

SINUSOIDAL NOISE CANCELATION DENGAN MENGGUNAKAN DIGITAL SIGNAL PROCESSING STARTER KIT TMS320C6713

Oleh :

Yultrisna¹, Andi Syofyan²
yul.trisna@yahoo.co.id, andisyofian@yahoo.com

Jurusan Teknik Elektro Politeknik Negeri Padang¹, Institut Teknologi Padang²

ABSTRACT

Original speech signal is needed both in telecommunications and in some instruments in a variety of fields. Not infrequently, the original audio signal is damaged due to noise. This noise can cause the original signal changes in the actual form. In the final project will be designed FIR filter to remove noise by using TMS320C6713 DSK. Sound signal to be input to the mixed noise removal filter system noise. The mixed voice signal will be searched by subtracting the signal difference to noise signal output FIR filter to get the signal $e(n)$, and then do an adaptation resulting filter coefficients. Results of the adaptive filter coefficients would be put back to calculate the noise signal output next FIR filter. Original voice signal used is the word "sinus" uttered by teenage boys, teenage girls, boys and girls. Girl's voice had the highest frequency with an average 522.50 Hz, the frequency of the sound of the boys 462.63 Hz, the sound frequency of 222.58 Hz girls and voice frequencies teenage boys at 201.49 Hz. Noise signal used is 100 Hz sinusoidal noise. From the test results obtained for the system output signal SNR sound input teenage boy was 19.94 dB. SNR output signal to the input of 21.39 dB girls. SNR signal input output system for boys was 34.70 dB. SNR output signal to the input system daughters of 35.52 dB.

Keywords: Filter Finite Impulse Response, TMS320C6713 DSK

PENDAHULUAN

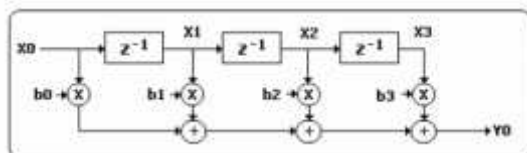
Di zaman yang semakin modern ini, dengan tingkat kebutuhan dan keinginan masyarakat yang semakin tinggi, maka tidak heran bila para produsen barang-barang elektronika menawarkan teknologi yang semakin canggih untuk memenuhi kebutuhan masyarakat. Masyarakat saat ini sudah sangat terbiasa untuk mengabadikan setiap peristiwa yang terjadi baik melalui suara (audio), gambar (visual) dan juga melalui gambar dan suara (audio visual). Proses merekam suara merupakan hal yang paling sederhana untuk mengabadikan suatu peristiwa penting. Dengan mendengarkan suara, kita dapat mengingat dan membayangkan kejadian

yang terjadi saat itu. Namun pada kenyataannya proses perekaman tersebut sangat rentan terkena *noise* (gangguan), seperti suara kendaraan, maupun suara-suara lain yang mengganggu dan merusak kejernihan suara perekaman yang kita buat. Sehingga untuk menghilangkan suara-suara yang mengganggu, maka suara hasil rekaman tersebut harus diproses lebih lanjut untuk menghilangkan derau yang ada sehingga yang tersisa adalah suara informasinya saja. Realisasi dari perancangan sebuah filter digital dapat memanfaatkan perangkat input/output TMS320C6713. TMS320C6713 merupakan *microprocessor* untuk pengolahan sinyal digital secara *real time*. Kelebihan dari *processor* ini adalah

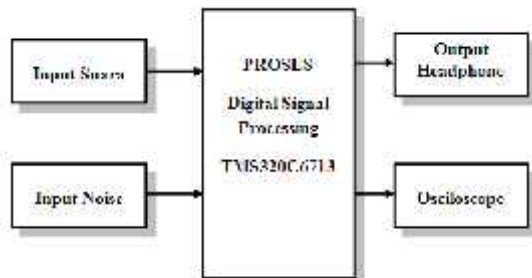
dapat digunakan *real time* karena terdapat masukan dan keluaran sehingga data masukan dapat langsung diproses dan dikeluarkan melalui *line out*.

Metodologi

Filter FIR adalah salah satu tipe dari filter digital yang dipakai pada aplikasi Digital Signal Processing (DSP). FIR kepanjangan dari Finite Impulse Response. Mengapa disebut respons impulsnya terbatas Karena tidak ada *feedback* didalam filter, jika dimasukkan sebuah impulse (yaitu sebuah sinyal '1' diikuti dengan banyak sinyal '0'), sinyal nol akan keluar setelah sinyal 1 melewati semua delay line dengan koefisiennya. Keuntungan filter FIR antara lain adalah stabil dan memiliki fasa yang linier. Sedangkan kerugiannya adalah filter FIR terkadang membutuhkan lebih banyak memory dan perhitungan untuk mencapai karakteristik respon filter yang diberikan. Dan juga, respon tertentu tidak mudah dilaksanakan dengan filter FIR. Flow graph dari filter FIR ditunjukkan oleh Gambar 1.1



Gambar 1.1 Block Diagram Filter FIR

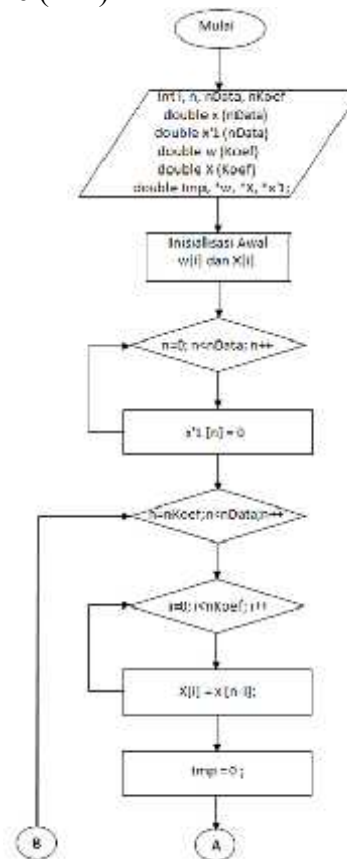


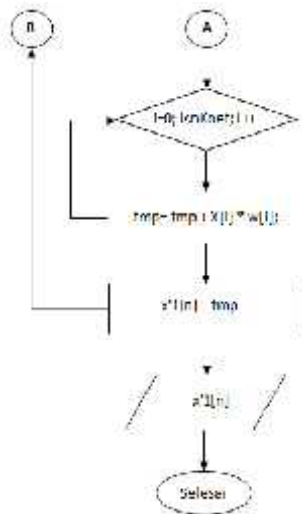
Blok Diagram Perancangan Sistem

Perancangan perangkat lunak atau software ditujukan khusus untuk modul DSK6713 yang digunakan dalam pemrosesan sinyal suara yang tercampur

noise sehingga didapatkan keluaran suara yang terbebas dari noise. Software yang digunakan dalam pemograman modul DSK6713 adalah code composer studio versi 5 keluaran dari Texas Instruments. Code composer studio menggunakan bahasa pemograman C yang lebih mudah dipahami. Dalam pemograman DSK6713 dibutuhkan beberapa file ekstensi yang berfungsi sebagai file pendukung dalam pemograman DSK6713. File ekstensi ini berisi data-data inialisasi port, pengkodean serta file support DSK6713.

Flowchart filter Finite Impulse Response (FIR)





Gambar 1.2 Flowchart filter FIR

Sinyal input x dilakukan proses penyaringan untuk mendapatkan sinyal keluaran $x_1(n)$. Algoritma adaptif mengatur nilai koefisien filter digital secara berkelanjutan. Proses minimalisasi nilai error, dapat dilakukan dengan perhitungan sesuai persamaan 2.2 dimana :

$$e(n) = x(n) - x_1^{\wedge}(n) \dots \dots \dots (2.2)$$

Keterangan :

- $e(n)$ = sinyal keluaran hasil selisih 2 buah sinyal
- $x(n)$ = sinyal masukan sumber suara
- $x_1^{\wedge}(n)$ = sinyal keluaran sumber suara yang telah difilter

Proses pemfilteran sesuai dengan koefisien filter digital. Sinyal keluaran filter ini berupa sinyal $x_1^{\wedge}(n)$. Sinyal output filter inilah yang kemudian dilakukan selisih dengan sinyal sumber suara asli $x(n)$ sehingga menghasilkan sinyal $e(n)$. Proses minimalisasi $e(n)$ ini yang menentukan nilai adaptasi koefisien filter. Proses ini terus berlanjut untuk nilai koefisien yang telah ditentukan. Sesuai persamaan 2.3 struktur filter digital FIR ditentukan dengan rumus :

$$x_1^{\wedge}(n) = w(n) x(n) + w(n) x(n-1) + \dots + w(n) x(n-N+1)$$

$$x_1^{\wedge}(n) = \sum_{i=0}^{N-1} w(n) x(n-i)$$

(2.3)

Keterangan :

- $x_1^{\wedge}(n)$ = sinyal keluaran sumber suara yang telah difilter
- N = panjang elemen filter
- w = koefisien filter
- $x(n-i)$ = sinyal untuk panjang ke-(n-i)
- i = 0,1,2,.....,(N-1)

Setelah ditemukan hasil dari keluaran filter FIR($x_1^{\wedge}(n)$), kemudian dapat dilakukan untuk menghitung nilai sinyal ($e(n)$) sesuai dengan persamaan 2.4 dimana :

$$e(n) = x(n) - \sum_{i=0}^{N-1} w(n) x(n-i)$$

(2.4)

Keterangan :

- $e(n)$ = sinyal keluaran hasil selisih 2 buah sinyal
- $x(n)$ = sinyal masukan sumber suara
- $w(n)$ = koefisien filter ke-n
- $x(n-i)$ = sinyal untuk panjang ke-(n-i)
- N = panjang elemen filter
- i = 0,1,2,.....,(N-1)

Nilai dari $e(n)$ kemudian akan diadaptasi dalam algoritma adaptasi untuk iterasi tertentu dalam menentukan nilai update dari koefisien filter yang baru. Untuk menentukan nilai koefisien adaptasi sesuai dengan persamaan 2.5 dimana :

$$w(n+1) = w(n) + \mu 2e(n)x(n-i)$$

(2.5)

Keterangan :

- $w(n+1)$ = koefisien filter untuk iterasi ke-(n+1)
- $w(n)$ = koefisien filter ke-n
- μ = step size
- $e(n)$ = sinyal keluaran hasil selisih 2 buah sinyal

$x(n-i)$ = sinyal untuk panjang ke-(n-i)

Proses dari pemfilteran akan terus berulang sampai dengan panjang elemen filter yang telah ditentukan sebelumnya. Panjang data yang akan dilakukan pemfilteran juga akan berpengaruh terhadap lama dari proses adaptasi tersebut. Untuk mencapai nilai yang konvergen, maka pendekatan yang dilakukan adalah dalam menentukan nilai dari step size (μ). Pendekatan nilai ini berdasarkan persamaan 2.6 dimana :

$$0 < \mu < \frac{2}{\lambda_{max}}$$

(2.6)

Keterangan :

μ = step size

λ_{max} = nilai maksimum dari autokorelasi matrix $x(n)$

Nilai dari $\frac{2}{\lambda_{max}}$ pada persamaan 2.6 tidak lebih dari 1. Sehingga dapat disimpulkan bahwa penentuan nilai dari stepsize minimal adalah 0 dan maksimal bernilai 1 untuk mencapai hasil yang optimal dalam proses adaptasi filter.

Penentuan nilai $\frac{2}{\lambda_{max}}$ ditunjukkan pada persamaan 2.7 dimana :

$$\frac{2}{\lambda_{max}} = 10NP_x \quad (2.7)$$

Keterangan :

$\frac{2}{\lambda_{max}}$ = nilai maksimum dari autokorelasi matrix $x(n)$

N = panjang elemen filter

P_x = power dari sinyal $x(n)$

Pengujian untuk *noise sinusoidal* dilakukan untuk 4 macam jenis suara

masukan. Suara masukan yang diujikan antara lain suara anak-anak laki-laki, suara anak-anak perempuan, suara remaja laki-laki dan suara remaja perempuan. Masing-masing jenis suara masukan dilakukan proses *sliding* tombol keluaran yang dirancang.

Pengujian Tombol Pilihan Output

Tombol pilihan output bertujuan untuk memudahkan dalam melakukan pengujian masing-masing proses pengukuran sinyal masukan suara, sinyal *noise*, sinyal campuran dan sinyal hasil keluaran filter FIR. Tombol pilihan output dibuat dengan memanfaatkan *General Extension Language (GEL)* yang ada pada *software code composer studio*. Dengan menjalankan *software code composer studio v5* dan memilih *sripts* jenis keluaran yang akan diujikan dapat diukur bentuk sinyal keluaran dari sistem *noise cancelation*.

Tabel 1.1 Tombol Pilhan Output

No	Pilihan Output	Keterangan
1	Pilihan 1	Jenis keluaran siny suara
2	Pilihan 2	Jenis keluaran sinyal <i>noise</i>
3	Pilihan 3	Jenis keluaran sinyal campuran
4	Pilihan 4	Jenis keluaran sinyal suara hasil filter FIR

Pengujian Filter FIR Dengan Masukan Suara Remaja Laki-Laki

Sinyal suara dimasukkan ke kanal kiri dan sinyal *noise sinusoidal* dimasukkan ke kanal kanan. Pengujian 2 kanal masukan ini dilakukan untuk mengetahui sinyal masukan dari modul TMS320C6713. Sinyal masukan 2 kanal ini berfungsi sebagai sinyal masukan untuk filter *finite impuls response*. Besar frekuensi masukan untuk suara remaja adalah sebesar 118,48 Hz dengan kuat sinyal -37,41dB.



Gambar1.3 Masukan Suara Remaja Laki-Laki



Gambar1.4 Masukan *Noise* dari *Fanction Generator* 100Hz

Proses pemfilteran FIR dilakukan untuk menghilangkan sinyal error. Sinyal input x dilakukan proses penyaringan untuk mendapatkan sinyal keluaran $x_1(n)$. Proses pemfilteran sesuai dengan koefisien filter digital. Sinyal keluaran filter ini berupa sinyal $x_1^{\wedge}(n)$. Sinyal suara masukan dicampur dengan sinyal noise sinus 100Hz sehingga terjadi pencampuran yang menyebabkan sinyal suara terdengar tidak jelas atau berdengung. Besar frekuensi sinyal tercampur untuk masukan suara remaja laki-laki adalah sebesar 100,32 Hz dengan kuat sinyal -18.60dB.



Gambar 1.5 Sinyal Suara Tercampur Noise (Remaja Laki-laki)

Dari hasil pengujian sinyal tercampur yang merupakan masukan

dari filter FIR dan sinyal keluaran dari filter FIR didapatkan perbedaan. Sinyal tercampur yang mempunyai frekuensi 100,32 Hz yang didapatkan dari analisis menggunakan *software cool edit pro* mempunyai bentuk sinyal yang tidak teratur dengan amplitudo yang hampir sama. Ini disebabkan karena sinyal suara dengan frekuensi 118,48Hz tercampur dengan sinyal noise 100,07 Hz.

Besar nilai *signal to noise ratio* (SNR) dihitung dengan membandingkan nilai sinyal dengan noise. Untuk nilai SNR sinyal tercampur perhitungannya adalah :

$$\begin{aligned} \text{SNR} &= \text{sinyal tercampur} / \text{sinyal noise} \\ &= -18,60 / -19,36 \\ &= 0,9607 \text{ dB} \end{aligned}$$



Gambar 1.6Keluaran Filter FIR (Remaja Laki-Laki)

Keluaran dari filter FIR didapatkan sebesar 118,77 Hz dengan kuat sinyal sebesar -53,3 dB. Sedangkan masukan sinyal suara mempunyai frekuensi 118,48Hz dengan kuat sinyal sebesar -37,41dB. Dari gambar 4.11 dan gambar 4.14 yang merupakan masukan sinyal suara dan keluaran filter FIR dapat dilihat perbedaan dari bentuk sinyal serta kekuatan dari kedua sinyal tersebut. Sinyal suara masukan mempunyai gelombang yang tidak seimbang antara gelombang positif dan gelombang negatif. Pada sinyal masukan suara gelombang negative lebih tinggi dari gelombang positif, sedangkan setelah dilakukan proses pemfilteran

dengan filter FIR didapatkan hasil sinyal yang lebih stabil anata gelombang positif dan gelombang negatif.

$$\begin{aligned} \text{SNR} &= \text{sinyal ouput} / \text{sinyal noise} \\ &= -53,30 / -19,36 \\ &= 2,350 \text{ dB} \end{aligned}$$

Besar penghapusan noise yang dapat dilakukan oleh filter FIR adalah besar kekuatan dari sinyal tercampur dikurangi dengan sinyal output. Untuk masukan sinyal suara remaja laki-laki didapatkan besar penghapusan noise sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \text{BPN} &= \text{sinyal tercampur} / \text{sinyal output} \\ &= -18,60 - (-53,30) \\ &= 34,70 \text{ dB} \end{aligned}$$

Tabel 1.2 Pengujian Tombol 1 dan 2 :

No	Jenis Masukan	Pilihan Keluaran			
		Pilihan 1		Pilihan 2	
		F(Hz)	dB	F(Hz)	dB
1	Anak-anak (L)	376,21	58,81	100,17	19,36
2	Anak-anak (P)	361,56	57,41	100,17	19,36
3	Remaja (L)	118,48	57,41	100,17	19,36
4	Remaja (P)	168,14	54,73	100,17	19,36

Tabell.3 Pengujian Tombol 3 dan 4

No	Jenis Masukan	Pilihan Keluaran			
		Pilihan 3		Pilihan 4	
		F(Hz)	dB	F(Hz)	dB
1	Anak-anak (L)	100,02	-15,23	376,21	-53,17
2	Anak-anak (P)	100,17	23,11	361,56	-44,50
3	Remaja (L)	100,30	-18,80	118,77	-53,30
4	Remaja (P)	100,07	20,87	168,16	-56,19

Dari hasil pengujian dengan beberapa masukan suara yang berbeda-beda didapatkan nilai keluaran sistem *noise cancelation* yang mendekati frekuensi sinyal suara aslinya. Besar nilai *error* dipengaruhi oleh nilai koefisien dari filter *finite impuls response*. Pada awal program dijalankan, nilai koefisien filter adalah sama dengan 0 (nol). Jika nilai koefisien filter 0 (nol)

maka output dari filter akan bernilai 0 (nol) sehingga *error* yang dihasilkan sama dengan besar nilai sinyal campuran. Untuk memperkecil nilai *error* tersebut maka dilakukan *update* koefesien filter. Proses *update* koefesien filter ini dilakukan agar nilai keluaran dari filter *finite impuls response* mendekati nilai asli dari suara tersebut.

Sinyal *error* merupakan sinyal selisih antara sinyal hasil pencampuran sinyal suara dengan sinyal hasil keluaran filter FIR. Dalam program penghapusan *noise*, sinyal *error* digunakan untuk nilai umpan balik pada *update* koefesien filter. Proses minimalisasi dari sinyal *error* $e(n)$ ini akan menentukan besar adaptasi untuk tingkat koefisien selanjutnya. Tujuan dari *update* koefesiaen adalah untuk menghasilkan sebuah keluaran yang merupakan perkiraan terbaik dari sinyal suara asli. Besarnya nilai *update* koefesien filter dipengaruhi oleh nilai *step size* (μ). Nilai dari *step size* ini harus berada antara 0 (nol) dan satu (1) [3]. Pada sistem *noise cancelation* ini digunakan nilai *step size* sebesar $0,000003 \times 10^{-5}$.

Tabel 1.4 Pengujian *Signal to Noise Ratio*

No	Jenis Masukan	SNR sinyal tercampur	SNR output system	Besar Penghapusan Noise
1	Anak-anak (L)	0,7856 dB	1,8168 dB	19,91 dB
2	Anak-anak (P)	1,1396 dB	2,329 dB	21,29 dB
3	Remaja (L)	0,9607 dB	2,430 dB	14,30 dB
4	Remaja (P)	1,0779 dB	2,912 dB	18,32 dB

Tabel 1.5 Pengujian Suara Remaja Laki-laki

No	Jenis Suara	Frekuensi Masukan	Frekuensi Keluaran
1	Suara 1	98,31 Hz	98,78 Hz
2	Suara 2	118,48 Hz	118,77 Hz
3	Suara 3	149,92 Hz	149,69 Hz
4	Suara 4	191,92 Hz	195,03 Hz
5	Suara 5	150,82 Hz	150,51 Hz

Frekuensi rata-rata untuk jenis masukan suara remaja laki-laki adalah jumlah semua frekuensi dibagi dengan jumlah jenis suara. Dari hasil perhitungan didapatkan hasil frekuensi rata-rata untuk jenis masukan suara remaja laki-laki sebesar 201,49 Hz. Suara remaja laki-laki mempunyai frekuensi yang rendah dikarenakan suara remaja laki-laki terjadi perubahan besar suara pada saat seorang laki-laki itu beranjak remaja. Perubahan besar suara ini mempengaruhi terhadap besar frekuensi suara yang semakin rendah.

Tabel 1.6 Pengujian Suara Remaja Perempuan

No	Jenis Suara	Frekuensi Masukan	Frekuensi Keluaran
1	Suara 1	137,72 Hz	137,61 Hz
2	Suara 2	199,97 Hz	199,06 Hz
3	Suara 3	210,65 Hz	210,89 Hz
4	Suara 4	226,52 Hz	226,31 Hz
5	Suara 5	338,08 Hz	338,27 Hz

Frekuensi rata-rata untuk jenis masukan suara remaja perempuan adalah jumlah semua frekuensi dibagi dengan jumlah jenis suara. Dari hasil perhitungan didapatkan hasil frekuensi rata-rata untuk jenis masukan suara remaja perempuan sebesar 222,58 Hz. Frekuensi suara remaja perempuan lebih tinggi dari frekuensi frekuensi suara remaja laki-laki. Pada kenyataannya memang suara perempuan itu lebih

tinggi dari suara laki-laki namun perbedaan frekuensi suara tersebut hanya kecil yaitu sebesar 21,09 Hz.

Tabel 1.7 Pengujian Suara Anak Laki-laki

No	Jenis Suara	Frekuensi Masukan	Frekuensi Keluaran
1	Suara 1	472,49 Hz	472,54 Hz
2	Suara 2	503,25 Hz	503,41 Hz
3	Suara 3	499,87 Hz	499,72 Hz
4	Suara 4	461,35 Hz	461,39 Hz
5	Suara 5	376,21 Hz	376,21 Hz

Frekuensi rata-rata untuk jenis masukan suara anak laki-laki adalah jumlah semua frekuensi dibagi dengan jumlah jenis suara. Dari hasil perhitungan didapatkan hasil frekuensi rata-rata untuk jenis masukan suara anak laki-laki sebesar 462,63 Hz. Suara anak laki-laki frekuensinya lebih tinggi dibanding frekuensi suara remaja laki-laki maupun frekuensi suara remaja perempuan. Dibandingkan dengan frekuensi suara remaja laki-laki, frekuensi suara anak-anak jauh lebih tinggi hingga 250%.

Tabel 1.8 Pengujian Suara Anak Perempuan

No	Jenis Suara	Frekuensi Masukan	Frekuensi Keluaran
1	Suara 1	848,31 Hz	848,45 Hz
2	Suara 2	722,51 Hz	722,49 Hz
3	Suara 3	861,56 Hz	861,56 Hz
4	Suara 4	348,01 Hz	348,13 Hz
5	Suara 5	333,04 Hz	333,31 Hz

Frekuensi rata-rata untuk jenis masukan suara anak perempuan adalah jumlah semua frekuensi dibagi dengan jumlah jenis suara. Dari hasil perhitungan didapatkan hasil frekuensi rata-rata untuk jenis masukan suara remaja laki-laki sebesar 522,50 Hz. Suara anak perempuan mempunyai frekuensi yang paling tinggi dibanding

frekuensi suara anak laki-laki, frekuensi suara remaja laki-laki maupun frekuensi suara remaja perempuan.

Kesimpulan

Berdasarkan hasil perancangan dan pengujian filter penghapus noise sinusoidal, dapat disimpulkan bahwa:

1. Filter penghapus *noise* dengan memanfaatkan TMS320C6713 dirancang dengan mengacu pada bagian filter digital *finite impulse response*, penselisih sinyal *noise* keluaran filter digital dengan sumber suara tercampur, dan koefisien update filter.
2. Frekuensi suara tertinggi adalah frekuensi suara anak perempuan, kemudian frekuensi suara anak laki-laki, frekuensi suara remaja perempuan dan paling rendah adalah frekuensi suara remaja laki-laki.
3. Frekuensi rata-rata remaja perempuan lebih tinggi dibanding dengan frekuensi rata-rata remaja laki-laki yaitu 222,58Hz berbanding 201,49Hz .
4. Frekuensi rata-rata anak perempuan lebih tinggi dibanding frekuensi rata-rata anak laki-laki yaitu 522,50Hz berbanding 462,63Hz.
5. Besar penghapusan *noise* untuk masukan suara remaja laki-laki adalah sebesar 34,70 dB, untuk masukan suara remaja perempuan adalah sebesar 35,52 dB, untuk masukan suara anak laki-laki adalah sebesar 19,94 dB dan untuk masukan suara anak perempuan adalah sebesar 21,39 dB.
6. Besar *signal to noise ratio* sinyal tercampur untuk masukan suara remaja laki-laki adalah sebesar 0,9607 dB, untuk masukan suara remaja perempuan adalah sebesar 1,0779 dB, untuk masukan suara anak laki-laki adalah sebesar 0,7866

dB dan untuk masukan suara anak perempuan adalah sebesar 1,1936 dB.

7. Besar *signal to noise ratio* sinyal keluaran sistem untuk masukan suara remaja laki-laki adalah sebesar 2,350 dB, untuk masukan suara remaja perempuan adalah sebesar 2,912 dB, untuk masukan suara anak laki-laki adalah sebesar 1,8166 dB dan untuk masukan suara anak perempuan adalah sebesar 2,298 dB.

DAFTAR PUSTAKA

- Chassaing,Rulph.2005,*Digital Signal Processing and Applications with the TMS320C6713 and TMS320C6416 DSK Second Edition*, Canada : John Wiley & Sons, Inc.
- Chassaing,Rulph dan Donald Reay.2008,*Digital Signal Processing and Applications with the TMS320C6713 and TMS320C6416 DSK Second Edition*, Canada : John Wiley & Sons, Inc.
- Oppenheim,Alan V. 1997, *Sinyal dan Sistem Jilid 1 Edisi Kedua*, Jakarta: Erlangga
- Richard, Blocher. 2003, *Dasar Elektronika*, Yogyakarta:Andi
- Siahaan,Boristan.2010,"*Implementasi Real Time Effect Pada Gitar Berbasis Waktu Tunda / Delay Menggunakan DSK TMS320C6713*", Proyek Akhir Politeknik Elektronika Negeri Surabaya.
- Susilawati, Indah, 2009, *Teknik Pengolahan Isyarat Digital*, Universitas Mercu Buana Yogyakarta.
- Tanudjaja,Harlianto.2007, *Pengolahan Sinyal Digital & Sistem Pemrosesan Sinyal*, Yogyakarta: Andi.