512



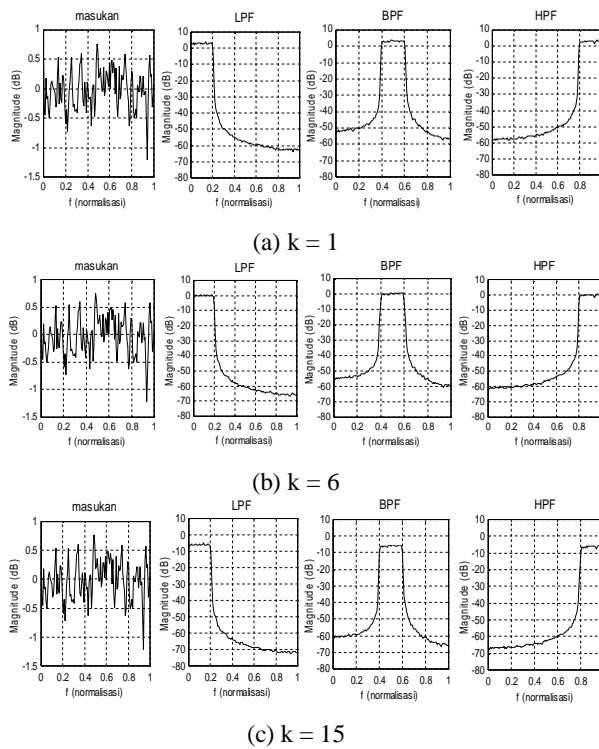
(c) orde = 1024

Gambar 10 Spektrum keluaran *FIR* dengan orde tapis bervariasi

Makin besar orde tapis, memperbesar peredaman pada *stopband* (*stopband attenuation*), dengan kata lain unjuk kerja penapisan semakin baik. *Stopband attenuation* untuk masing-masing orde tapis 128, 512 dan 1024 sebesar -40 dB, -60 dB, dan -70 dB. Untuk peredaman pada *passband*, dengan koefisien blok tetap, orde tapis yang makin besar terlihat menurunkan *magnitude passband*.

4.1.3 Pengaruh Koefisien Blok

Panjang masukan dan orde tapis ditetapkan sebesar 50.000 ms dan 512. Nilai koefisien blok yang disimulasikan sebesar 1, 6, dan 15. Diperoleh spektrum seperti pada Gambar 11.



Gambar 11 Spektrum keluaran *FIR* dengan koefisien blok bervariasi

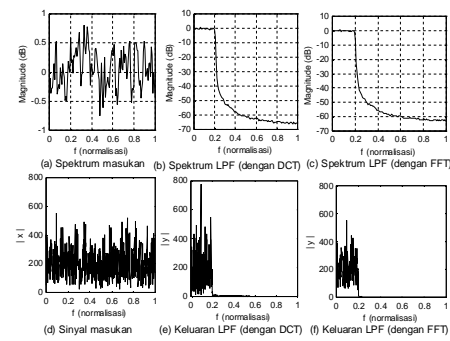
Perubahan koefisien blok mempengaruhi bidang *passband* dan *stopband*. Makin besar koefisien blok akan menurunkan keduanya. Dengan kata lain, menurunnya *passband*, diikuti dengan menurunnya peredaman pada *stopband* yang besarnya sebanding. Ditinjau dari unjuk kerja penapisan, perubahan koefisien blok tidak berpengaruh pada riak dan lebar transisi. Sehingga, perubahan koefisien blok hanya mempengaruhi kompresi dari sinyal keluarannya. Makin besar koefisien blok, sinyal terkompresi lebih besar, sehingga tingkatan energi sinyal makin kecil.

4.2 Analisis Hasil Simulasi

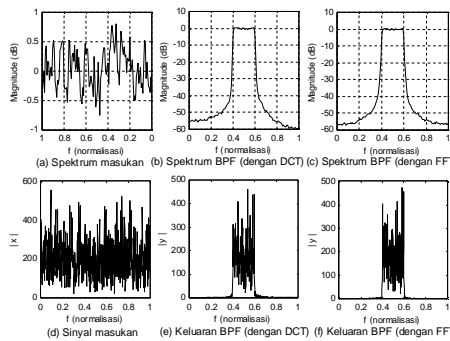
Umumnya, penapisan *FIR* dengan metode *overlap-add* adalah menggunakan *FFT* sebagai transformasi diskritnya. Atas dasar hal tersebut, maka hasil simulasi pada tugas akhir ini, perlu dilakukan analisis dan pengujian hasilnya, dengan membandingkan antara keduanya.

4.2.1 Spektrum

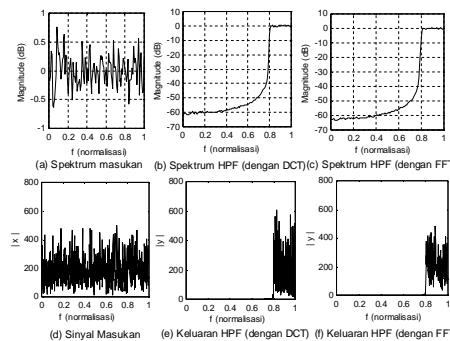
Perbandingan menggunakan parameter: panjang masukan 50.000 ms, orde tapis 512, dan *k* sebesar 6. Diperoleh grafik spektrum pada Gambar 12, Gambar 13, dan Gambar 14.



Gambar 12 Perbandingan spektrum dan keluaran tapis *LPF* dengan *DCT* dan *FFT*



Gambar 13 Perbandingan spektrum dan keluaran tapis *BPF* dengan *DCT* dan *FFT*



Gambar 14 Perbandingan spektrum dan keluaran tapis *HPF* dengan *DCT* dan *FFT*

Untuk parameter yang diberikan, proses penapisan menghasilkan unjuk kerja penapisan yang baik. Namun, perbedaan antara kedua metode tersebut tampak dengan melihat data hasil simulasi. Hal ini ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1 Hasil simulasi untuk energi masukan=1,0023 J dengan panjang masukan=50.000 ms, orde=512, dan k=6

	Dengan <i>DCT</i>	Dengan <i>FFT</i>
Energi keluaran	0,22575 J	0,20498 J
% kompresi data	69,875 %	71,199 %

Dari Tabel 1, persentase kompresi antara metode *overlap-add* dengan *DCT* dan *FFT* sangat kecil

selisihnya.. Begitu pula dengan energi sinyal keluarannya. Sehingga, spektrum keduanya sangat mirip.

4.2.2 Energi Sinyal

Energi suatu sinyal dapat diperoleh dengan persamaan berikut :

$$E = \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} x^2(n) \text{ Joule} \dots \dots \dots (13)$$

Tabel 2 Data energi sinyal masukan dan keluaran

Panjang masukan (ms)	Orde tapis	Koefisien blok	Energi Masukan (J)	Energi DCT (J)	Energi FFT (J)	Kompresi DCT (%)	Kompresi FFT (%)
5.000 30.000 100.000	256	14	0,99645	0,21011	0,20600	71,285	71,182
			1.00180	0,20379	0,19924	71,460	71,780
			0,98698	0,20007	0,19698	71,514	71,625
50.000	128	16	0,99492	0,19882	0,18801	71,666	72,498
	512		0,99910	0,04958	0,19919	85,827	71,744
	1024		0,99209	0,02480	0,19879	90,030	71,503
50.000	512	1	1,00041	0,40176	0,19934	60,293	71,661
		6	1,01260	0,19906	0,20086	71,663	71,937
		15	1,01230	0,04954	0,20169	85,781	71,704
100.000	256	8	0,99945	0,19520	0,20255	71,825	71,361
	1024	8	0,99703	0,04936	0,19632	85,956	71,954
	1024	2	0,98898	0,19736	0,19702	72,178	71,694

Untuk penapisan FIR dengan DCT, energi dan kompresi sinyal keluaran sangat dipengaruhi oleh parameter yang menjadi masukannya yaitu orde tapis dan koefisien blok. Makin besar salah satu dari kedua parameter tersebut, akan menaikkan persentase kompresi data dan memperkecil energi keluarannya. Hal ini dikarenakan, kedua parameter tersebut menentukan panjang DCT dan IDCT yang digunakan. Sedangkan, dengan FFT cenderung tetap terhadap perubahan parameter masukannya.

Tabel 3 Data efisiensi simulasi

Panjang masukan (ms)	Orde tapis	Koefisien blok	Dengan DCT		Dengan FFT	
			Jumlah operasi aritmatika	Lama eksekusi (detik)	Jumlah operasi aritmatika	Lama eksekusi (detik)
5.000 30.000 100.000	256	14	1.822.543	0,38	1.057.706	0,22
			6.353.213	1,43	3.820.756	0,77
			20.691.072	4,61	12.551.889	2,64
50.000	128	16	10.126.402	2,26	2.895.126	1,27
	512		14.378.088	3,03	3.240.441	1,81
	1024		16.292.001	3,35	4.796.169	2,09
50.000	512	1	12.111.135	2,80	7.157.268	1,15
		6	10.882.211	2,42	6.580.462	1,37
		15	14.378.088	3,02	8.957.287	1,81
100.000	256	8	20.691.072	4,67	12.551.889	2,58
	1024	8	24.169.451	5,06	15.215.108	3,18
	1024	2	25.221.414	5,40	15.314.283	3,13

Sedangkan persentase kompresi diperoleh dengan persamaan :

$$\% \text{Kompresi} = \frac{abs(x) - abs(y)}{abs(x)} \cdot 100 \dots \dots \dots (14)$$

dimana x = sinyal masukan

y = sinyal keluaran

N = panjang sinyal

Data energi sinyal dari metode overlap-add dengan DCT dan FFT untuk setiap variasi harga panjang masukan, orde tapis, koefisien blok, ditunjukkan pada Tabel 2.

Sehingga, penerapan DCT pada penapisan FIR harus memperhatikan kompresi data sebagai salah satu faktor yang berpengaruh.

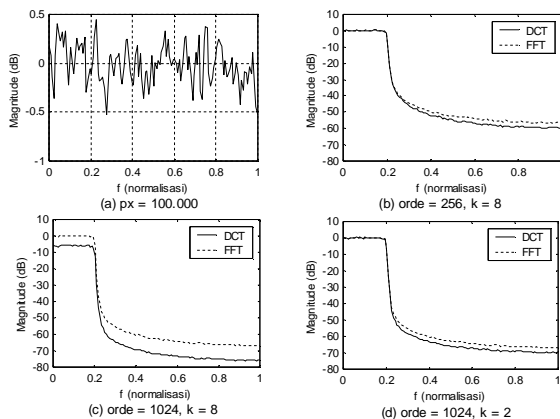
4.2.3 Efisiensi Metode Overlap-Add

Untuk data simulasi pada laporan ini, penulis menggunakan komputer (onboard) dengan spesifikasi : prosesor Pentium II Celeron 400 MHz, RAM 64 MB. Hasilnya ditunjukkan pada Tabel 3.

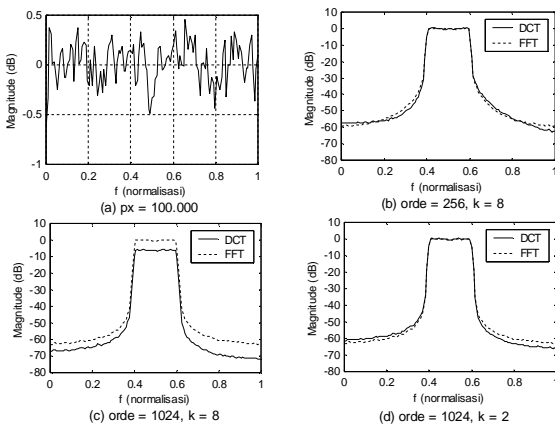
Dari Tabel 3, metode *overlap-add* menggunakan *FFT* lebih efisien dibandingkan *DCT*. Hal ini membuktikan teori yang ada bahwa pemilihan *FFT* sebagai algoritma penapisan dalam metode *overlap-add* adalah karena efisiensinya yaitu operasi aritmatika yang dijalankan lebih sedikit dan lebih singkat.

4.2.4 Perbandingan Pengaruh Parameter Masukan

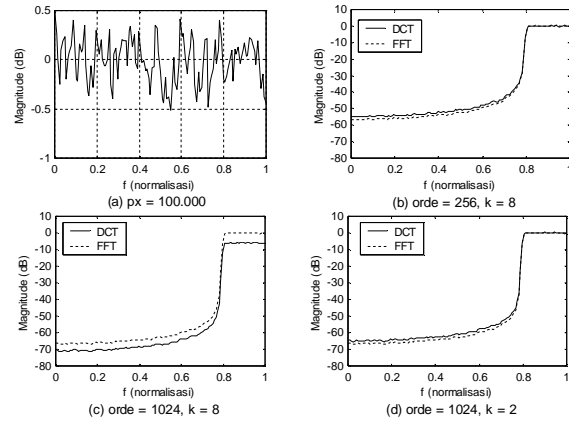
Tujuannya mendapatkan data perbandingan antara penapisan *FIR* menggunakan *DCT* dengan *FFT* secara menyeluruh. Spektrum keduanya dibandingkan dalam satu grafik. Harga panjang masukan tetap sebesar 100.000 ms, sedangkan orde tapis dan koefisien blok bervariasi. Dimulai dengan kenaikan orde tapis dari 256 menjadi 1024, sementara koefisien bloknya tetap sebesar 8. Lalu nilai koefisien blok diturunkan dari 8 menjadi 2, sementara orde tapis tetap sebesar 1024. Hasilnya untuk *LPF*, *BPF*, dan *HPF*, masing-masing ditunjukkan pada Gambar 15, Gambar 16, dan Gambar 17.



Gambar 15 Perbandingan spektrum hasil penapisan *LPF*



Gambar 16 Perbandingan spektrum hasil penapisan *BPF*



Gambar 17 Perbandingan spektrum hasil penapisan *HPF*

Pada beberapa parameter tertentu, tampak spektrum yang menggunakan *DCT* sama atau berimpitan dengan yang menggunakan *FFT*. Pada kenaikan orde tapis, diikuti dengan menurunnya tingkatan energi dari sinyal keluarannya. Namun, dengan mengatur besarnya koefisien blok sedemikian hingga diperoleh tingkatan energi yang mendekati dari sinyal keluaran tapis *FIR* yang menggunakan *FFT*. Sehingga, dengan parameter yang tepat, penerapan *DCT* pada tapis *FIR* dengan metode *overlap-add* dapat menghasilkan unjuk kerja penapisan yang sama dengan yang menggunakan *FFT*. Dengan kata lain, *DCT* dapat digunakan sebagai alternatif penapisan *FIR* dalam kawasan transformasi diskrit, selain *FFT*. Keuntungan dari penerapan *DCT* adalah dapat mengatur persentase kompresi dari sinyal hasil penapisan.

5. PENUTUP

5.1 Kesimpulan

1. *Discrete Cosine Transform (DCT)* dapat digunakan sebagai pengganti alternatif *Fast Fourier Transform (FFT)* untuk penapisan digital *FIR* dalam kawasan transformasi diskrit dengan metode *overlap-add*. Keduanya menunjukkan unjuk kerja penapisan yang mirip meliputi riak dan lebar transisi. Pada beberapa parameter tertentu, keduanya menghasilkan spektrum yang sama.
2. Dengan parameter orde tapis sebesar 128, 256, 512, dan 1024, spektrum keluaran tapis *FIR* dengan *DCT* menunjukkan performansi penapisan sama dengan yang menggunakan *FFT*.
3. Dalam hal proses komputasi, metode *overlap-add* menggunakan *FFT* lebih efisien dibandingkan dengan *DCT*, karena waktu eksekusi yang lebih singkat dan operasi aritmatika yang lebih sedikit.
4. Keluaran tapis *FIR* dengan *DCT* harus memperhatikan kompresi data sebagai salah satu

- faktor yang berpengaruh. Perubahan panjang *DCT* akan mempengaruhi persentase kompresi dari sinyal keluarannya. Sedangkan dengan *FFT* cenderung tetap. Keuntungannya adalah, dengan *DCT* bisa diperoleh sinyal hasil penapisan yang memiliki energi mendekati dari energi masukannya.
- Unjuk kerja penapisan, meliputi *passband ripple*, *stopband attenuation*, dan lebar transisi dipengaruhi oleh orde tapis dan panjang masukan sebagai parameter masukannya.
 - Persentase kompresi dan energi sinyal keluaran dipengaruhi oleh orde tapis dan koefisien blok sebagai parameter masukannya.

5.2 Saran-Saran

- Dalam hal kecepatan proses komputasi, program simulasi ini dapat dicoba bentuk lain dari *DCT* yaitu *Fast DCT* sebagai alternatif pengembangan.
- Penapisan yang baik adalah dimana peredaman *passband* pada 0 dB. Oleh karenanya, untuk memberikan nilai parameter koefisien blok adalah nilai koefisien blok terbaik yang telah dihitung dengan rumus.
- Untuk efisiensi penapisan dalam kawasan transformasi diskrit, dapat diterapkan metode pemrosesan blok yang lain, yaitu metode *overlap-save* sebagai alternatif.
- Untuk pengembangan lebih lanjut, dapat dicoba penapisan *FIR* untuk *image processing*, yaitu berupa sinyal 2 dimensi (grafik *image*), dengan menggunakan *DCT* dalam bentuk 2 dimensi.

VI. DAFTAR PUSTAKA

- Brigham, E. Oran, *The Fast Fourier Transform and Its Application*, Prentice Hall, New Jersey, 1988
- Burrus, C.S, Parks, T.W, *Digital Filter Design*, Wiley, New York, 1987
- Burrus, C.S, *Computer Based Exercises for Signal Processing Using MATLAB*, Prentice Hall, New Jersey, 1994
- De Fatta D.J, Lucas J.G, *Digital Signal Processing*, Wiley, New York, 1988
- Hanselman, Duane, *The Student Edition of MATLAB Version 5 User's Guide*, Prentice Hall, New Jersey, 1997
- Hayes, Monson H, *Theory and Problems of Digital Signal Processing*, McGraw-Hill, New York, 1999

- Ifeachor, Emmanuel C, *Digital Signal Processing : A Practical Approach*, Addison Wesley, London, 1993
- Kraus, Thomas P, *Signal Processing Toolbox User's Guide Version 4.2*, The Mathworks Inc, Massachuset, 1999
- Kuo, Roman, *Introduction to Digital Signal Processing*, McGraw-Hill, New York, 1988
- Oppenheim, Alan V, *Sinyal dan Sistem Jilid 1*, Diterjemahkan oleh S Hamid Nawab, Edisi ke-2, Erlangga, Jakarta, 2000
- Oppenheim, Alan V, *Sinyal dan Sistem Jilid 2*, Diterjemahkan oleh S Hamid Nawab, Edisi ke-2, Erlangga, Jakarta, 2000
- Proakis, John G, *Advanced Digital Signal Processing*, MacMillan, New York, 1992
- Proakis, John G, *Digital Signal Processing : Principles, Algorithms, and Applications*, 3rd Edition, Prentice Hall, New Jersey, 1995
- Proakis, John G, *Pemrosesan Sinyal Digital Jilid 1*, Diterjemahkan oleh Drs Rudy Gultom MT, Dra Nunik Nurida, Edisi ke-3, PT Prenhallindo, Jakarta, 1997
- Smith, Winthrop W, *Handbook of Real Time Fast Fourier Transform*, IEEE Press, New York, 1995

Penulis :
 Muh Taufik Setyawan
 Mahasiswa Jurusan Teknik
 Elektro (NIM L2F097659)
 Universitas Diponegoro
 Semarang
 Konsentrasi Kontrol

Menyetujui

Dosen Pembimbing I Dosen Pembimbing II

Wahyudi, ST. MT.
 NIP 13086662

Sumardi, ST. MT.
 NIP.132125670