

EFEK REVERB TIPE LECTURE HALL DENGAN PENDEKATAN TEORI SABINE BERBASIS DIGITAL SIGNAL PROCESSOR (DSPs)**LECTURE HALL REVERB USING SABINE'S METHOD BASED ON DIGITAL SIGNAL PROCESSOR (DSPs)**Marisa Premitasari¹, Hendi Handian²¹Jurusan Teknik Informatika Institut Teknologi Nasional (ITENAS) Bandung²Jurusan Teknik Elektro Institut Teknologi Nasional (ITENAS) Bandung¹marisa.premitasari@gmail.com, ²hendi.hr@gmail.com**Abstrak**

Salah satu jenis efek musik adalah *reverb*, yang merupakan hasil tiruan dari refleksi bunyi di dalam ruangan dimana sebagian bunyi akan terabsorpsi dan kemudian terjadi pemantulan bunyi yang berulang-ulang. Sesuai dengan tipe ruangnya, *lecture hall* didisain supaya tidak mengganggu suara dosen ketika sedang berbicara dimana sebuah pendekatan bernama teori *Sabine* mempunyai *delay* di bawah satu detik. Teori ini akan direalisasikan menggunakan *DSPs* dengan input gitar elektrik. Perancangan efek dengan pendekatan *Sabine* disusun berdasarkan tiga subsistem yaitu *Early Refelction*, *Butterworth* dan *Reverberation*. Masing-masing subsistem menggunakan pemfilteran *Infinite Impulse Response(IIR)* dan total hasil efek *reverb* dilakukan pemrosesan *Comb Filter*. Realisasi dijalankan dengan menggunakan dua buah *PC* dimana *PC* pertama untuk mengeksekusi program dan *PC* kedua untuk analisis hasil keluaran yang dicatat melalui dua buah *professional software*. *CUBASE SX3* mencatat hasil dengan spesifikasi frekuensi *Sabine* dan *ADOBE AUDITION 2.0* mencatat hasil dengan spesifikasi waktu *Sabine*. Hasil Eksekusi program sementara menunjukkan terjadinya *error* terhadap pendekatan Teori *Sabine*. Untuk spesifikasi frekuensi *Sabine* (faktor penguatan) *error* terbesar terletak pada frekuensi *Sabine* 2000 Hz sebesar 2.57 (frekuensi input 4000 Hz) dan 2.64 (frekuensi input 9600 Hz) sementara spesifikasi waktu *Sabine* (*reverberation time*) menunjukkan error 9.057 dengan frekuensi input 8000 Hz.

Kata kunci : *Reverb, lecture hall, sabine, faktor penguatan, reverberation time, frekuensi input.*

Abstract

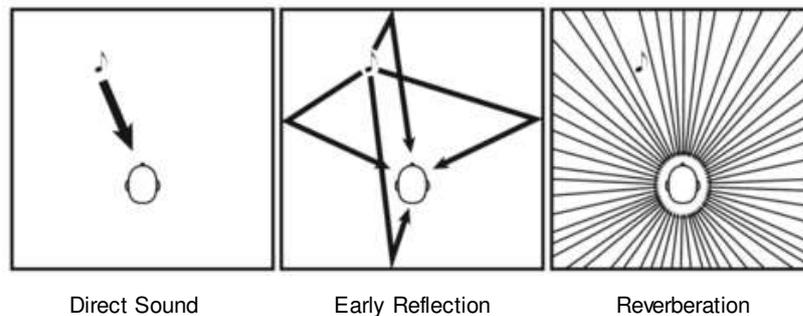
A type of music effect is *Reverb* which is imitated echoes sound in a room. The first sound coming from the source will absorbed half on the wall and the rest of it reflected as echoes. *Lecture hall* is a type of room which is designed for students to hear their lecturer as clear as possible while *Sabine's* methods can reach reverberation time not exceed to one second. In this project *reverb* designed in three subsystem. There are *Early reflection*, *Butterworth* and *Reverberation* subsystem while each of it using *Infinite Impulse Response (IIR)* and for the total result *Comb Filter* were proceed. Meanwhile the input was coming from an electric guitar and *Sabine* method is used based on its parameter about gain in frequency domain and reverberation in time domain. The implementation is done by using two *PCs* while *PC1* executed the program and *PC2* analized the output coming from the *DSP*. *CUBASE SX3* and *Adobe Audition 2.0* were used as professional software to analize the gain and reverberation time. The result shown errors temporarily with gain on 2000 Hz *Sabine's* frequency. It occurred at 2.57 on 4000 Hz and 2.64 on 9600 Hz. Reverberation in *Sabine* shown an error time about 9.057 for 8000 Hz sampling frequency.

Keywords : *Reverb, Lecture Hall, Sabine, gain, reverberation time, frequency sampling.*

1. PENDAHULUAN

Suara dari dalam ruangan akan menimbulkan gema seperti kita bersuara di dalam sebuah goa. Sama halnya dengan suara seseorang di dalam ruangan yang menimbulkan gema. Gema yang dirasakan tentu berbeda antara gema yang berasal dari goa dan yang bukan. Semua itu tergantung dari volume ruangan dan materi pengarsorbsi yang membentuk ruangan tersebut. Dindingnya terbuat dari apa dan benda apa saja yang terdapat didalamnya juga mempengaruhi gema. Ada bermacam-macam tipe ruangan , salah satunya adalah *lecture hall* yang merupakan tempat diadakannya kegiatan perkuliahan antara mahasiswa dengan dosen. Tipe ruangan seperti itu pada umumnya merupakan ruangan besar seperti podium. Semakin besar dan tinggi ruangan maka gema akan semakin bertambah karena efek pantulan suara yang panjang sehingga gema yang dihasilkan tentu akan mengganggu suara dosen bila teredengar mendengung . **Agus Samsi** melakukan penelitian terhadap waktu dengung di dalam ruangan pada frekuensi 500c/s dimana waktu dengung yang terjadi 8.9 detik. Ketika sebuah pendekatan bernama *sabine* dijadikan acuan maka waktu dengung yang dihasilkan menjadi 7.34 detik[1].

Gema dapat dirumuskan sebagai gabungan dari suara sumber dengan *feedback* suara tersebut. *Feedback* dapat dikatakan sebagai *delay* karena pada prakteknya *feedback* datangnya akan lebih lama dari suara asli. Di bawah ini adalah Gambar 1 , menunjukkan suara gema (*Reverb*) yang terdiri dari *Direct Sound*, *Early Reflections* dan *Reverberation*.



Gambar 1 Ilustrasi efek Reverb [2]

Direct Sound menjelaskan sinyal asli yang datang dari sumber suara ke telinga pendengar, kemudian datang *early reflection* yang menunjukkan pantulan (*feedback*) dari *direct Sound*, yang diikuti oleh gema ke segala arah (*reverberation*) Dalam pemrosesan sinyal digital efek *reverb* dapat dibuat dengan filter *IIR* (*Infinite Impulse Response*) . Salah satu penelitian yang dilakukan oleh **Pinki** dan **Rajesh Mehra** bahwa *IIR filter* dipengaruhi oleh orde filter, filter dengan orde rendah akan memiliki *group delay* yang lebih baik, sementara filter dengan orde tinggi akan mempengaruhi respon *magnitude* yang baik [3]. Pada penelitian ini akan dilakukan perancangan efek *delay* di dalam ruangan (*Reverb*) dengan *IIR* dan *Comb Filter* berbasis *DSPs TMS320C50* melalui pendekatan *Sabine*. Tujuan penelitian ini adalah :

1. Menguji respon frekuensi dan ketelitian dari *DSPs* untuk aplikasi efek *reverb* tipe *lecture hall* pada gitar yang berbasis Teori *Sabine*.
2. Membuktikan bahwa dengan dua frekuensi sampling yang berbeda akan dihasilkan nilai *reverberation time* yang berbeda.
3. Mumbuktikan bahwa frekuensi sampling sinyal input berbanding terbalik dengan faktor penguatan sinyal dan nilai *reverberation time*-nya.
4. Membatasi respon terhadap efek *reverb* yang berlebih.

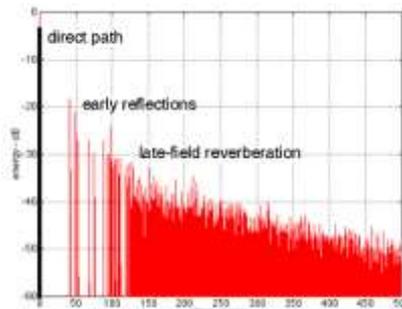
Ada empat metoda penelitian yang digunakan untuk merancang efek reverb :

1. Tahap sudi literatur, meliputi teori *reverb* tipe *lecture hall* yang berbasis *Sabine Theory*, teori *comb filter*, filter *IIR*, teori *DSP*, dan teori pemrosesan sinyal dari manufaktur *DSPs*.
2. Tahap pendisainan subsistem untuk membuat efek *reverb* dan mencari persamaan-persamaannya.
3. Tahap perancangan dan realisasi efek *reverb* tipe *lecture hall* berbasis Teori *Sabine* dengan *DSPs (Digital Signal Processor) TMS320C50* melalui bahasa *assembly*.
4. Tahap pengujian dan analisis dengan realisasi pada *DSPs* . Gitar elektrik digunakan sebagai input pada *DSPs* sehingga perancangan filter untuk hasil keluaran berupa efek *reverb* disesuaikan dengan alat tersebut.

2. TEORI EFEK REVERB

2.1 Efek *Reverb* tipe *Lecture Hall*

Efek *reverb* merupakan salah satu klasifikasi dari efek waktu dengan teknik delay. Ketika sumber bunyi/suara secara langsung mencapai telinga pendengar (*direct sound*) sebagian bunyi terabsorpsi. Kemudian bunyi pertama yang dilewatkan akan dipantulkan kembali dan mencapai telinga pendengar (*early reflection*). Bunyi tersebut akan diikuti suara gema dari berbagai arah (*reverberation*) yang menunjukkan kedalaman ruangan. Dibawah ini Gambar 2 dimana *Direct path* menjelaskan lokasi, volume dan keaslian dari sumber bunyi yang ditunjukkan oleh energi dalam *decibel* (garis vertical) . Selanjutnya, *early reflections* akan menjadi karakteristik utama efek *reverb* di dalam ruangan yang ditunjukkan dengan *time delay* dan *gain* yang bervariasi. *Finishing*-nya adalah efek *reverberation (late-field reverberation)* itu sendiri dimana efek tersebut mempunyai *gain* yang menurun secara teratur dengan *time delay* yang sangat sempit yang diilustrasikan dalam bentuk diagram pada Gambar 2.



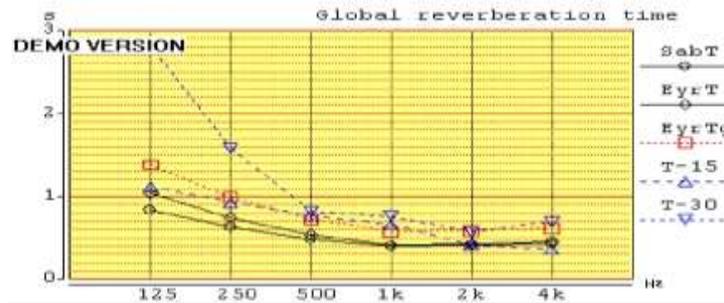
Gambar 2 Diagram efek *reverb* di dalam ruangan.[4]

Salah satu ruangan yang mempunyai efek *reverberation* adalah *lecture hall* sebagai tempat kegiatan belajar mengajar antara mahasiswa dengan dosen yang didisain agar tidak terjadi bunyi gema yang berlebih. Ciri khas-nya adalah *reverb* tipe *lecture hall* tidak menyimpang jauh dari bentuk aslinya, namun bila didengar akan terasa karakteristik kedalaman ruangan dan perefleksiannya. Seberapa panjang (*time*) dan keras (volume) hasil refleksi ditentukan dari sifat-sifat absorpsi setiap material yang mempunyai frekuensi berbeda-beda. Sebagai contoh Katedral di Paris (*Paris Notre Dame Cathedral*) mempunyai *reverberation time* 8.5 s dan *Lecture Hall* mempunyai nilai *reverberation time* di bawah satu detik karena bila berlebih akan mengganggu suara dosen ketika berbicara.[5]

2.2 Parameter *Sabine*[6-8]

Parameter ini akan dipakai sebagai batasan hasil perancangan dimana *Sabine* mempunyai spesifikasi terhadap parameter frekuensi dan parameter waktu. Untuk penguatan frekuensi (*gain*), *Sabine* membagi menjadi 3 bagian, yaitu 1.3 pada 125 Hz, 1.39 pada 500 Hz dan 1.19 pada 2000 Hz.

Sementara untuk parameter waktu, nilai *reverberation time* harus dibawah 1 detik (0.7 detik-0.8 detik) seperti yang ditunjukkan oleh grafik pada Gambar 3



Gambar 3. Perbandingan Reverberation time Sabine (SabT) dengan parameter lain[7]

2.3 Comb Filter[9-10]

Sesuai dengan namanya, *comb filter* dibuat untuk menghaluskan bentuk sinyal, dimana persamaanya ditunjukkan oleh Persamaan 1.

$$Y[n]=b_0 * X[n] \pm b_M * X[n-k] \tag{1}$$

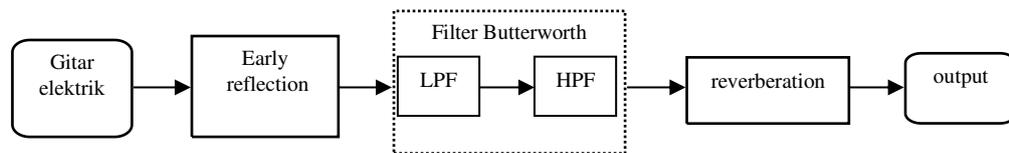
Dimana b_0 adalah faktor skala sinyal input, b_M adalah faktor skala sinyal ter-*delay*, K adalah panjang *delay* dalam sampel dan tanda \pm merupakan faktor penguatan dan peredaman. Sementara $X(n)$ adalah sinyal asli, $Y(n)$ adalah sinyal keluaran comb filter, dan n adalah jumlah orde.

3. PERANCANGAN SISTEM

Diagram blok perancangan efek *reverb* ditunjukkan pada gambar 4. Dimana subsistem *early reflection*, filter *butterworth* dan *reverberation* mempunyai persamaan dasar[11]:

$$y[n_1]=b_1 * x[n] + b_2 * x[n-k_1] \pm a_2 * y[n-k_2] \tag{2}$$

$y[n_1]$ menunjukkan sinyal output, $x[n]$ adalah sinyal input yang tidak terdelay dan dikalikan dengan koefisien pengali b_1 . $x[n-k_1]$ adalah sinyal input terdelay k_1 dan dikalikan dengan koefisien b_2 . dan $y[n-k_2]$ adalah sinyal output terdelay k_2 dikalikan dengan koefisien a_2 .



Gambar 4. Perancangan efek reverb

Berikut adalah disain perancangan (penentuan parameter) untuk setiap subsistemnya berdasarkan persamaan di atas :

1. Subsistem *Early Reflection (ER)*

Subsistem ini menggabungkan dua sinyal yaitu $y[n_1]$ sebagai output *early reflection* pertama dan $y[n_2]$ sebagai output *early reflection* kedua. Ketika sinyal-sinyal tersebut dijumlahkan maka didapat hasil total sinyal *early reflection* ($y[ER]$) yang dijelaskan pada persamaan 3, 4 & 5 di bawah ini

$$y[n1]=0.0035*x[n]+x[n-2500]+0.0225*y[n1-1000] \quad (3)$$

$$y[n2]=0.7288*x[n]+x[n-2500]-0.02*y[n2-1000] \quad (4)$$

$$y[ER]=y[n1]+y[n2] \quad (5)$$

$y[n1]$ menjumlahkan dua sinyal input ($x[n]$) dan satu sinyal output ($y[n]$). Sinyal input pertama dikalikan koefisien pengali sebesar 0.0035. Sinyal input kedua memproses 2500 delay dan sinyal output memproses 1000 delay kemudian dikalikan dengan koefisien pengali sebesar 0.0225. Sementara $y[n2]$ mempunyai koefisien pengali sebesar 0.7288 terhadap sinyal input pertama, memproses 2500 delay untuk sinyal input kedua dan mengurangi sinyal output sebesar 0.02 kali dimana sinyal output memproses 1000 delay.

2. Subsystem *Butterworth*

Sinyal *early reflection* ($y[ER]$) akan masuk sebagai input untuk filter *butterworth LPF* yang hasilnya akan diproses untuk jadi masukan bagi filter *HPF* (pers. 6 & 7)

$$y[LPF]=0.0035*y[ER]+0.0035*y[ER-1]-0.9930*y[LPF-1] \quad (6)$$

$$y[HPF]=0.7288*y[LPF]+0.7288*y[LPF-1]-0.4577*y[HPF-1] \quad (7)$$

$y[LPF]$ menjumlahkan dua sinyal input ($y[ER]$) dan mengurangi satu sinyal output ($y[LPF]$). Dimana sinyal input pertama dikalikan koefisien pengali sebesar 0.0035. Sinyal input kedua memproses filter orde satu yang dikalikan dengan 0.0035. Sinyal output juga memproses filter orde satu yang dikalikan dengan koefisien pengali sebesar 0.0225.

3. Subsystem *Reverberation*

Sebagai finishing dari disain efek maka subsystem *reverberation* ditambahkan dengan memasukkan $y[R1]$ dan $y[R2]$ pada persamaan 8 dan 9.

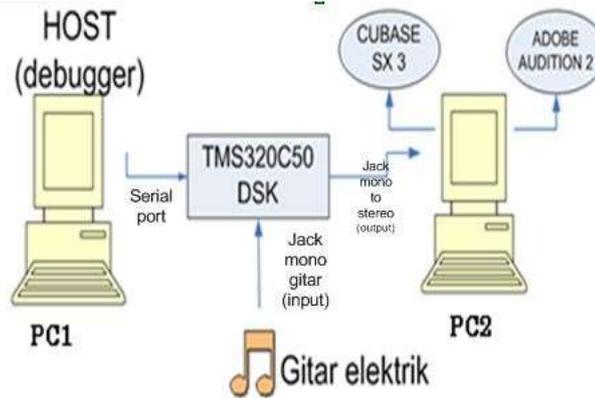
$$y[R1]=0.03375*y[HPF]+y[HPF-110]-0.03375*y[R1-110] \quad (8)$$

$$y[R2]=0.04375*y[R1]+y[R1-120]-0.04375*y[R2-120] \quad (9)$$

$y[R1]$ menjumlahkan dua sinyal input ($y[HPF]$) dan mengurangi satu sinyal output. Sinyal input pertama dikali dengan koefisien 0.03375. Sinyal input kedua didelay 110 kali dan sinyal output didelay 120 kali.

4. PERCOBAAN DAN HASIL

Percobaan menggunakan dua buah PC, sebuah gitar elektrik sebagai input dan Board *DSKTMS320C50* (Gambar 5). Input yang datang dari gitar disambungkan dengan *jack mono DSP* kemudian prosesnya dilakukan komunikasi serial melalui *serial port* pada *PCI* dimana PC 1 bertindak sebagai *host (debugger)*



Gambar 5 Proses Percobaan

Hasil Keluaran dilewatkan melalui jack *mono to stereo* (sebagai output) dan diamati dengan bantuan dua buah software berbayar yaitu *Adobe Audition 2.0* dan *Cubase S.X* Setelah perancangan dijalankan pada *DSP*, maka didapat hasil sebagai berikut (Tabel 1&2) sebaiknya dijelaskan bagaimana proses percobaannya.

Tabel 1. Hasil Efek *Reverb* dengan Domain Frekuensi pada 4000 Hz

Sinyal Input	Sinyal Asli	Early Reflection	Butterworth	Reverberation
125 Hz	-26.02 dB	-10.63 dB	-22.16 dB	-24.58 dB
500 Hz	-17.18 dB	-11.54 dB	-17.13 dB	-9.66 dB
2000 Hz	-43.87 dB	-17.86 dB	-17.99 dB	-28.66 dB

Tabel 2. Hasil Efek *Reverb* dengan Domain Frekuensi pada 9600 Hz

Sinyal Input	Sinyal Asli	Early Reflection	Butterworth	Reverberation
125 Hz	-36.99 dB	-9.11 dB	-21.25 dB	-0.00 dB
500 Hz	-27.84 dB	-10.52 dB	-15.68 dB	-10.25 dB
2000 Hz	-42.23 dB	-19.71 dB	-17.43 dB	-30.73 dB

Hasil pengujian untuk penguatan efek *reverb* berada pada subsistem *reverberation* dan hasil pengujian untuk waktu *Sabine* adalah 9.057 s dengan frekuensi input 8000 Hz dan 2.255 s dengan frekuensi input 19200 Hz. Di bawah ini adalah Tabel 3 yang merupakan hasil perbandingan output terhadap input dalam domain frekuensi dan waktu eksekusi dari TMS320C50 pada Tabel 4.

Tabel 3. Hasil Perbandingan Output total efek *reverb* dengan frekuensi *Sabine*

Frekuensi Sampling	Realisasi (ratio)		
	125 Hz	500 Hz	2000 Hz
4000 Hz	1.15	1.34	2.57
9600 Hz	1.03	0.78	2.64
Frekuensi Sabine	1.3	1.39	1.19

Tabel 4. Waktu eksekusi dari TMS320C50

Subprogram	Hasil Penjumlahan Word	Waktu Eksekusi (ms)
Inialisasi DSK	92 Word	0.0046 ms
Early Reflection	7590 Word	37.95 ms
Butterworth	94 Word	0.0047 ms
Reverberation	320 Word	0.016 ms

5. KESIMPULAN

1. Analisis untuk frekuensi *Sabine* menunjukkan bahwa *error ratio* banyak terjadi pada frekuensi *Sabine* 2000 Hz. Hal ini disebabkan karena masih terdapat *noise* pada frekuensi tersebut dan juga penggunaan *buffer delay* yang panjang pada subsistem *early reflection*. Sementara analisis waktu *Sabine* menunjukkan bahwa *error ratio* banyak terdapat pada frekuensi sampling 8000 Hz. Hal ini disebabkan oleh respon *DSPs* yang tinggi terhadap frekuensi rendah dan akurat untuk sampling sinyal inputnya
2. Dengan adanya frekuensi input yang berbeda maka akan didapatkan nilai yang berbeda. Hal ini menunjukkan bahwa efek *reverb* sangat dipengaruhi oleh sampling sinyal input, terutama terhadap nilai *reverberation time*-nya
3. *Digital signal processing* dengan teknik *delay* terhadap sampel-nya membuktikan bahwa semakin rendah frekuensi input akan dihasilkan *reverberation time* yang lebih lama
4. Pengujian terhadap dua frekuensi input membuktikan bahwa semakin rendah frekuensi input maka semakin besar faktor penguatan sinyal dan semakin lama nilai *reverberation time*. Hal ini menunjukkan bahwa frekuensi sampling berbanding terbalik dengan faktor penguatan sinyal dan nilai *reverberation time*-nya.
5. Semakin kecil frekuensi input maka semakin mendekati nilai *Sabine*. Hal ini cukup terbukti pada pengujian frekuensi 4000 Hz

Daftar Pustaka:

- [1] Samsi,A..2007. Perhitungan Waktu Dengung dengan Menggunakan Metoda Akustik Geometri. Tugas Akhir. Bandung: Institut Teknologi Bandung.
- [2] Shepard, B.K..2013.*Refining Sound : A Practical Guide to Synthesis and Synthesizer*. Oxford University Press.Hlm 175
- [3] Pinki, Mehra, R..2014. *Group Delay Analysis of IIR Butterworth Filter For Different Orders*. Proceeding IRCTIET.
- [4] Berners, David, P., Abel, Jonathan,S.,*Ask The Doctors! Drs. David P.Berners and Jonathan S Abel Answer Your Signal Processing Question*[Online] . Available at <http://www.uaudio.com/webzine/2003/august/text/content2.html> [diakses pada tanggal 13 maret 2016]
- [5] Feiereisen, F., Hill, A.M.. 2012. *Germany in The Loud Twentieth Century : An Introduction*. USA: Oxford University Press. Hlm 64.
- [6] Sabine, W.C.. 1964. *Collected Paper on Acoustics* . New York : Dover Publications.
- [7] Oh, K. Y.. 2005. *Sabine Theory (Basic Theory on Physical Variables in Acoustically Large Space)*.
- [8] Parkin P H, and Humphreys H R. 1958. *Accoustic Noise and Buildings*.Faber Paper Covered Editions.
- [9] Darlis, A.R. 2015. *Fractal Communication System Using Digital Signal Processing Starter Kit TMS320C6713*. Jurnal Comtech Bina Nusantara, Jakarta.
- [10] Lidyawati, L., Darlis, A.R. 2015. Implementasi Filter Implementasi Filter *Infinite Impulse Response* (IIR) dengan Respon *Butterworth* dan *Chebyshev* menggunakan DSK TMS320C6713” Jurnal JETT Telkom University, Bandung.
- [11] Lidyawati, L., Darlis,A.R., Ramadoni.S.I. 2015. Implementasi Implementasi Filter *Infinite Impulse Response* (IIR) dengan Respon *Elliptic* dan *Bessel* menggunakan DSK TMS320C6713”, Jurnal JETT Telkom University, Bandung.