

# IMPLEMENTASI FILTER DIGITAL *INFINITE IMPULSE RESPONSE* PADA DSP TMS320C6711

## FILTER DIGITAL *INFINITE IMPULSE RESPONSE* IMPLEMENTATION IN DSP TMS320C6711)

Nurgiyatna, Gunawan Ariyanto, dan Heru Supriyono

Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik  
Univeritas Muhammadiyah Surakarta

### ABSTRAK

*F*ilter digital adalah suatu piranti yang sangat dibutuhkan oleh sistem-sistem elektronika. Perancangan tapis digital memiliki beberapa jenis dan salah satunya adalah filter digital infinite impulse response (IIR). Implementasi tapis digital IIR secara waktu nyata (real-time) tidaklah mudah karena dibatasi oleh beberapa kendala semisal kebutuhan akan komputasi yang cepat, kesalahan kuantisasi pada ADC-DAC, kesalahan kuantisasi koefisien filter dan kesalahan pada pembulatan aritmatika. Tujuan penelitian ini adalah mengimplementasikan sebuah filter digital IIR lowpass dengan metode bilinier transformation ke dalam perangkat keras berupa Digital Signal Processor (DSP) TMS320C6711. Hasil penelitian menunjukkan bahwa filter tersebut dapat bekerja secara real-time dan memenuhi spesifikasi yang telah ditentukan. Filter digital IIR waktu nyata tersebut memiliki performa berupa frekuensi cut-off  $f_c = 1010\text{Hz}$  dan lebar bidang transisi  $\Delta f = 160$

**Kata kunci:** digital signal processor, filter digital, IIR

### ABSTRACT

*D*igital filter is a device that is used intensively by electronics system. There are many types of digital filter and one of them is an infinite impulse response digital filter. The implementation of real-time IIR digital filter is not easy due to some constrains such as the necessity of great and fast computation, quantization errors on ADC-DAC devices and filter coefficients, and also arithmetic round off errors. This research conducts an experimental study concerning with

the implementation of low pass IIR digital filter with bilinear transformation method on a Digital Signal Processor (DSP) TMS320C6711. The required specification is a low pass filter, which has cut-off frequency 1000 Hz and maximum frequency transition bandwidth 200 Hz. The result of the research shows that the implementation of the IIR digital filter on a DSP TMS320C6711 can work well and fulfill the required specification. The 6 order IIR digital filters in this research have some important performance characteristics, i.e. cut-off frequency 1030Hz and frequency transition bandwidth 160 Hz.

**Keywords:** digital signal processor, digital filter, and IIR.

## PENDAHULUAN

Dalam perkembangan awal elektronika, tapis analog menjadi pilihan karena relatif murah dan mudah dalam perancangannya. Akan tetapi setelah ditemukan piranti digital dengan kemampuan komputasi yang cepat, implementasi tapis digital sangat digemari dan sejak itu hingga kini telah banyak menggantikan peran tapis analog. Sampai saat ini tapis digital masih menjadi objek penelitian yang terus berkembang dan diminati banyak orang.

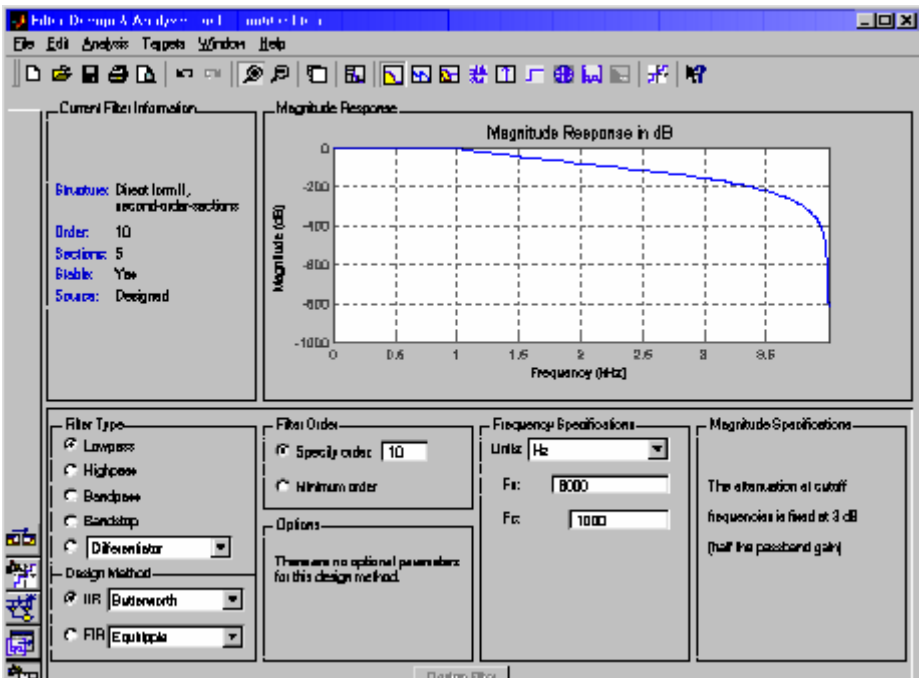
Filter digital adalah suatu prosedur matematika atau algoritma yang mengolah sinyal masukan digital dan menghasilkan isyarat keluaran digital yang memiliki sifat tertentu sesuai dengan tujuan filter. Filter digital dapat dibagi menjadi dua yaitu Filter Digital IIR (*infinite impulse response*) dan FIR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

Tapis digital *infinite impulse response* (IIR) didesain dengan teknik yang serupa dengan teknik yang digunakan pada perancangan tapis analog. Pada setiap metode perancangan teknik digital IIR selalu diawali dengan perancangan tapis analog terlebih dahulu dalam kawasan frekuensi analog. Kemudian dirancang tapis digital IIR sebagai padanan dari tapis analog. Diharapkan karakteristik tapis digital yang dibentuk akan sama atau mendekati sama dengan tapis analog.

Perancangan filter digital IIR waktu nyata dalam penelitian ini terdiri dari beberapa tahap dari spesifikasi sampai dengan implementasi. Tahap pertama adalah spesifikasi, yaitu berupa penentuan performa filter IIR yang diinginkan. Setelah ditetapkan spesifikasi filter, tahap berikutnya adalah pencarian koefisien filter. Tahap ketiga adalah realisasi struktur dari filter tersebut dan tahapan terakhir adalah implementasi struktur filter tersebut ke dalam perangkat keras. Tahap 1 sampai 3 dilakukan dengan bantuan perangkat lunak Matlab.

Setelah tahap perancangan selesai dan hasil simulasi sudah memuaskan, maka koefisien – koefisien 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) TMS32C6711. 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 TMS32C6711 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 TMS32C6000. 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).



Gambar 1. Tampilan jendela FDATool

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.

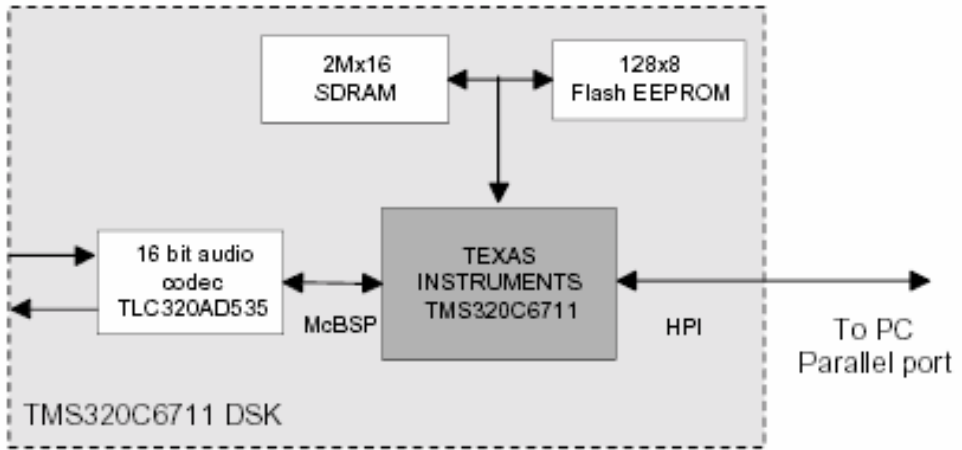
Tampilan jendela FDATool adalah seperti pada gambar 1. Ada dua bagian penting yang dimiliki oleh FDATool, yaitu yang pertama adalah bagian untuk perancangan filter dan yang kedua adalah bagian untuk analisa filter.

Pada bagian pertama matlab menyediakan berbagai metode perancangan filter semisal Butterworth, Chebyshev, Elliptic, Equiripple, jendela Blackman, 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 Blackman, 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.

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*).



Gambar 2. DSK TMS320C6711

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, melihat dan mengamati memori dan register, menggunakan probe point untuk

menggalirkan 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.

Tujuan penelitian ini adalah mengimplementasikan sebuah filter digital IIR lowpass dengan metode bilinear transformation ke dalam perangkat keras berupa Digital Signal Processor (DSP) TMS320C6711.

## METODE PENELITIAN

Tahapan-tahapan dalam perancangan sebuah filter digital IIR dapat disederhanakan menjadi empat tahap berikut ini :

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

### 1. Tahap penentuan spesifikasi filter

Filter yang akan dirancang dalam penelitian ini adalah berupa lowpass filter dengan frekuensi cutoff sebesar 1000Hz. Spesifikasi filter selengkapnya adalah seperti yang tertera di tabel 2.1 di bawah ini :

Tabel 1. Spesifikasi filter

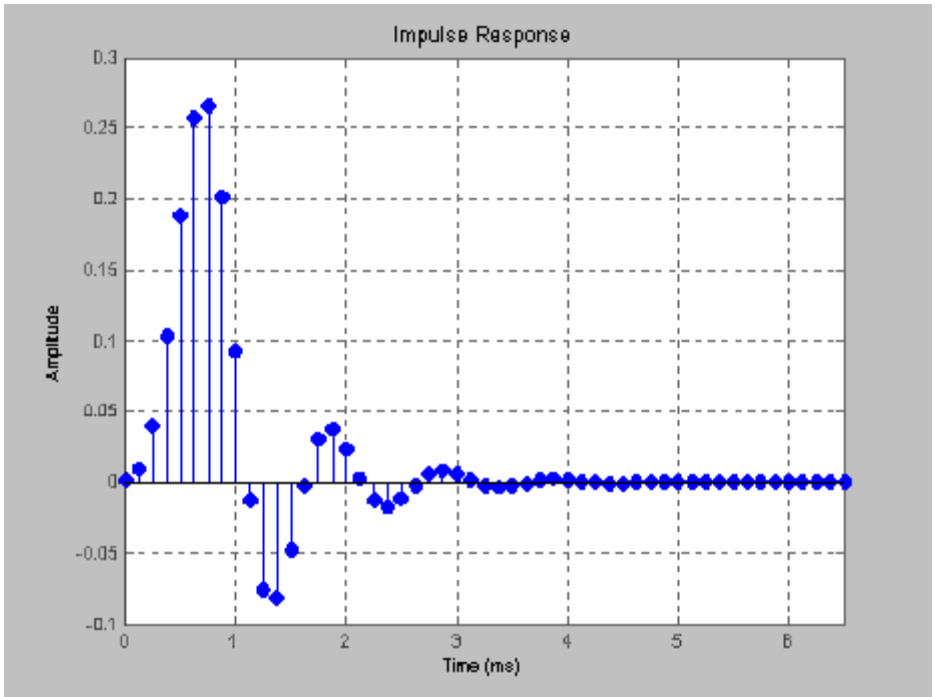
Jenis Filter	Lowpass
Frekuensi Sampling	8000 Hz
Frekuensi <i>cutoff</i>	1000 Hz
Lebar Bidang Transisi	200 Hz

### 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 amplitude dan fase terhadap frekuensi dalam sebuah program komputasi) dapat dikerjakan dengan mudah oleh matlab.

Untuk penelitian kali ini, yang menggunakan **filter IIR Butterworth** maka pengisian form pada FDATool adalah seperti yang tampak pada gambar 1 di depan. Tanggapan impulse dari filter digital IIR Butterworth orde 6 dapat di lihat pada gambar di bawah.

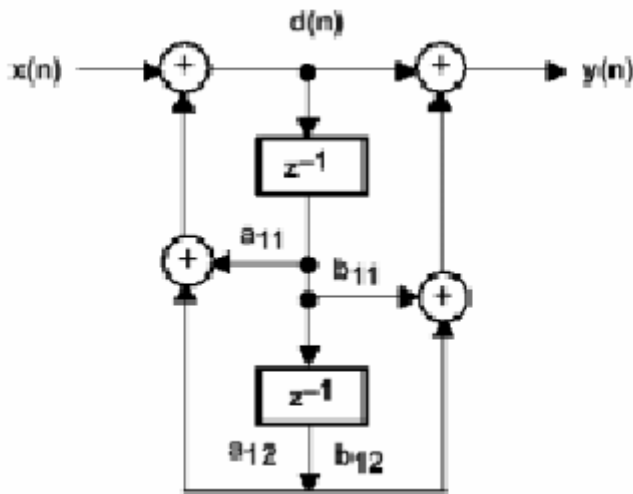


Gambar 3. Tangapan impulse filter IIR Lowpass

Hal penting yang perlu diketahui berkenaan dengan fasilitas yang ada pada FDATool adalah berupa pembangkitan secara otomatis file header (\*.h) yang berisi koefisien filter.

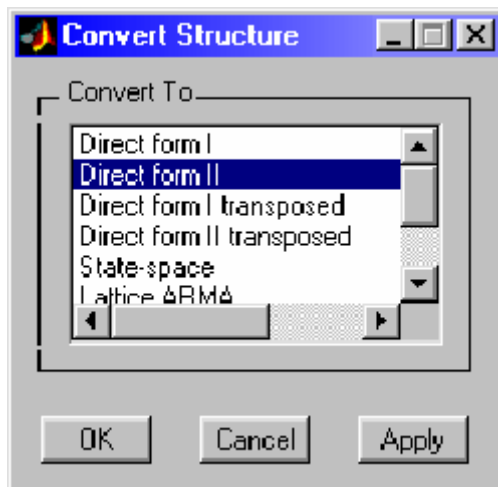
### 3. Tahap Penentuan Struktur Filter

Dalam penelitian ini struktur yang digunakan adalah berupa second order section Direct-Form II. Gambar struktur filter tersebut adalah seperti gambar di bawah ini.



Gambar 4. Second Order Section Direct-Form II

Di dalam FDATool, pemilihan jenis struktur filter dilakukan dengan memilih secara langsung struktur filter melalui jendela **Convert Structure**. Jendela ini dapat diaktifkan dengan mengklik pull-down menu **Edit – Convert Structure**.

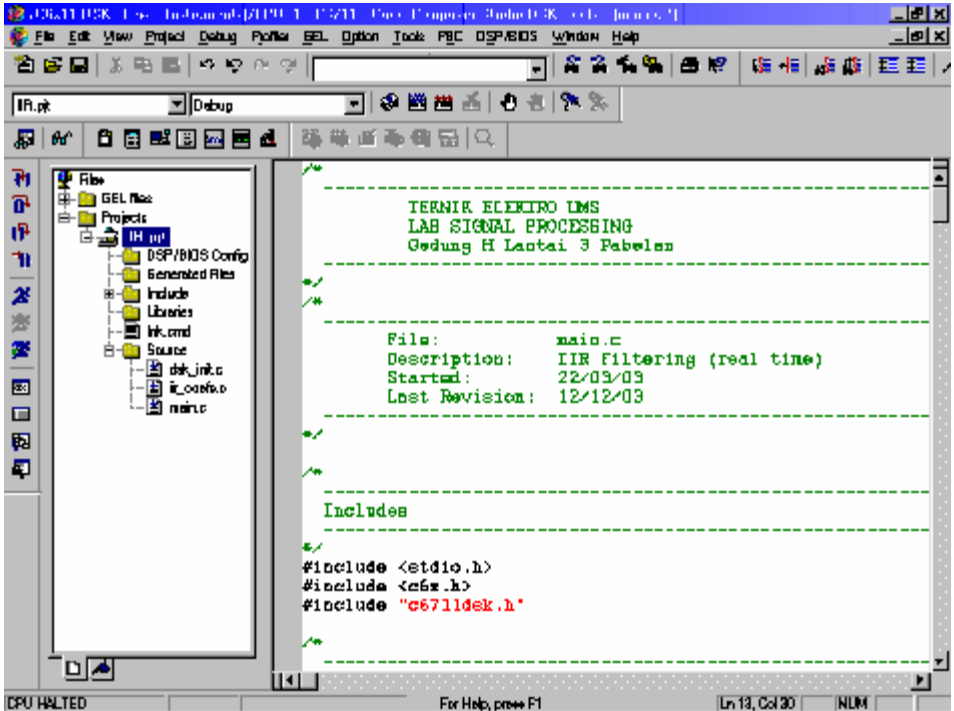


Gambar 5. Jendela untuk Mengatur Struktur Filter



#### 4. Tahap Implementasi Filter ke dalam DSK TMS320C6711

Setelah nilai koefisien didapatkan dan tanggapan amplitudo-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.



Gambar 6. Code Composer Studio

Program filter dibuat dalam bahasa C mengingat kemudahan yang ditawarkan oleh bahasa tersebut bila dibanding dengan bahasa assembly. Keseluruhan program yang dibuat melibatkan beberap 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 blackman terlihat pada gambar 6.

## Alur eksekusi program.

Dalam proses bekerjanya, program filter blackman 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 (merupakan 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 menjadwal secara rutin waktu-waktu pembacaan dan pengiriman data dari dan ke serial port yang terhubung dengan codec.

## HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

### 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 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.

## 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 didefinisikan sebagai frekuensi dimana tanggapan amplitudonya bernilai 0,701 atau -3 dB.

Tabel 2. Frekuensi cut-off filter

Orde Filter	frekuensi cut-off	
	Simulasi	Implementasi
6	1000Hz	1030Hz

Table 2 di atas berisi data frekuensi cutoff filter IIR dengan orde 6 yang diperoleh dari hasil simulasi dan dari hasil implementasi.

Berdasarkan simulasi, nilai frekuensi cutoff dari filter IIR dengan orde 6 adalah 1000Hz. Akan tetapi, berdasarkan implementasi terlihat bahwa frekuensi cut-off filter bergeser sedikit (30 Hz) dari hasil simulasi.

## 3. Lebar Bidang Transisi (*Transitionband Width*)

Dalam penelitian ini, definisi bidang transisi adalah daerah diantara dua buah frekuensi, yaitu frekuensi cut-off, (-3 dB) dan frekuensi stopband (didefinisikan sebagai frekuensi dimana tanggapan amplitudonya bernilai 0.3 atau -10.5 dB). Sehingga lebar bidang transisi dirumuskan sebagai berikut :

$$\Delta F = f_c - f_s$$

dengan  $f_c$  adalah frekuensi cut-off dan  $f_s$  adalah frekuensi stopband. Secara teoritis, semakin pendek lebar bidang transisi maka dikatakan filter tersebut semakin bagus.

Tabel 3. Frekuensi stopband

Orde Filter	Frekuensi Stopband (Hz)	
	Simulasi	Implementasi
6	1190Hz	1190Hz

Tabel 4. Lebar Bidang Transisi Filter

Orde Filter	Lebar Bidang Transisi (Hz)	
	Simulasi	Implementasi
6	190Hz	160Hz

Dari hasil pengamatan dapat diketahui bahwa criteria lebar bidang transisi baik di dalam simulasi maupun implementasi semuanya memenuhi spesifikasi yang telah ditentukan. Bahkan hasil implementasi tapis di dalam DSP lebih baik daripada simulasi.

## SIMPULAN DAN SARAN

### 1. Simpulan

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

- 1) Pada penelitian ini, filter IIR Butterworth sudah dapat disimulasikan dengan Matlab dan diimplementasikan pada platform DSK TMS320C6711.
- 2) Hasil implementasi menunjukkan filter IIR Butterworth sudah dapat memenuhi spesifikasi yang ditentukan. Dengan orde filter 6, maka diperoleh data sebagai berikut :  $f_c = 1030$  Hz dan  $\Delta f = 160$  Hz.
- 3) 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 kesalahan kuantisasi ADC-DAC, kesalahan kuantisasi koefisien filter (panjang bit yang digunakan), dan kesalahan akibat pembulatan aritmatika.

### 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

- Ifeachor, E.C., Jervis B.W. 1993. *Digital Signal Processing A Practical Approach*. New York: Addison-Wesley.
- Kuc R. 1988. *Introduction to Digital Signal Processing*. Singapore: McGraw-Hill.
- Little J.N., Shure L. 1993. *Signal Processing Toolbox User's Guide*. Natick: Mass, Mathwork.
- Musyafa R., Riyantono. 2001. *Design of Filter Digital "Finite Impulse Response" with Optimum Method*, Proceeding Seminar Nasional Teknik Elektro ITS.
- Priyatmadi. 2002. *Implementasi Sistem Adaptif Algoritma LMS pada TMS320C25*, Thesis S-2 Teknik Elektro UGM, Yogyakarta.
- Smith W. S. 1999. *The Scientist and Engineer's Guide to Digital Signal Processing*. San Diego: California Technical Publishing.
- Summaryono S. 2002. *Experience in Implementing Real Time Adaptive Algorithm on TMS320C50 DSP*. Thesis S-2 Teknik Elektro UGM, Yogyakarta.
- Texas Instruments. 1996. *TMS320C6711 User's Guide*, Texas Instruments.
- Yosi Y., 2000. *Overview C6000*, <http://dsp.ee.itb.ac.id>.