

Implementasi Filter Digital Finite Impulse Response Metode Penjendelaan Blackman pada DSP TMS320C6711

Gunawan Ariyanto, Nurgiyatna, Endah Sudarmilah
Teknik Elektro Universitas Muhammadiyah Surakarta

Abstrak

Implementasi tapis digital 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. Tulisan ini menyajikan hasil penelitian tentang implementasi sebuah filter digital bandpass dengan metode penjendelaan Blackman ke dalam perangkat keras berupa Digital Signal Processor (DSP) TMS320C6711. Hasil pengujian menunjukkan bahwa filter tersebut dapat bekerja secara *real-time* dan memenuhi spesifikasi yang telah ditentukan. Filter digital metode penjendelaan Blackman tersebut memiliki performa berupa $f_{s1}=258$ Hz, $f_{p1}=328$ Hz, $f_{p2}=3370$ Hz, $f_{s2}=3440$ Hz dan *bandstop attenuation* sebesar -31 dB.

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

1. Pendahuluan

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. 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 blackman.

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 sbb:

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. Dalam penelitian kali ini akan digunakan jendela blackman.
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 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 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. 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.

2.1. 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

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 (<i>Stopband Attenuation</i>)	0.1 (20 dB)

2.2. 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 amplitude 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 metode penjadwalan blackman, maka pengisian form pada FDATool adalah seperti yang tampak pada gambar 1 di depan. Hasil perhitungan koefisien filter untuk panjang koefisien filter (N) 128 yang dilakukan dengan FDATool dapat ditampilkan dalam bentuk tanggapan impulse filter seperti gambar 1.

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.

2.3. 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 blackman terlihat pada gambar 2.

2.4. 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

3. Analisa Data Hasil Pengamatan

3.1. 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 amplitud noise yang terbaca oleh osiloskop adalah sebesar 56 mV.

3.2. 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 2 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 blackman dengan panjang koefisien 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 300 Hz dan 3400 Hz).

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.

3.3. 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:

$$\begin{aligned}\Delta F1 &= fp1 - fs1 \\ \Delta F2 &= fs2 - fp2\end{aligned}$$

Dimana $\Delta F1$ adalah lebar bidang transisi bawah dan $\Delta F2$ 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 160Hz, masih terlalu lebar dari yang dispesifikasikan, yaitu 75Hz. 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.

3.4. 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.

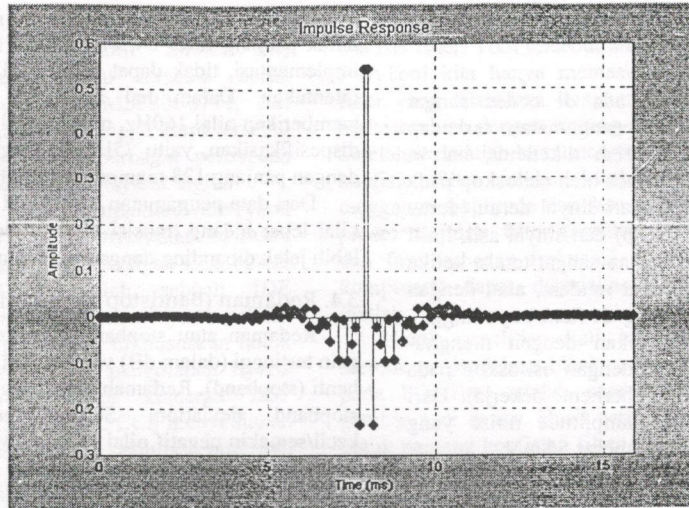
Dari hasil pengamatan diperoleh untuk panjang filter 64 dan 128 secara simulasi semuanya memenuhi spesifikasi. Akan tetapi secara implementasi, nilai redaman jauh lebih jelek. Meskipun semua filter di atas masih memenuhi spesifikasi yang diinginkan (yaitu -20 dB).

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

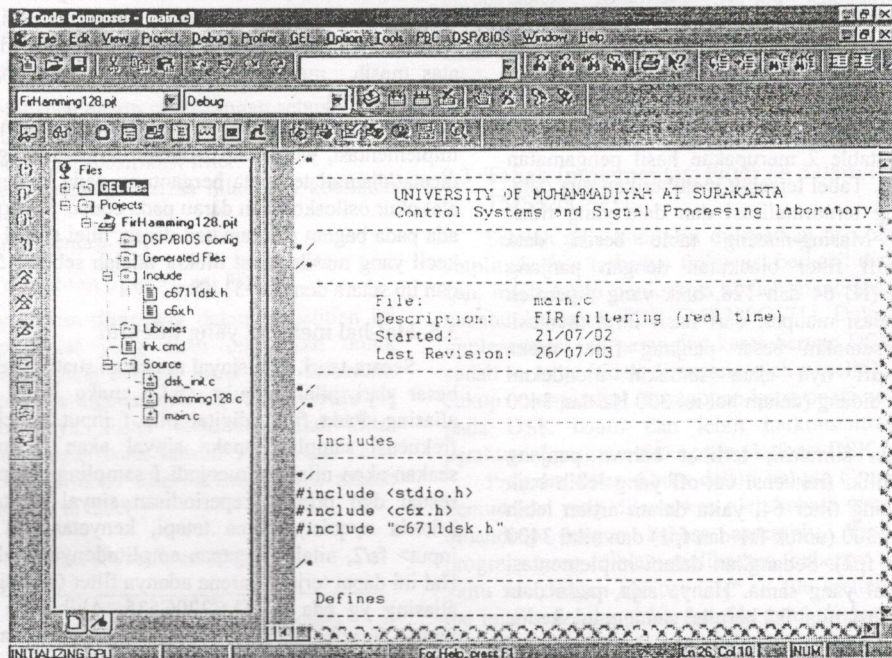
3.5. Hal-hal menarik yang ditemui

Secara teori, bila sinyal masukan suatu filter lebih besar dari nilai nyquist ($fs/2$) maka akan terjadi aliasing. Pada filter digital bila f input melebihi $\frac{1}{2}$ 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 $> fs/2$, nilai tanggapan amplitudonya selalu = 0. Hal ini dapat terjadi karena adanya filter (analog) anti-aliasing yg ada di TLC320C535. Akibatnya sinyal 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 $\frac{1}{2}$ frekuensi sampling.

Masih dalam tabel 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.



Gambar 1. Tangapan impulse filter penjendelaan blackman



Gambar 2. Code Composer Studio

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.

4. Kesimpulan

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

1. Pada penelitian ini, filter FIR penjendelaan Blackman sudah dapat disimulasikan dengan Matlab dan diimplementasikan pada platform DSK TMS320C6711.
2. Hasil implementasi menunjukkan filter FIR penjendelaan blackman sudah dapat memenuhi spesifikasi filter untuk komunikasi suara. Dengan panjang koefisien filter (N) 128, maka diperoleh data sebagai berikut : $f_s1= 258 \text{ Hz}$, $f_{p1}= 328 \text{ Hz}$, $f_{p2}= 3370 \text{ Hz}$, $f_{s2}= 3440 \text{ Hz}$, $\Delta f1=70 \text{ Hz}$, $\Delta f2= 70\text{Hz}$, dan redaman = -31 dB.
3. Tanggapan fase hasil implementasi filter FIR penjendelaan blackman 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 kesalahan 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.

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.
- [9] Yosi Y., *Overview C6000*, <http://dsp.ee.itb.ac.id>, 2000.

1. Pendahuluan

Seiring dengan perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi yang digunakan oleh dunia untuk membantu penyelesaian masalah. Meskipun demikian, akses data pada data ini tidak mudah karena data merupakan milik pribadi. Penerapan teknik digital untuk penyimpanan dan pengolahan data ini sangat mahal karena jaringan komputer memerlukan solusi permasalahan ini. Untuk kesulitan penyimpanan dan akses, data tersebut perlu dikompresi dengan memperhatikan pertimbangan dari media yang menentukan kualitas data yang tinggi, dan sisi akses yang memerlukan media komunikasi yang tinggi.

Penelitian ini menggunakan teknik untuk mengkompresikan beberapa dari sisi media dan sisi teknik. Pengiriman data terkompresi dilakukan dengan algoritma *Wavelet* di mana kualitas data yang diterima dapat dipengaruhi kualitasnya (*Quality Factor*) pada daerah yang diinginkan (*Region of Interest*). Penelitian ini akan membahas cara pada sisi akses dilakukan dengan menggunakan cara rekayasa yang dengan media data.

2. Perancangan dan Implementasi Sistem

2.1 Perancangan

Diagram alir proses pengolahan dan pengiriman data dengan kualitas yang optimal dengan arsitektur *Wavelet* yang akan diarahkan dari hasil penelitian ini sesuai seperti terlihat pada Gambar 1. Pada sistem ini server melakukan pengolahan array terhadap data awal. Data awal X akan dikompresi menjadi data yang nantinya. Pengkodean ini akan berturut-turut untuk memperoleh data yang akan dikompresi menjadi sekuen *Wavelet* yang akan juga untuk memperoleh data yang diperlukan. Cara yang telah terkompresi ini akan dikompresi menjadi data, jika *Wavelet* tersebut menjadi program data. Pada sisi akses, data ini akan terkompresi dengan dilakukan rekonstruksi data dan diarahkan pada layer media akses. Karena data merupakan data yang diarahkan dengan pengolahan data, maka rekonstruksi data pada client akan menggunakan cara yang merupakan pendekatan dari data awal (*Quality Factor*).