

Implementasi Filter Digital Finite Impulse Response Metode Penjendelaan Hamming pada DSP

Endah Sudarmilah, Gunawan Ariyanto, Heru Supriyono
Teknik Elektro Universitas Muhammadiyah Surakarta

Abstrak

Filter digital adalah suatu piranti yang sangat dibutuhkan oleh sistem-sistem elektronika. Perancangan tapis digital memiliki beberapa metode dan salah satunya adalah metode penjendelaan Hamming. Pengimplementasian suatu rancangan filter digital ke dalam perangkat keras yang mampu memiliki kinerja secara waktu nyata (*real-time*) sampai saat ini masih menjadi permasalahan tersendiri. Dalam penelitian ini akan diimplementasikan sebuah filter digital bandpass dengan metode penjendelaan hamming ke dalam perangkat keras berupa Digital Signal Processor (DSP) TMS320C6711. Hasil menunjukkan bahwa filter tersebut dapat bekerja secara *real-time* dan memenuhi spesifikasi yang telah ditentukan. Filter digital metode penjendelaan Hamming tersebut memiliki performa berupa $f_{s1}=276$ Hz, $f_{p1}=337$ Hz, $f_{p2}=3350$ Hz, $f_{s2}=3420$ Hz dan bandstop attenuation sebesar -28 dB.

Kata Kunci: digital signal processor, filter digital, jendela hamming.

1. Pendahuluan

Filter digital adalah suatu prosedur matematika/ 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. FIR sering juga disebut sebagai filter non rekursif 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 tapis digital FIR. Salah satu metode yang sering digunakan adalah metode penjendelaan. Dalam metode penjendelaan itu sendiri ada beberapa teknik yang tergantung pada jenis jendela yang digunakan. Unjuk kerja metode penjendelaan sangat tergantung pada type jendela yang digunakan. Ini adalah suatu yang sangat menarik untuk meneliti pengaruh masing-masing jendela terhadap unjuk kerja tapis serta untuk mengetahui kelebihan dan kekurangan masing-masing jendela relatif terhadap jendela lainnya. Salah satu metode penjendelaan yang sering digunakan adalah penjendelaan hamming.

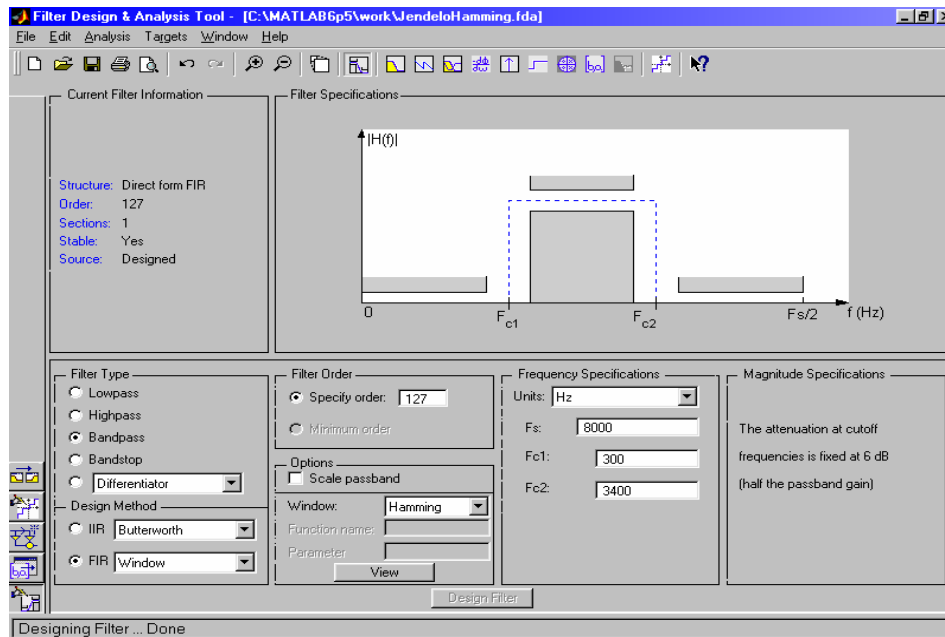
Ide dasar dalam perancangan jendela adalah memilih tapis terpilih frekuensi ideal yang tepat dan lalu memotong tanggapan impulsnya untuk mendapatkan tapis FIR yang kausal dan fase-linier. Oleh karena itu, penekanan pada metode ini adalah pada pemilihan sebuah fungsi penjendelaan yang tepat dan sebuah tapis ideal yang tepat.

Langkah-langkah penentuan koefisien filter, $h(n)$, dengan metode penjendelaan adalah sebagai berikut:

1. Tentukan spesifikasi filter yang diinginkan (lebar transisi, passband ripple, dan stopband attenuation) dan tentukan juga tanggapan frekuensi dari filter idealnya, $H_d(w)$.
2. Dengan invers transformasi Laplace, carilah tanggapan impuls, $h_d(n)$, dari filter ideal di atas.
3. Pilihlah suatu fungsi penjendelaan, $w(n)$, yang memenuhi spesifikasi yang telah ditentukan. Hal ini dapat dilakukan dengan melihat tabel ringkasan yang memuat sifat dan ciri dari masing-masing jendela (dapat dilihat di lampiran).
4. Tentukan koefisien filter yang sesungguhnya, $h(n)$, yang diperoleh dengan cara mengalikan $h_d(n)$ dengan $w(n)$.

Semua langkah-langkah perancangan di atas dapat dikerjakan dengan lebih mudah bila menggunakan software bantu perancangan filter. Salah satu software perancangan filter adalah FDATool (singkatan dari Filter Design and Analysis Tool) yang terdapat di Toolbox Signal Processing MATLAB.

Setelah tahap perancangan selesai dan hasil simulasi sudah memuaskan, maka koefisien-koefisien



Gambar 1. Tampilan jendela FDATool

tapis digital yang sudah diperoleh kemudian diimplementasikan ke dalam DSP TMS320C6711. Dalam penelitian ini digunakan sebuah kit/kartu DSP yang disebut dengan DSK (DSP Starter Kit) TMS320C6711. Di dalam kartu tersebut berisi komponen utama, yaitu DSP TMS320C6711, dan beberapa peripheral tambahan sehingga kartu tersebut menjadi siap digunakan untuk berbagai percobaan yang berkaitan dengan pengolahan isyarat digital.

DSK TMS320C6711 selain berupa hardware (yaitu kartu DSP itu sendiri) juga menyertakan software pendukungnya, yaitu yang disebut dengan CCS (Code Composer Studio). CCS adalah sebuah IDE (Integrated Development Environment) yaitu sebuah program yang sudah terpadu yang dikhususkan untuk pengembangan software-software pengolahan isyarat digital yang berbasis processor keluarga DSP TMS320C5000 dan TMS320C6000. CCS menyediakan banyak hal mulai dari editor untuk penulisan program, compiler, linker, berbagai tool untuk proses debugger dan manajemen sebuah project, serta sampai pada tool-tool untuk transfer data secara real-time antara host (PC) dan Target (DSK).

2. FDATool pada MATLAB

Matlab adalah software komputasi yang sangat handal. Matlab dapat mengolah data yang bertipe vector dan matrik secara efisien sehingga cocok digunakan untuk komputasi pada persoalan-persoalan pengolahan isyarat digital. Sebagai bahasa pemrograman, matlab menyediakan sekumpulan program yang dikelompokkan ke dalam bentuk toolbox-toolbox pada masing-masing bidang ilmu, khususnya bidang ilmu teknik elektro. Salah satu toolbox yang ada di matlab adalah signal processing toolbox. Selain handal dalam hal komputasi, matlab juga mampu menyediakan interface pemrograman secara visual

yang sangat memudahkan bagi para pengguna. Interface ini sering disebut dengan istilah GUI (Graphical User Interface).

Dari beberapa fasilitas yang ada diatas, terciptalah tool yang disebut dengan FDATool (Filter Design and Analysis Tool). Tool ini adalah bagian dari signal processing toolbox yang memang dikhususkan untuk perancangan dan analisa suatu filter. FDATool menyediakan tampilan berupa GUI yang sangat mudah dioperasikan, bahkan oleh orang awam yang baru belajar filter sekalipun.

Tampilan jendela FDATool adalah seperti pada gambar 1. Ada dua bagian penting yang dimiliki oleh FDATool, yaitu yang pertama adalah bagian untuk perancangan filter dan yang kedua adalah bagian untuk analisa filter.

Pada bagian pertama matlab menyediakan berbagai metode perancangan filter semisal Butterworth, Chebyshev, Elliptic, Equiripple, jendela Hamming, jendela Kaiser dan masih banyak lagi. Langkah pertama perancangan diawali dengan penentuan jenis filter berdasarkan frekuensi yang diloloskan, semisal bandpass. Setelah itu dilanjutkan dengan pemilihan tipe filter berdasarkan tanggapan impulsnya, semisal FIR. Langkah berikutnya adalah menentukan metode perancangan yang akan digunakan, semisal penjendelaan Hamming, dan juga spesifikasi filter, yaitu frekuensi cut-off, lebar bidang lolos frekuensi dan stopband attenuation (redaman).

Setelah selesai mendesain sebuah filter, maka akan dilanjutkan dengan bagian kedua, yaitu bagian analisis filter tersebut. Pada bagian ini matlab menyediakan berbagai fasilitas analisis, yaitu berupa informasi tanggapan magnitude, tanggapan fase, tanggapan impulse, gambar pole dan zero, serta informasi yang berupa nilai koefisien filter yang telah kita rancang.

3. DSK(DSP Starter Kit) TMS320C6711 dan CCStudio

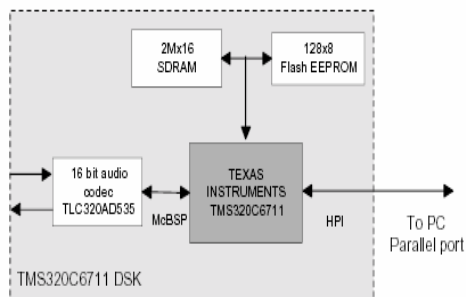
3.1. DSK TMS320C6711

DSK TMS320C6711 adalah kit DSP yang diproduksi oleh Texas Instrument. DSK menyediakan berbagai fasilitas yang tidak hanya memungkinkan kita untuk mengenal teknologi DSP keluarga TMS320C6000 tetapi juga lebih dari itu yaitu mampu membuat aplikasi dibidang pemrosesan signal digital secara cepat. Sistem DSK TMS320C6711 terdiri atas DSK board, kabel Connector PC-DSK melalui port paralel (LPT1), dan sebuah universal power supply beserta kabel power. DSK board terdiri atas prosesor DSP (DSP TMS320C6711 beroperasi pada clock 150 MHz), 4M byte memori SDRAM, 128K byte memori flash, sebuah audio codec 16-bit (TLC320AD535), sebuah antarmuka port paralel ke port paralel PC, sebuah HPI (Host Port Interface) untuk mengakses semua memori DSP, controller JTAG Emulation, dan sebuah konektor yang mendukung papan tambahan (daughterboard).

3.2. CCStudio

Sistem DSK TMS320C6711 disertai dengan software pendukung yaitu Code Composer Studio (CCStudio) IDE, yang juga dibuat oleh Texas Instrument. IDE (Integrated Development Environment) pada CCStudio memungkinkan untuk meng-edit, build, dan men-debug program pada target. Project adalah istilah untuk pembuatan suatu aplikasi. Suatu aplikasi dibuat dengan memasukan file-file yang diperlukan ke dalam project untuk kemudian dilakukan proses build. File pada project dapat berupa file source C, file source assembly, file object, library, file include, dan linker command file. Pada dasarnya proses build adalah proses kompilasi, pembuatan assembly dan proses penge-link-an yang dilakukan secara berurutan. Setelah proses build selesai dilakukan dan tidak ditemukan kesalahan, maka CCStudio akan otomatis membangkitkan file executable (*.out), yaitu file yang sudah siap untuk di-download-kan secara langsung ke target (papan DSK TMS320C671).

CCS juga mendukung kegiatan debugging antara lain: setting Breakpoint, secara otomatis meng-update jendela saat breakpoint, mengamati nilai variabel,



Gambar 2. DSK TMS320C6711

melihat dan mengamati memori dan register, menggunakan probe point untuk mengalirkan data dari dan ke target untuk mengumpulkan snapshot memory, menggambarkan sinyal yang ada pada target, melakukan profiling terhadap statistik eksekusi, memeriksa instruksi C dan instruksi yang di-disassembly pada target.

4. Perancangan Simulasi dan Implementasi Filter

Tahapan-tahapan dalam perancangan sebuah filter dapat disederhanakan menjadi tiga tahap berikut ini:

1. Tahap penentuan spesifikasi filter.
2. Tahap perhitungan/pencarian nilai-nilai koefisien filter tersebut.
3. Tahap implementasi.

4.1. Tahap Penentuan Spesifikasi Filter

Filter yang akan dirancang dalam penelitian ini adalah berupa filter yang akan digunakan untuk komunikasi suara yang bersifat linier time invariant. Filter jenis ini juga digunakan oleh Ali Musyafa [1] dalam penelitiannya. Filter tersebut adalah filter pelolos bidang dengan batas bawah 300Hz dan batas atas 3400Hz. Spesifikasi filter selengkapnya adalah seperti yang tertera di tabel 1.

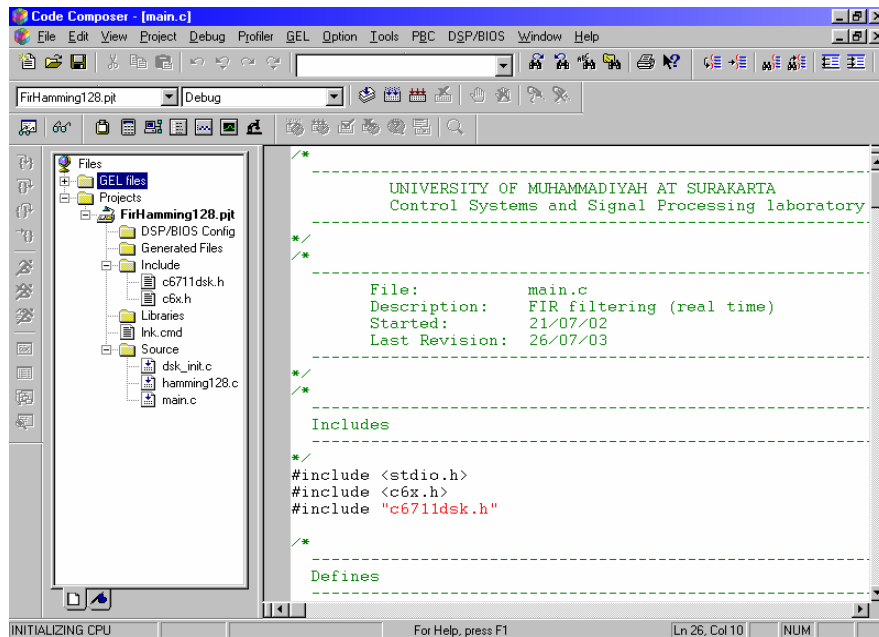
4.2. Tahap Perhitungan Koefisien Filter dengan Matlab

Seperti yang telah dijelaskan dimuka, bahwa Matlab telah menyediakan tool yang handal yang dapat membantu dalam proses perancangan dan analisis filter. Tool tersebut adalah FDATool. Dengan FDATool kita hanya memasukan semua spesifikasi filter yang telah kita tentukan ke dalam form yang berkesesuaian dengan masing-masing data spesifikasi. Setelah itu matlab akan menghitung dan menampilkan koefisien filter tersebut. Matlab juga dapat membuat tanggapan amplitud dan fase dari filter tersebut. Jadi proses simulasi filter (melihat tanggapan amplitud dan fase terhadap frekuensi dalam sebuah program komputasi) dapat dikerjakan dengan mudah oleh matlab.

Penelitian kali ini menggunakan metode penjendelaan hamming yang pengisian form pada FDATool adalah seperti yang tampak pada gambar 1.

Tabel 1. Spesifikasi Filter

Jenis Filter	Bandpass (pelolos bidang)
Frekuensi Sampling	8000 Hz
Frekuensi Batas Bawah	300 Hz
Lebar Bidang Transisi Batas Bawah	75 Hz
Frekuensi Batas Atas	3400 Hz
Lebar Bidang Transisi Batas Atas	75 Hz
Deviasi (riak) pada bidang lolos	0.1 (0.83 dB)
Redaman (Stopband Attenuation)	0.1 (20 dB)



Gambar 3. Code Composer Studio

Hal penting yang perlu diketahui berkenaan dengan fasilitas yang ada pada FDATool adalah berupa pembangkitan secara otomatis file header (*.h) yang berisi koefisien filter. File header ini nantinya akan langsung digunakan oleh CCStudio. Jadi kita tidak lagi susah-susah menyalin nilai koefisien filter yang telah kita buat, FDATool telah mengerjakannya untuk kita.

4.3. Tahap Implementasi Filter ke dalam DSK TMS320C6711

Setelah nilai koefisien didapatkan dan tanggapan amplitude-fase terhadap frekuensi berhasil disimulasikan, maka tahap berikutnya adalah menerapkan filter tersebut ke dalam DSK TMS320C6711. Dalam proses implementasi ini, perangkat keras (berupa DSK board) sudah tersedia (tidak dirancang oleh peneliti), peneliti cukup mengetahui komponen-komponen yang ada pada DSK board dan lebih berkonsentrasi pada pembuatan program filter pada platform DSK tersebut.

Program filter dibuat dalam bahasa C mengingat kemudahan yang ditawarkan oleh bahasa tersebut bila dibanding dengan bahasa assembly. Keseluruhan program yang dibuat melibatkan beberapa tipe file, yaitu file dengan sumber C (*.c), file include, dalam hal ini file header (*.h), dan file untuk linker (*.cmd). File-file seluruhnya yang dibuat untuk membuat program filter penjadwalan hamming terlihat pada gambar 3.

4.4. Alur Eksekusi Program.

Dalam proses bekerjanya, program filter hamming menggunakan 4 buah komponen utama (CPU dan peripheral) yang ada di dalam DSK, yaitu CPU DSP TMS320C6711, memori, codec 16-bit TLC32AD535 (didalamnya terdapat ADC dan DAC), dan serial port/McBSP-Multichannel Buffered Serial Port (salah satu

peripheral yang ada di DSP TMS320C6711). CPU DSP TMS320C6711 berfungsi untuk melakukan segala proses komputasi pemfilteran, memori untuk menyimpan program, codec 16-bit berfungsi untuk proses converter data analog ke digital (ADC) dan digital ke analog (DAC), serta serial port berfungsi untuk saluran komunikasi antara CPU DSP dan codec.

Program utama (main.c) berisi beberapa prosedur berikut ini:

1. Inisialisasi papan DSK TMS320C6711
2. Inisialisasi port serial McBSP0
3. Inisialisasi codec
4. Mengaktifkan interupsi port serial
5. Membaca (mengambil) sample dari port serial McBSP0 (yang dihasilkan oleh ADC)
6. Melakukan operasi pemfilteran terhadap sample yang telah diambil
7. Mengirimkan hasilnya ke port serial McBSP0 (yang akan diolah oleh DAC)

Semua prosedur diatas dikerjakan secara urut, setelah selesai sampai pada nomor 7 maka program akan kembali lagi (looping) ke no 5 dan demikian seterusnya. Perlu juga diketahui bahwa cara pembacaan data dan penulisan data dilakukan secara polling, yaitu program menjadwalkan secara rutin waktu-waktu pembacaan dan pengiriman data dari dan ke serial port yang terhubung dengan codec.

5. Analisa Data Hasil Pengamatan.

5.1. Pengamatan Derau

Pengamatan derau yang ada di codec sangat penting sebelum melakukan pengamatan terhadap kinerja filter. Seperti yang telah diketahui, bahwa sinyal keluaran filter yang terbaca oleh osiloskop pada hakekatnya adalah gabungan dari sinyal derau (derau pada codec dan probe osiloskop) dan sinyal asli, hasil

Tabel 2. Frekuensi Cut-off Filter

Panjang Filter (N)	Simulasi				Implementasi			
	fs1 (Hz)	fp1 (Hz)	fp2 (Hz)	fs2 (Hz)	fs1 (Hz)	fp1 (Hz)	fp2 (Hz)	fs2 (Hz)
64	251	351	3349	3449	257	371	3320	3420
128	276	325	3375	3424	276	337	3350	3420

perhitungan filter. Derau ini akan sangat terasa ketika sinyal asli amplitudonya sangat rendah, atau dengan kata lain nilai NSR (Noise to Signal Ratio) nya tinggi.

Pengamatan derau dilakukan dengan menghubungkan keluar output codec dengan osiloskop pada kondisi DSK yang off (CPU berhenti bekerja). Dari hasil pengamatan diperoleh amplitude noise yang terbaca oleh osiloskop adalah sebesar 56 mV.

5.2. Ketepatan Frekuensi Cut-off

Sebelum melihat data hasil pengamatan akan dijelaskan terlebih dahulu kaidah yang dipakai dalam menentukan frekuensi cut-off. Frekuensi cut-off passband didefinisikan sebagai frekuensi dimana tanggapan amplitudonya bernilai 0,701 atau -3dB, sedangkan frekuensi cut-off stopband didefinisikan sebagai frekuensi dimana tanggapan amplitudonya bernilai 0.3 atau -10.5dB.

Data pada table di atas merupakan hasil pengamatan dan pengukuran. Tabel tersebut memberikan dua data, yaitu data yang ternormalisasi dan data yang tidak ternormalisasi Masing-masing table berisi data frekuensi cut-off filter hamming dengan panjang filter (N) 64 dan 128, baik yang diperoleh dari hasil simulasi maupun dari hasil implementasi.

Secara teori, semakin besar panjang filter maka frekuensi cut-off-nya akan semakin mendekati frekuensi batas bidang (dalam hal ini 300Hz dan 3400Hz). Berdasarkan simulasi, terlihat bahwa panjang filter 128 memiliki frekuensi cut-off yang lebih baik dibanding panjang filter 64, yaitu dalam artian lebih mendekati nilai 300 (untuk Fs1 dan Fp1) dan nilai 3400 (untuk Fs2 dan Fp2). Sedangkan dalam implementasi juga berlaku hal yang sama. Hanya saja, pada data hasil implementasi, nilai fs2 bernilai sama untuk kedua buah filter di atas. Hal ini disebabkan karena ketelitian Function Generator yang tidak bisa membangkitkan frekuensi dengan ketepatan sampai nilai satuan pada kisaran frekuensi tersebut. Jadi pengamatan dilakukan tidak dengan sangat teliti karena keterbatasan alat.

5.3. Lebar Bidang Transisi (Transitionband Width)

Bidang transisi adalah daerah diantara dua buah frekuensi cut-off, frekuensi cut-off stopband ke frekuensi cut-off passband atau sebaliknya. Sehingga lebar bidang transisi dirumuskan sebagai berikut:

$$\Delta F_1 = fp_1 - fs_1$$

$$\Delta F_2 = fs_2 - fp_2$$

Dimana ΔF1 adalah lebar bidang transisi bawah dan ΔF2 adalah lebar bidang transisi atas. Secara

teoritis, semakin pendek lebar bidang transisi maka dikatakan filter tersebut semakin bagus.

Dari hasil pengamatan dapat diketahui bahwa untuk panjang filter 64, baik dalam simulasi maupun implementasi, tidak dapat memenuhi spesifikasi yang ditentukan. Dalam hal ini, filter tersebut hanya memberikan nilai 100 Hz, masih terlalu lebar dari yang dispesifikasikan, yaitu 75 Hz. Sedangkan untuk filter dengan panjang 128 mampu memenuhi spesifikasi. Dari data pengamatan juga dapat diketahui bahwa nilai lebar bidang transisi hasil implementasi sedikit lebih jelek dibanding dengan hasil simulasi.

5.4. Redaman (Bandstop Attenuation)

Redaman atau 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/semakin negatif nilai redaman yang terjadi maka filter menjadi semakin baik. Hal ini dikarenakan frekuensi yang tidak diinginkan dapat benar-benar dihilangkan/dilemahkan menjadi selemah-lemahnya.

Dari hasil pengamatan diperoleh untuk panjang filter 64 dan 128 secara simulasi semuanya memenuhi spesifikasi. Akan tetapi secara implementasi, nilai redaman jauh lebih jelek. Meskipun semua filter di atas masih memenuhi spesifikasi yang diinginkan (yaitu -20 dB).

Ada hal menarik selama pengamatan data implementasi, yaitu nilai redaman terkecil yang dapat dicatat/diamati ternyata bergantung pada kemampuan

Tabel 3. Lebar bidang transisi filter

Panjang Filter (N)	Simulasi		Implementasi	
	Lebar Bidang Transisi (Hz)		Lebar Bidang Transisi (Hz)	
	Bawah	Atas	Bawah	Atas
64	100	100	114	100
128	49	49	61	70

Tabel 4. Redaman filter

Panjang Filter (N)	Simulasi		Implementasi	
	Redaman (dB)		Redaman (dB)	
	Rendah	Tinggi	Rendah	Tinggi
64	-50	-50	-23,4	-26
128	-53	-55	-28	-28

Tabel 5. Tanggapan fase

Panjang Filter (N)	Simulasi		Implementasi	
	Frek (Hz)	Fase (derajat)	Frek (Hz)	Fase (derajat)
64	668	-587	668	180
	779	-744	779	180
	890	-901	890	180
128	778	-1503	778	180
	856	-1726	856	180
	934	-1949	934	180

Tabel 6. Tanggapan frekuensi

Frekuensi	Tanggapan Frekuensi Filter Hamming (N=128)	
	Berdasar teori/simulasi	Berdasar Pengukuran
300 Hz	-6 dB	-6,7 dB
1500 Hz	0 dB	-0.4 dB
3400 Hz	-6 dB	-9,8 dB
4600 Hz	-6 dB	-30.5 dB
6500 Hz	0 dB	-30.5 dB
7700 Hz	-6 dB	-30.5 dB
8300 Hz	-6 dB	-30.5 dB
9500 Hz	0 dB	-30.5 dB
11700 Hz	-6 dB	-30.5 dB

alat ukur osiloskop dan derau pada codec. Seperti yang ada pada bagian pengamatan derau, nilai sinyal paling kecil yang masih dapat diukur adalah sebesar 56 mV dan ini setara dengan -31 dB.

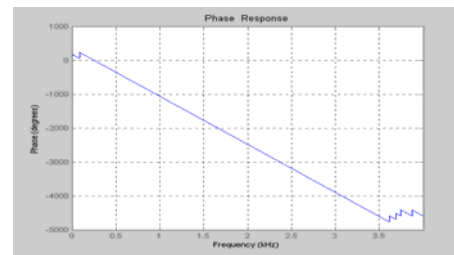
5.5. Tanggapan Fase

Tujuan utama dari pengamatan tanggapan fase adalah untuk membuktikan apakah benar filter FIR penjendelaan hamming memiliki tanggapan fase yang linier. Data pengamatan tanggapan fase dapat dilihat pada table 5. Sedangkan gambar 4 menunjukkan tanggapan fase hasil simulasi.

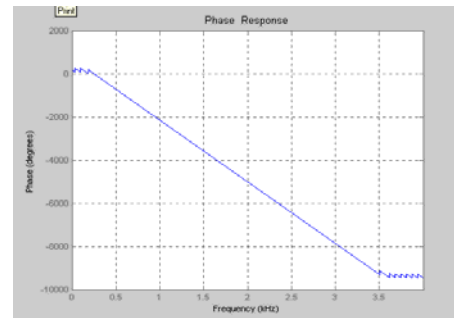
Dari data hasil simulasi, jelaslah sudah bahwa pada daerah passband, tanggapan fase filter adalah benar-benar linier. Data yang didapat dari implementasi juga menunjukkan hal sama. Untuk filter dengan panjang koefisien 64, tampak bahwa setiap frekuensi dinaikan 111 Hz maka besar tanggapan fase akan berulang nilainya. Sedangkan untuk filter dengan koefisien 128, bukti kelinieran tanggapan fase adalah bahwa setiap kenaikan frekuensi sebesar 78 Hz maka nilai tanggapan fase akan berulang.

5.6. Hal-hal menarik yang ditemui

Secara teori, bila sinyal masukan suatu filter lebih besar dari nilai nyquist ($f_s/2$) maka akan terjadi aliasing. Pada filter digital bila f input melebihi $1/2$ frekuensi sampling maka sinyal akan tersampling seakan-akan nilainya menjadi $f_{sampling} - f_{input}$ (ini sesuai dgn prinsip keperiodisan sinyal digital dan kriteria nyquist). Akan tetapi, kenyataannya utk $f_{input} > f_s/2$, nilai tanggapan amplitudonya selalu = 0. Hal ini dapat terjadi karena adanya filter (analog) anti-aliasing yg ada di TLC320C535. Akibatnya sinyal



(a)



(b)

Gambar 4. Tanggapan fase filter jendela hamming hasil simulasi dengan (a) N=64 dan (b) N=128

input (masih analog) akan dipotong/dilemahkan terlebih dahulu oleh anti-aliasing filter sebelum akhirnya masuk ke ADC yang ada di codec. Berikut ini adalah data hasil pengukuran untuk sinyal-sinyal masukan dengan frekuensi yang lebih besar dari $1/2$ frekuensi sampling.

Masih dalam table yang sama, terlihat pula bahwa untuk frekuensi 1500Hz, nilai tanggapan frekuensi tidak bisa mencapai 0dB. Ini juga berlaku bagi frekuensi passband lainnya (dalam rentang 300–3400Hz). Hal ini disebabkan oleh dua hal. Pertama disebabkan oleh anti-aliasing filter yang telah melemahkan terlebih dahulu sinyal tersebut (meskipun untuk daerah 0–4000Hz nilai pelemahan yang dilakukan oleh anti-aliasing filter sangat kecil). Sedangkan yang kedua disebabkan pembulatan pada perhitungan aritmatik.

6. Kesimpulan dan Saran

6.1. Kesimpulan

Dari data hasil penelitian, maka dapat disimpulkan hal-hal berikut ini:

1. Pada penelitian ini, filter FIR penjendelaan Hamming sudah dapat disimulasikan dengan Matlab dan diimplementasikan pada platform DSK TMS320C6711.
2. Hasil implementasi menunjukkan filter FIR penjendelaan hamming sudah dapat memenuhi spesifikasi filter untuk komunikasi suara. Dengan $N=128$, diperoleh $f_{s1}=276$ Hz, $f_{p1}=337$ Hz, $f_{p2}=3350$ Hz, $f_{s2}=3420$ Hz, $\Delta f_1=61$ Hz, $\Delta f_2=70$ Hz, dan redaman = -28 dB.
3. Tanggapan fase hasil implementasi filter FIR penjendelaan hamming bersifat linier.

4. Filter analog yang terdapat di codec TLC320AD535 menyebabkan nilai penguatan di daerah passband tidak pernah bisa mencapai 1 (0dB).
5. Data hasil simulasi dan implementasi filter tidak begitu jauh berbeda, terutama pada passband dan frekuensi cut-off. Hal ini menunjukkan perangkat keras yang digunakan untuk implementasi filter sudah sangat bagus dalam artian dapat menanggulangi kesalah kuantisasi ADC-DAC, kesalahan kuantisasi koefisien filter (panjang bit yang digunakan), dan kesalahan akibat pembulatan aritmatika.
6. Nilai redaman (stopband attenuation) pada implementasi berbeda dengan yang ada di simulasi. Hal ini disebabkan noise yang tercampur pada sinyal output.

6.2. Saran

1. Dikarenakan fasilitas yang disediakan CCStudio dan DSK board sangat beragam dan handal, maka diharapkan pada penelitian selanjutnya dapat mengeksplor dan menggunakan fasilitas-fasilitas tersebut. Sebagai contoh, fasilitas yang belum digunakan diantaranya adalah DSP/BIOS dan RTDX (Real-Time Data Exchange). Fasilitas ini mampu melakukan penjadwalan dan sinkronisasi program-program yang ada serta melakukan analisis unjuk kerja program secara real-time.
2. Agar mulai dikembangkan implementasi filter yang lebih baik, yaitu filter adaptif. Dalam dunia nyata banyak kasus yang mengharuskan penggunaan filter adaptif dari pada filter statis seperti yang telah dirancang dalam penelitian ini.

Daftar Pustaka

- [1] Ifeachor, E.C., Jervis B.W., *Digital Signal Processing A Practical Approach*, New York, Addison-Wesley, 1993.
- [2] Kuc R., *Introduction to Digital Signal Processing*, Singapore, McGraw-Hill, 1988.
- [3] Little J.N., Shure L., *Signal Processing Toolbox User's Guide*, Natick, Mass., Mathwork, 1993.
- [4] Musyafa R., Riyantono, *Design of Filter Digital "Finite Impulse Response" with Optimum Method*, Proceeding Seminar Nasional Teknik Elektro ITS, 2001.
- [5] Priyatmadi, *Implementasi Sistem Adaptif Algoritma LMS pada TMS320C25*, Thesis S-2 Teknik Elektro UGM, Yogyakarta, 2002.
- [6] Smith W. S., *The Scientist and Engineer's Guide to Digital Signal Processing*, San Diego, California Technical Publishing, 1999.
- [7] Sumaryono S., *Experience in Implementing Real Time Adaptive Algorithm on TMS320C50 DSP*, Thesis S-2 Teknik Elektro UGM, Yogyakarta, 2002.
- [8] Texas Instruments, *TMS320C6711 User's Guide*, Texas Instruments, 1996.