



TUGAS AKHIR - TE 141599

**EKUALISER ADAPTIF UNTUK SISTEM KOMUNIKASI
AKUSTIK BAWAH AIR**

Maria Yosefa Febriyanti
NRP 2211 100 190

Dosen Pembimbing
Dr. Ir. Wirawan, DEA.
Dr. Ir. Suwadi, MT.

JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2015



FINAL PROJECT - TE 141599

**ADAPTIVE EQUALIZER FOR UNDERWATER ACOUSTIC
COMMUNICATION SYSTEM**

Maria Yosefa Febriyanti
NRP 2211 100 190

Supervisors
Dr. Ir. Wirawan, DEA.
Dr. Ir. Suwadi, MT.

DEPARTMENT OF ELECTRICAL ENGINEERING
Faculty of Industrial Technology
Sepuluh Nopember Institute of Technology
Surabaya 2015

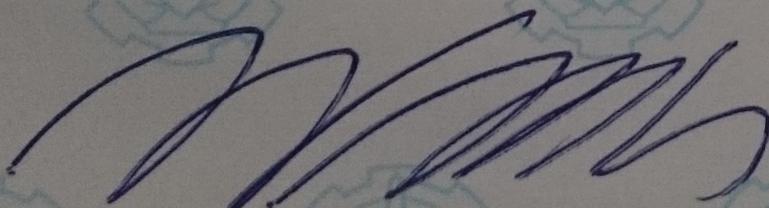
**EKUALISER ADAPTIF UNTUK SISTEM
KOMUNIKASI AKUSTIK BAWAH AIR**

TUGAS AKHIR

**Diajukan Guna Memenuhi Sebagian Persyaratan Untuk
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik Elektro
Pada
Bidang Studi Telekomunikasi Multimedia
Jurusan Teknik Elektro
Institut Teknologi Sepuluh Nopember**

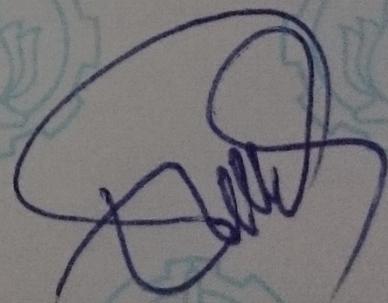
Menyetujui

Dosen Pembimbing I,

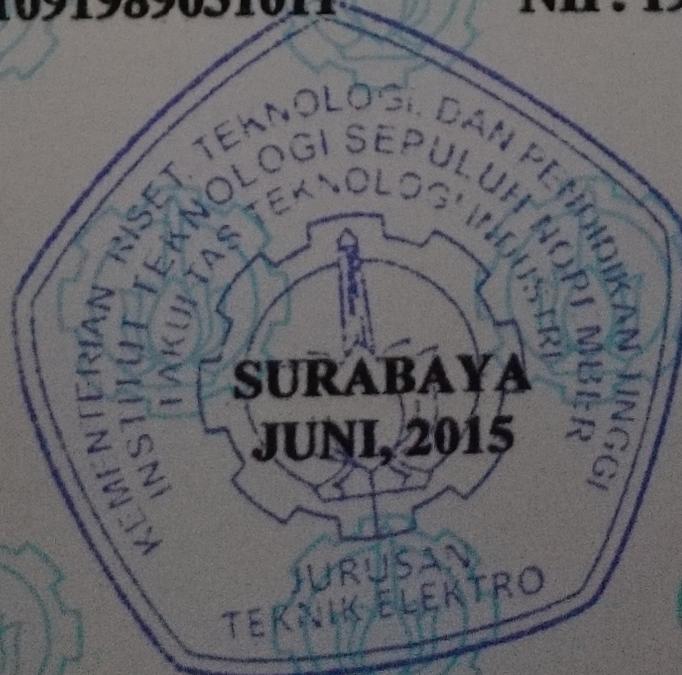


Dr. Ir. Wirawan, DEA.
NIP. 196311091989031011

Dosen Pembimbing II,



Dr. Ir. Suwadi, MT.
NIP. 196808181993031002



EKUALISER ADAPTIF UNTUK SISTEM KOMUNIKASI AKUSTIK BAWAH AIR

Maria Yosefa Febriyanti
2211 100 190

Dosen Pembimbing I : Dr. Ir. Wirawan, DEA.
Dosen Pembimbing II : Dr. Ir. Suwadi, MT.

ABSTRAK

Saat ini, komunikasi akustik bawah air semakin bertambah penting dalam kehidupan kita. Sebagai contohnya adalah digunakan sebagai monitoring lingkungan, untuk mengeksplorasi samudera, dan untuk mendukung dalam pelaksanaan misi militer. Namun karena karakteristik kanal bawah air yang tidak ideal maka terjadi distorsi pada kanal komunikasi yang mengakibatkan *Intersymbol Interference* (ISI).

Adanya ISI pada data informasi yang diakibatkan oleh distorsi pada kanal komunikasi bawah air dapat diatasi dengan merancang suatu receiver yang dilengkapi dengan ekualiser. Secara umum karakteristik kanal bawah air tidak dapat ditentukan secara tepat sehingga untuk itu diperlukan teknik ekualisasi adaptif. Pada tugas akhir ini digunakan ekualisasi adaptif dengan algoritma *Least Mean Square* (LMS), dengan modulasi BPSK. Sistem ini diimplementasikan menggunakan perangkat DSP *stater kit* TMS320C6416

Hasil pengujian simulasi dan implementasi ditampilkan dalam bentuk tabel dan grafik BER terhadap variasi E_b/N_0 dengan mengirimkan data 100.000 bit. Dari hasil yang didapat, ekualiser dengan algoritma LMS dapat mengurangi BER yang diakibatkan oleh ISI dengan baik. Pada sistem dengan kanal AWGN dengan $E_b/N_0 = 3$, ekualiser adaptif dapat mengurangi BER sebesar 99.21% dengan panjang *filter* = 12 dan pada sistem dengan kanal Rayleigh + AWGN dengan $E_b/N_0 = 3$, ekualiser adaptif dapat mengurangi BER sebesar 77.31% dengan panjang *filter* = 8. Pada implementasi dengan kanal real, ekualiser dapat mengurangi ISI sebesar 64.28% dengan panjang *filter* = 4.

Kata Kunci : Komunikasi akustik, Ekualisasi Adaptif, *Least Mean Square* (LMS), *Intersymbol Interference* (ISI)

EKUALISER ADAPTIF UNTUK SISTEM KOMUNIKASI AKUSTIK BAWAH AIR

Maria Yosefa Febriyanti
2211 100 190

Dosen Pembimbing I : Dr. Ir. Wirawan, DEA.
Dosen Pembimbing II : Dr. Ir. Suwadi, MT.

ABSTRAK

Saat ini, komunikasi akustik bawah air semakin bertambah penting dalam kehidupan kita. Sebagai contohnya adalah digunakan sebagai monitoring lingkungan, untuk mengeksplorasi samudera, dan untuk mendukung dalam pelaksanaan misi militer. Namun karena karakteristik kanal bawah air yang tidak ideal maka terjadi distorsi pada kanal komunikasi yang mengakibatkan *Intersymbol Interference* (ISI).

Adanya ISI pada data informasi yang diakibatkan oleh distorsi pada kanal komunikasi bawah air dapat diatasi dengan merancang suatu receiver yang dilengkapi dengan ekualiser. Secara umum karakteristik kanal bawah air tidak dapat ditentukan secara tepat sehingga untuk itu diperlukan teknik ekualisasi adaptif. Pada tugas akhir ini digunakan ekualisasi adaptif dengan algoritma *Least Mean Square* (LMS), dengan modulasi BPSK. Sistem ini diimplementasikan menggunakan perangkat DSP *stater kit* TMS320C6416

Hasil pengujian simulasi dan implementasi ditampilkan dalam bentuk tabel dan grafik BER terhadap variasi E_b/N_0 dengan mengirimkan data 100.000 bit. Dari hasil yang didapat, ekualiser dengan algoritma LMS dapat mengurangi BER yang diakibatkan oleh ISI dengan baik. Pada sistem dengan kanal AWGN dengan $E_b/N_0 = 3$, ekualiser adaptif dapat mengurangi BER sebesar 99.21% dengan panjang *filter* = 12 dan pada sistem dengan kanal Rayleigh + AWGN dengan $E_b/N_0 = 3$, ekualiser adaptif dapat mengurangi BER sebesar 77.31% dengan panjang *filter* = 8. Pada implementasi dengan kanal real, ekualiser dapat mengurangi ISI sebesar 64.28% dengan panjang *filter* = 4.

Kata Kunci : Komunikasi akustik, Ekualisasi Adaptif, *Least Mean Square* (LMS), *Intersymbol Interference* (ISI)

ADAPTIVE EQUALIZER FOR UNDERWATER ACOUSTIC COMMUNICATION SYSTEM

Maria Yosefa Febriyanti
2211 100 190

Supervisor I : Dr. Ir. Wirawan, DEA.
Supervisor II : Dr. Ir. Suwadi, MT.

ABSTRACT

Underwater acoustic communication is becoming increasingly important in our lives. For example, is used as environmental monitoring, to explore the ocean, and to support the implementation of the military mission. However, due to the characteristics of underwater canals that are not ideal, the distortion in the channel of communication that resulted Intersymbol Interference.

The existence of Intersymbol Interference (ISI) in the data caused by the distortion of information on underwater communication channel can be addressed by designing a receiver equipped with the equalizer. In general, the characteristics of underwater channels can not be determined precisely so it is necessary for adaptive equalization technique, which can be followed dynamically change channel characteristics. In this final the system use adaptive equalization algorithm Least Mean Square (LMS), the modulation used is BPSK. This system is implemented using the TMS320C6416 DSP starter kit.

The test results of simulation and implementation is shown in tables and graphs BER to variations in E_b / N_0 by sending the data of 100,000 bits. From the results obtained, the equalizer with LMS algorithm can reduce BER caused by ISI. On a system with AWGN channel with $E_b/N_0= 3$, adaptive equalizer can reduce the BER of 99.21% with a filter length = 12 and on systems with Rayleigh + AWGN channel with $E_b/N_0= 3$, adaptive equalizer can reduce the BER of 77.31% with a filter length = 8. In the implementation of the real channel, adaptive equalizer can reduce BER of 64.28% with a filter length = 4.

Keyword : Acoustic communication, Adaptive Equalization, Least Mean Square (LMS), Intersymbol Interference (ISI)

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Tuhan Yang Maha Esa karena atas rahmat dan karunia-Nya penulis dapat menyelesaikan penulisan buku Tugas Akhir dengan judul “EKUALISER ADAPTIF UNTUK SISTEM KOMUNIKASI AKUSTIK BAWAH AIR”. Tugas akhir merupakan salah satu syarat yang harus dipenuhi untuk menyelesaikan program studi Strata-1 pada Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknologi Industri Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

Penulis menyadari bahwa dalam penulisan skripsi ini banyak mengalami kendala, namun berkat bantuan, bimbingan, dan kerjasama dari berbagai pihak sehingga kendala-kendala tersebut dapat diatasi. Untuk itu pada kesempatan ini penulis menyampaikan banyak terimakasih dan penghargaan setinggi-tingginya kepada :

1. Kedua orang tua, Ibu Laurensia Lunawati dan Bapak TS. Winarso yang selalu memberikan dukungan, semangat, dan doa kepada penulis.
2. Bapak Wirawan dan Bapak Suwadi selaku Dosen Pembimbing atas segala bantuan, perhatian, dan arahan selama pengerjaan Tugas Akhir ini.
3. Bapak Endroyono selaku Koordinator Bidang Studi Telekomunikasi Multimedia Jurusan Teknik Elektro ITS.
4. Bapak Tri Arief Sardjono selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro ITS.
5. Bapak dan Ibu dosen bidang studi Telekomunikasi Multimedia, Teknik Elektro ITS
6. Hendra Antomy, Rekan-rekan e51, yang membantu dalam pembuatan tugas akhir ini.
7. Teman – teman kocan, Revita Alisa, dan Cinder Gana yang selalu memberi support dan semangat kepada penulis.

Penulis menyadari bahwa pada penyusunan laporan tugas akhir ini masih terdapat kekurangan-kekurangan karena keterbatasan kemampuan yang penulis miliki, walaupun demikian penulis berharap tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi yang membutuhkannya.

Surabaya, Mei 2015

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR.....	v
LEMBAR PENGESAHAN.....	vii
ABSTRAK.....	ix
ABSTRACT.....	xi
DAFTAR ISI.....	xv
DAFTAR GAMBAR.....	xvii
DAFTAR TABEL.....	xix
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Perumusan Masalah.....	1
1.3 Batasan Masalah.....	2
1.4 Tujuan.....	2
1.5 Metodologi.....	2
1.6 Sistematika Pembahasan.....	3
1.7 Relevansi.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Sistem Komunikasi Bawah Air.....	5
2.1.1 Karakteristik Kanal Bawah Air.....	7
2.1.2 Karakteristik Jaringan Sensor Nirkabel Bawah Air.....	8
2.3 Ekuaiser [1].....	11
2.4 <i>Least Mean Square (LMS)</i> [4].....	12
2.5 <i>Intersymbol Interference (ISI)</i> [1].....	14
2.6 <i>Raised Cosine</i>	16
2.7 <i>DSP Starter Kit (DSK) TMS320C6416</i> [5].....	17
2.8 Code Composer Studio.....	20
BAB III PERANCANGAN SISTEM.....	23
3.1 Persiapan Perangkat Lunak.....	24
3.1.1 Integrasi Simulink Matlab dengan CCS v3.1.....	24
3.2 Pemodelan Sistem.....	25
3.3 Simulasi Sistem.....	26
3.3.1 Data Informasi.....	26
3.3.2 Sistem Modulasi dan Demodulasi BPSK.....	27
3.3.3 Filter Pembentuk Raised Cosine.....	28
3.3.4 Pemodelan Kanal Komunikasi.....	29
3.3.5 Pemodelan Algoritma LMS.....	32

3.4.	Implementasi Sistem Ekuwaliser Adaptif	39
3.5.	Pengujian Sistem	42
3.6.	Perangkat Implementasi	45
3.6.1	Perangkat Keras	45
3.6.2	Perangkat Lunak	46
BAB IV PENGUJIAN DAN ANALISA SISTEM.....		47
4.1	Perhitungan Kinerja Modulasi BPSK secara Teori dan Simulasi	47
4.2	Pengujian Sistem pada Simulink	50
4.2.1	Pengujian Sistem dengan Kanal AWGN pada Simulink	50
4.2.2	Pengujian Sistem dengan Kanal <i>Rayleigh</i> + AWGN pada Simulink.....	55
4.3	Analisis Implementasi dari Kinerja Sistem Ekuwaliser Algoritma LMS.....	60
4.3.1	Pengujian Implementasi Sistem dengan Kanal AWGN.....	60
4.3.2	Pengujian Implementasi Sistem dengan Kanal <i>Rayleigh</i> + AWGN.....	62
4.3.3	Pengujian Implementasi Sistem dengan Kanal <i>Real</i>	63
4.4	Perbandingan Kinerja Sistem Ekuwaliser Algoritma LMS Berdasarkan Hasil Simulasi dan Implementasi	64
BAB V PENUTUP.....		67
5.1.	Kesimpulan	67
5.2.	Saran	68
DAFTAR PUSTAKA.....		69
LAMPIRAN.....		71

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Pemetaan bit simbol ke BPSK.....	9
Tabel 4.1 Perbandingan BER dan Eb/No BPSK Kanal AWGN.....	48
Tabel 4.2 Perbandingan nilai BER vs Eb/No BPSK Kanal <i>Rayleigh</i>	49
Tabel 4.3 Nilai BER Simulasi Algoritma LMS Kanal AWGN dengan <i>step size</i> (μ)= 0.005.....	53
Tabel 4.4 Nilai Respon Impuls Kanal <i>Rayleigh</i>	56
Tabel 4.5 Nilai BER Simulasi Sistem Algoritma LMS Kanal <i>Rayleigh</i> + AWGN dengan <i>step size</i> (μ)= 0.005.....	58
Tabel 4.6 Nilai BER Implementasi Algoritma LMS Kanal AWGN dengan <i>step size</i> (μ)= 0.005.....	61
Tabel 4.7 Nilai BER Implementasi Algoritma LMS Kanal <i>Rayleigh</i> + AWGN dengan <i>step size</i> (μ)= 0.005.....	62
Tabel 4.8 Nilai BER Implementasi Algoritma LMS menggunakan Kanal <i>Real</i> dengan <i>step size</i> (μ)= 0.005.....	63

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	<i>Path</i> propagasi dasar lautan.....	7
Gambar 2.2	Modulasi BPSK	10
Gambar 2.3	Struktur <i>filter</i> transversal linier.....	12
Gambar 2.4	Data yang dikirim.....	14
Gambar 2.5	Data yang diterima.....	14
Gambar 2.6	Deretan pulsa 101101 yang dikirim.....	14
Gambar 2.7	Peluberan Simbol.....	15
Gambar 2.8	Karakteristik pulsa <i>raisedcosine</i>	17
Gambar 2.9	Blok Diagram DSK TMS320C6416.....	18
Gambar 2.10	Tampak atas DSK TMS320C6416.....	19
Gambar 2.11	Tampilan Code Composer Studio v3.1.....	20
Gambar 3.1	Skema Metodologi.....	23
Gambar 3.2	Model umum sistem komunikasi bawah air dengan ekualiser.....	25
Gambar 3.3	Bernoulli binary generator.....	27
Gambar 3.4	Blok modulator dan demodulator BPSK baseband.....	27
Gambar 3.5	Bentuk Sinyal Baseband BPSK.....	28
Gambar 3.6	<i>Raised Cosine</i> transmit filter.....	28
Gambar 3.7	Pemodelan kanal <i>multipath rayleigh fading</i>	29
Gambar 3.8	Blok <i>rate transition</i>	30
Gambar 3.9	Kanal AWGN.....	31
Gambar 3.10	Blok Kanal AWGN.....	31
Gambar 3.11	Blok LMS Filter.....	33
Gambar 3.12	Blok <i>display</i> perhitungan <i>bit error rate</i>	33
Gambar 3.13	Blok sistem simulasi dengan kanal AWGN tanpa ekualiser LMS.....	35
Gambar 3.14	Blok sistem simulasi dengan kanal <i>Rayleigh</i> + AWGN tanpa ekualiser LMS.....	36
Gambar 3.15	Blok sistem simulasi dengan kanal AWGN dengan ekualiser LMS.....	37
Gambar 3.16	Blok sistem simulasi dengan kanal <i>Rayleigh</i> + AWGN dengan ekualiser LMS.....	38
Gambar 3.17	Blok C6416DSK.....	39
Gambar 3.18	Blok RTDX.....	40
Gambar 3.19	Ikun 6416 DSK CCStudio v3.1.....	41
Gambar 3.20	Pengaturan koneksi antara PC dan DSK board.....	41

Gambar 3.21 Pengaturan RTDX.....	42
Gambar 3.22 <i>Button incremental build</i>	42
Gambar 3.23 Blok Perhitungan MSE.....	43
Gambar 3.24 Blok Perhitungan BER.....	44
Gambar 3.25 Pengaturan RTDX.....	44
Gambar 3.26 DSK TMS320C6416T.....	45
Gambar 4.1 Perbandingan Kinerja BPSK Kanal AWGN secara teori dan BPSK secara simulasi.....	48
Gambar 4.2 Perbandingan Kinerja BPSK Kanal <i>Rayleigh</i> + AWGN secara teori dan BPSK secara simulasi.....	49
Gambar 4.3 Grafik Konvergensi LMS Kanal AWGN dengan $L=4$	51
Gambar 4.4 Grafik Konvergensi LMS Kanal AWGN dengan $L=8$	51
Gambar 4.5 Grafik Konvergensi LMS Kanal AWGN dengan $L=12$	52
Gambar 4.6 Grafik Nilai BER LMS Kanal AWGN dengan <i>step size</i> (μ)=0.005.....	53
Gambar 4.7 Koefisien <i>Filter</i>	54
Gambar 4.8 Nilai Respon Impuls.....	55
Gambar 4.9 Grafik Konvergensi LMS Kanal <i>Rayleigh</i> + AWGN dengan $L = 4$	56
Gambar 4.10 Grafik Konvergensi LMS Kanal <i>Rayleigh</i> + AWGN dengan $L = 8$	57
Gambar 4.11 Grafik Konvergensi LMS Kanal <i>Rayleigh</i> + AWGN dengan $L = 12$	57
Gambar 4.12 Grafik Nilai BER LMS Kanal <i>Rayleigh</i> + AWGN dengan <i>step size</i> (μ)=0.005.....	59
Gambar 4.13 Koefisien <i>Filter</i>	60
Gambar 4.14 Grafik Nilai BER Implementasi LMS Kanal AWGN dengan <i>step size</i> (μ)=0.005.....	61
Gambar 4.15 Grafik Nilai BER Implementasi LMS Kanal <i>Rayleigh</i> + AWGN dengan <i>step size</i> (μ)=0.005.....	63
Gambar 4.16 Grafik perbandingan kinerja sistem tanpa ekualiser dan dengan ekualiser.....	64

RIWAYAT PENULIS



Penulis, Maria Yosefa Febriyanti, lahir di Bandung pada tanggal 27 Februari 1993. Merupakan anak tunggal dari pasangan Bapak TS. Winarso dan Ibu Laurensia Lunawati. Penulis menyelesaikan Sekolah Dasar di SD Maria Fransiska, Bekasi pada tahun 2005. Melanjutkan sekolah menengah pertama di SMP Global Prestasi School dan selesai pada tahun 2008. Kemudian melanjutkan sekolah menengah atas di SMAN 28 Jakarta dan menyelesaikannya pada tahun 2011. Pada tahun 2011 penulis melanjutkan studi di Institut Teknologi Sepuluh Nopember dengan Jurusan Teknik Elektro. Penulis mengambil bidang studi Telekomunikasi Multimedia dan memilih topik Tugas Akhir mengenai *Underwater Acoustic*.

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perairan di Indonesia memiliki kekayaan bahari yang potensial, sehingga memungkinkan adanya pengembangan di bidang pelayaran, perikanan, militer, dan hal lain yang berhubungan dengan potensi Indonesia di bidang maritim. Salah satu penunjang untuk dapat mengoptimalkan potensi Indonesia di bidang maritim adalah dengan pengembangan sistem komunikasi bawah air.

Karakteristik kanal bawah air yang tidak ideal menyebabkan distorsi pada komunikasi bawah air. Distorsi pada kanal komunikasi bawah air mengakibatkan terjadinya *Intersymbol Interference (ISI)*, yang jika tidak diatasi dengan baik maka akan menghasilkan *error* dari data yang diterima oleh *receiver*.

Untuk mengatasi permasalahan tersebut, akan dirancang suatu *receiver* yang memiliki ekualiser untuk mengurangi ISI. Dalam kebanyakan sistem telekomunikasi yang menggunakan ekualiser, karakteristik kanal tidak diketahui sebelumnya atau respon dari kanal adalah *time-variant*, sehingga dibutuhkan suatu ekualiser yang dapat bekerja secara dinamis mengikuti perubahan respon dari kanal yang *time-variant*. Teknik seperti ini disebut dengan ekualisasi adaptif.

Dengan menggunakan ekualisasi adaptif maka kita dapat mengurangi terjadinya ISI sehingga kesalahan dari data informasi yang diterima oleh receiver dapat dikurangi.

1.2 Perumusan Masalah

Permasalahan yang dibahas dalam tugas akhir ini adalah :

1. Bagaimana membuat suatu simulasi ekualiser adaptif yang dapat mengurangi BER akibat ISI untuk komunikasi akustik bawah air pada Matlab?
2. Bagaimana cara mengimplementasikan ekualiser adaptif pada DSK TMS320C6416?
3. Bagaimana kinerja ekualiser dalam melakukan proses ekualisasi pada komunikasi bawah air?

1.3 Batasan Masalah

Hal-hal yang akan dilakukan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Pemodelan ekualiser adaptif menggunakan algoritma LMS
2. Pengujian sistem dilakukan dengan menggunakan DSK TMS320C6416
3. Parameter yang digunakan untuk pengujian sistem adalah BER

1.4 Tujuan

Tujuan dari tugas akhir ini adalah untuk :

1. Merancang model sistem ekualiser adaptif yang dapat mengurangi BER akibat ISI untuk sistem komunikasi bawah air
2. Mengetahui kinerja sistem ekualiser adaptif dengan algoritma LMS pada sistem komunikasi bawah air
3. Mengimplementasikan sistem ekualiser adaptif pada sistem komunikasi bawah air

1.5 Metodologi

Metodologi yang digunakan dalam tugas akhir ini terdiri dari beberapa tahap sebagai berikut:

Hal pertama yang dilakukan untuk menyusun tugas akhir ini adalah dengan metode studi literatur yang dilakukan dengan mengumpulkan data dari berbagai buku, paper, dan jurnal yang berkaitan dengan ekualiser adaptif dengan algoritma LMS. Selanjutnya, melakukan persiapan perangkat lunak dan melakukan simulasi dengan menggunakan software matlab simulink.

Tahapan selanjutnya adalah melakukan implementasi sistem menggunakan TMS320C6416. Setelah semua setting selesai dilakukan, selanjutnya dilakukan pengujian apakah simulasi yang telah dibuat dapat berjalan sesuai yang diinginkan dan dapat diambil datanya serta diuji kinerjanya.

Setelah pengujian selesai dilakukan dan semua data pun sudah diperoleh, maka langkah terakhir yang dilakukan adalah analisa data dan kesimpulan.

1.6 Sistematika Pembahasan

Pembahasan dalam tugas akhir ini akan dibagi dalam lima bab dengan sistematika sebagai berikut:

Bab I Pendahuluan

Pada bab ini dijelaskan mengenai latar belakang, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan, metodologi, sistematika pembahasan, dan relevansi.

Bab II Ekualiser , LMS, ISI, DSK TMS320C6416, CCS, Simulink

Pada bab ini dijelaskan mengenai tinjauan pustaka mengenai model teknologi Ekualiser, LMS dan ISI, DSK TMS320C6416, CCS, *Simulink*.

Bab III Pemodelan ekualiser adaptif menggunakan algoritma LMS

Pada bab ini dijelaskan pemodelan ekualiser adaptif menggunakan algoritma *Least Mean Square* dengan menggunakan simulink dan implementasi sistem menggunakan TMS 320C6416

Bab IV Analisis Data dan Pembahasan

Bab ini berisi pengolahan data dari hasil ekualisasi adaptif yang dibangun, dimana data yang didapat dianalisis untuk memudahkan menarik kesimpulan.

Bab V Kesimpulan dan Saran

Pada bab ini berisi kesimpulan dan saran.

1.7 Relevansi

Hasil dari implementasi ekualiser adaptif pada TMS320C6416 yang didapat pada tugas akhir ini diharapkan dapat memberikan perkembangan teknologi untuk komunikasi bawah air.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Sistem Komunikasi Bawah Air

Komunikasi melalui medium air memiliki karakteristik yang sangat berbeda dengan komunikasi pada medium udara secara umum. Gelombang elektromagnetik tidak dapat digunakan di bawah air dikarenakan air menghasilkan redaman yang sangat besar. Sebagai solusi dari hal tersebut digunakanlah gelombang akustik yang memiliki karakteristik dapat merambat dengan jarak yang jauh pada medium air. Medium air sebagai tempat merambatnya sinyal akustik juga memiliki karakteristik yang sangat berbeda dengan medium udara.

Faktor-faktor yang mempengaruhi kecepatan suara di kolom perairan :

1. Suhu

Suhu merupakan salah satu karakter fisik dari air laut yang penting. Di wilayah lintang sedang dan rendah (dekat dengan wilayah tropis), suhu merupakan faktor penting yang mempengaruhi densitas dan kecepatan suara di dalam air. Suhu di daerah tropis pada wilayah permukaan laut berkisar 26-29°C yang dipengaruhi oleh musim.

Pada kondisi perairan laut yang mempunyai suhu berbeda-beda menimbulkan variasi kecepatan suara yang menyebabkan refraksi atau pembelokan perambatan gelombang suara. Perubahan suhu yang sangat cepat pada lapisan termoklin menyebabkan pembelokan gelombang suara yang tajam dan pada lapisan ini bertindak sebagai bidang pantul.

2. Salinitas

Salinitas adalah jumlah zat-zat terlarut dalam 1 kg air laut, dimana semua karbonat telah diubah menjadi oksida, bromide dan iodide diganti oleh klorida dan semua bahan organik telah dioksidasi sempurna. Pada umumnya perairan laut lepas memiliki kadar salinitas 35 psu, yang berarti dalam 1 kg air laut mengandung elemen-elemen kimia terlarut seberat 35 gram. Dimana komposisi air laut tersebut terdiri atas 3,5% elemen-elemen kimia terlarut dan 96,5% kandungan airnya.

3. Lapisan Termoklin

Lapisan termoklin merupakan lapisan yang berada dalam kolom perairan di laut yang dimana pada lapisan ini mengalami perubahan suhu yang drastis dengan lapisan yang berada di bawah lapisan termoklin. Di laut, termoklin seperti lapisan yang membagi antara lapisan pencampuran (*mixing layer*) dan lapisan dalam (*deep layer*). Tergantung musim, garis lintang dan pengadukan oleh angin, lapisan ini bersifat semi permanen. Faktor yang menentukan ketebalan lapisan ini di dalam suatu perairan seperti variasi cuaca musiman, lintang, kondisi lingkungan suatu tempat (pasang surut dan arus).

Penurunan suhu berbanding lurus dengan penambahan kedalaman dan salinitas. Pada daerah dimana terjadi penurunan suhu secara cepat inilah dinamakan lapisan termoklin. Di laut terbuka, lapisan ini berkarakter sebagai gradient kecepatan suara negative dimana dapat memantulkan gelombang suara.

4. Kedalaman Perairan

Kedalaman mempengaruhi cepat rambat suara di dalam air laut. Bertambahnya kedalaman, maka kecepatan suara akan bertambah karena adanya tekanan hidrostatik yang semakin besar dengan bertambahnya kedalaman. Rata-rata terjadi peningkatan kecepatan suara sebesar 0,017 m/detik setiap kedalaman bertambah 1 meter.

Permukaan laut merupakan pemantul dan penghambur suara yang mempunyai efek yang sangat besar dalam perambatan suara ketika sumber atau penerima berada di perairan dangkal. Jika permukaan halus sempurna, maka ia akan menjadi pemantul suara yang nyaris sempurna. Sebaliknya jika permukaan laut kasar kehilangan akibat pantulan mendekati nol.

Kecepatan suara diperoleh dengan menggunakan rumus :

$$C = 1449,2 + 4,6T - 0,055T^2 + 0,00029T^3 + (1,34 - 0,010T)(S-35) - 0,016Z \quad (2.1)$$

dengan : C = Kecepatan suara (m/s)

T = Suhu (°C)

S = Salinitas (psu)

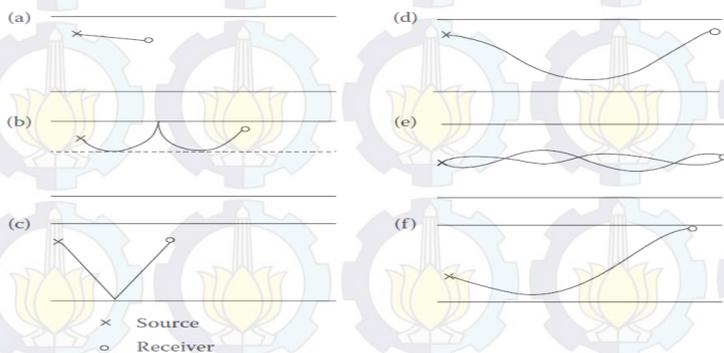
$Z =$ Kedalaman (m)

dengan begitu, dapat dikatakan bahwa kecepatan suara di laut dipengaruhi oleh suhu, salinitas, dan kedalaman laut.

2.1.1 Karakteristik Kanal Bawah Air

Kecepatan suara di dalam air dipengaruhi oleh temperatur air, kepekaan dan tekanan air yang dipengaruhi tingkat kedalaman. Beberapa asumsi digunakan untuk memudahkan penurunan persamaan dasar akustik. Komponen gaya gesek tidak disertakan karena tidak adanya gaya gesek antar partikel, kecepatan fluida diasumsikan sangat kecil bila dibandingkan dengan kecepatan sinyal akustik yang merambat sehingga nilainya dianggap nol. Sinyal suara merambat ke berbagai arah dalam air, terpantulnya sinyal oleh permukaan dan dasar air menyebabkan *multipath*. Berikut ini merupakan *path* yang digunakan bergantung pada karakteristik kecepatan suara pada kolom air laut yang digunakan sebagai saluran transmisi dan posisi relatif penerima terhadap sumber suara.

Path tersebut yaitu *direct path*, *surface duct*, *bottom bounce*, *convergence zone*, *deep sound channel* dan *reliable acoustic path*. Hal ini memungkinkan adanya pemakaian kombinasi dari beberapa *path* dalam teknik propagasi *multipath*.



Gambar 2.1 Path propagasi dasar lautan. a. *Direct Path* (DP) b. *Surface Duct* (SD) c. *Bottom bounce* (BB) d. *Convergence Zone* (CZ) e. *Deep Sound Channel* (DSC) dan f. *Reliable Acoustic path* (RAP)

Direct path (a) merupakan teknik propagasi dimana sinyal bergerak secara langsung dari sumber ke penerima, biasanya pada jarak yang relatif dekat. *Surface duct* (b) adalah teknik dimana sinyal akustik secara bergantian dipantulkan oleh permukaan air laut dan dibiaskan hingga pada kedalaman *Sonic Layer Depth* (SLD). Sementara pada teknik *bottom bounce* (c), sinyal akustik dipantulkan oleh dasar laut untuk menuju ke penerima. Pada *convergence zone* (d), sinyal akustik dibiaskan pada kedalaman tertentu tanpa menyentuh permukaan maupun dasar laut. *Deep sound channel* (e) adalah teknik dimana sinyal akustik dipropagasikan pada kedalaman dimana kecepatan suaranya minimum sehingga air laut memiliki sifat seperti lensa dan dapat membiaskan sinyal. Sedangkan RAP atau *Reliable Acoustic Path* (f) adalah cara dimana sumber diletakkan pada kedalaman kritis.

2.1.2 Karakteristik Jaringan Sensor Nirkabel Bawah Air

Potensi dari jaringan sensor nirkabel bawah air dan variasi dari aplikasi baru yang tersedia dapat memotivasi pembangunan dari teknnik komunikasi bawah air. Karena banyaknya perbedaan karakteristik dari komunikasi bawah air membutuhkan banyak paradigma untuk ditinjau kembali. Tantangan utama untuk desain jaringan komunikasi bawah air adalah:

1. Bandwidth yang tersedia terbatas
2. Delay propagasi pada bawah air lima kali lebih besar dibandingkan kanal terrestrial RF
3. Kanal bawah air sering kali melemahkan, adanya multipath
4. Bit Error Rate yang tinggi dan kehilangan koneksi yang temporer bisa dialami karena karakteristik dari kanal bawah air

Karakteristik propagasi dari air mengindikasikan bahwa gelombang elektromagnetik terpropagasi sepanjang jarak yang jauh lewat air laut konduktif hanya pada frekuensi yang sangat rendah yaitu 30-300Hz. Karakteristik dari jaringan sensor nirkabel bawah air adalah: pertama, sensor bawah air merupakan alat yang mahal. Hal tersebut dikarenakan kompleksnya penerima bawah air dan proteksi untuk perangkat keras diperlukan pada lingkungan bawah air yang ekstrim.

Kedua, daya yang dibutuhkan untuk komunikasi akustik bawah air lebih besar dibandingkan komunikasi radio karena jarak yang lebih jauh dan proses sinyal yang lebih kompleks.

2.2. Modulasi *Binary Phase Shift Keying* (BPSK)

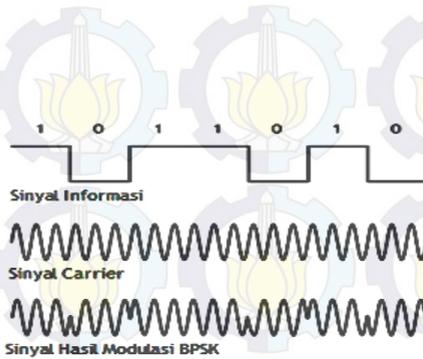
Pada saat proses modulasi terdapat modulator dan demodulator. Modulasi digital berguna untuk memetakan deretan informasi biner menjadi bentuk sinyal gelombang yang nantinya dikirim melalui kanal. Pada modulasi biner, modulator digital secara sederhana memetakan digit biner '0' menjadi $S_0(t)$ dan digit biner '1' menjadi $S_1(t)$. Demodulator sinyal yang terdapat pada sisi penerima bertugas untuk memproses sinyal yang telah rusak karena proses di kanal dengan mempresentasikannya menjadi beberapa estimasi simbol data sesuai yang dikirimkan.

Teknik modulasi *Binary Phase Shift Keying* memiliki 2 simbol yang saling antipodal, sehingga data biner yang terdiri dari '0' setelah dimodulasi akan menjadi simbol '-1' dan bit '1' menjadi simbol '1'. Apabila ditinjau dari fasenya maka modulasi BPSK memiliki fase '0°' dan '180°'.

Tabel 2.1 Pemetaan bit simbol ke BPSK

t	I	Q
0	-1	0
1	1	0

Untuk Sinyal keluaran modulasi BPSK yang dimodelkan dalam gambar 2.2 adalah 2 jenis sinyal yaitu $s_0(t)$ dan $s_1(t)$ yang merepresentasikan bit sinyal informasi.



Gambar 2.2 Modulasi BPSK

Sinyal yang dihasilkan modulasi BPSK yang dikirimkan dapat terkena noise $n(t)$ yang bersifat menambahkan, sehingga persamaannya sebagai berikut.

$$r(t) = s_i(t) + n(t) \quad (2.2)$$

Dalam pengiriman bit yang dimodulasi, dibagian penerima bisa terjadi kesalahan yang dapat dinyatakan dalam probabilitas error P_e . Untuk modulasi BPSK ini, probabilitas error-nya dinyatakan dalam rumus berikut.

$$P_e = Q\left(\sqrt{\frac{2E_b}{N_0}}\right) \quad (2.3)$$

Dimana nilai E_b/N_0 bisa dicari melalui rumus berikut.

$$\frac{E_b}{N_0} = \frac{S}{N} \frac{W}{R} \quad (2.4)$$

S merupakan daya sinyal, sedangkan N adalah daya noise yang terukur. Untuk variabel W dan R masing-masing adalah *bandwidth* dan laju bit yang digunakan. Jika daya sinyal dan noise yang terukur dalam satuan tegangan, nilai S/N atau SNR (Signal to Noise Ratio) bisa diperoleh dengan rumus berikut.

$$SNR = 20 \log_{10} \frac{V_{rms} \text{ Sinyal}}{V_{rms} \text{ Noise}} \quad (2.5)$$

Pada dasarnya nilai error atau biasa disebut BER (*Bit Error Rate*) dapat dihitung dengan membandingkan jumlah kesalahan bit yang diterima dengan jumlah bit yang dikirim. Semakin kecil nilai BER maka semakin bagus sistem komunikasi tersebut, dan sebaliknya. Nilai BER dipengaruhi oleh noise, distorsi, interferensi, dan kesalahan dalam deteksi bit.

2.3. Ekuwaliser [1]

Ekuwaliser merupakan struktur yang digunakan untuk mengurangi ISI dan saluran distorsi pada sinyal yang diterima. Dalam sistem komunikasi, ekuwaliser berguna untuk memberikan respon frekuensi. Saat kanal sudah diekuwalisasi, frekuensi domain dari sinyal input dibuat ulang pada output. Ekuwaliser dapat menguatkan atau melemahkan daya dari band frekuensi yang spesifik.

Ekuwaliser memiliki beberapa jenis, diantaranya adalah:

1. *Maximum Likelihood (ML) Sequence Detection*, ekuwaliser jenis ini melakukan kinerjanya dengan optimal namun tidak ada dalam praktik.
2. *Linear Equalizer*, ekuwaliser ini mempunyai kinerja yang kurang optimal namun sederhana.
3. *Non-Linear Equalizer*, ekuwaliser jenis ini dapat digunakan untuk mengatasi berbagai jenis ISI

Karakteristik Kanal pada komunikasi akustik bawah air tidak dapat ditentukan dengan tepat sebelumnya. Karakteristik kanal akustik bawah air akan berubah mengikuti jalur kanal yang dilewati, sehingga dibutuhkan ekuwaliser adaptif yang dapat mengikuti secara dinamis karakteristik dari kanal akustik tersebut. Salah satu teknik ekuwaliser adaptif dapat dengan menggunakan metode dengan algoritma *Least Mean Square* (LMS).

Suatu algoritma *filter* adaptif memerlukan informasi mengenai respon sinyal yang diinginkan $d(n)$, untuk menghitung sinyal kesalahan. Sinyal kesalahan tersebut diperlukan agar proses adaptif dapat berjalan. Pada *equalizer* adaptif terdapat dua metode yang digunakan untuk membangkitkan sinyal kesalahan, yaitu :

1. Metode *Training*

Metode ini digunakan pada saat pemancar dan penerima pertama kali menetapkan suatu hubungan. Selama fase ini, pemancar mengirimkan suatu deretan informasi pseudorandom yang telah

diketahui oleh penerima. Dengan adanya informasi mengenai $d(n)$ maka kesalahan informasi dapat ditentukan.

2. Metode *Decision-directed*

Metode ini digunakan setelah penetapan hubungan pertama kali antara pemancar dan penerima. Pada fase ini, penerima tidak mempunyai lagi informasi mengenai data yang dikirim oleh pemancar. Dengan asumsi tidak ada terjadi kesalahan pada komponen *decision device* sehingga $d(n) = y(n)$.

2.4. *Least Mean Square (LMS) [4]*

Algoritma adaptif yang paling banyak digunakan adalah algoritma *Least Mean Square*. Sistem adaptif adalah sistem yang dibuat untuk mengatasi gangguan yang berasal dari sumber yang tidak tetap atau berubah – ubah dengan menyesuaikan diri terhadap perubahan tersebut.

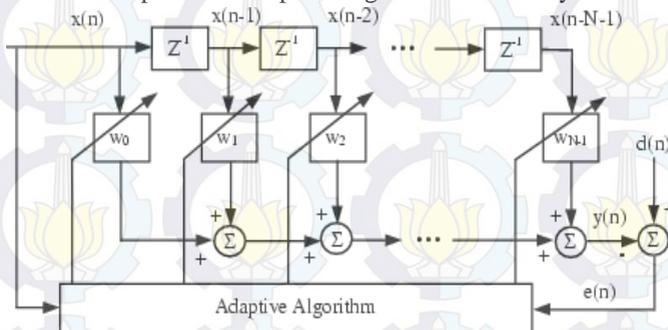
Algoritma LMS merupakan suatu sistem kontrol yang terdiri atas gabungan dua proses dasar, yaitu:

→ Proses Adaptif

Proses ini merupakan proses pengaturan secara adaptif konstanta konstanta pengali tiap tahap dari *filter* adaptif.

→ Proses Pemfilteran

Terdiri atas proses perkalian antara input-input tiap tahap dengan konstanta-konstanta pengali tiap tahap yang bersesuaian untuk mendapatkan suatu nilai perkiraan respon yang diinginkan serta proses pembangkitan suatu nilai *error* sebagai hasil dari selisih antara nilai perkiraan respon dengan nilai sebenarnya.



Gambar 2.3 Struktur *filter* transversal linier

Filter transversal linier (Filter FIR) merupakan komponen penting dalam struktur dasar algoritma LMS yang berfungsi untuk melaksanakan proses pemfilteran serta suatu mekanisme kontrol yang berfungsi sebagai pelaksana proses pengaturan secara adaptif terhadap konstanta-konstanta pengali pertahap dari *filter tranversal*.

Filter transversal linier terdiri atas gabungan dari tiga operasi dasar, yaitu

1. Operasi penundaan, yang dinyatakan dalam $M - 1$ unit *delay* dalam struktur *filter* serta dinotasikan sebagai blok berlabel Z^{-1} . Operasi penundaan ini berfungsi untuk menunda input *filter* sebesar satu sampling untuk menghasilkan input-input *filter* per-tahap. Input-input *filter* pertahap dinyatakan sebagai $x(n), x(n-1), \dots, x(n-N-1)$.
2. Operasi perkalian, yang menyatakan perkalian antara input-input *filter* per-tahap, $x(n), x(n-1), \dots, x(n-N-1)$ dengan konstanta-konstanta pengali per-tahap yang bersesuaian. Konstanta-konstanta pengali per-tahap dari *filter* transversal linier dinyatakan sebagai w_0, w_1, \dots, w_{N-1} .
3. Operasi penambahan, yang berfungsi untuk menjumlahkan keluaran-keluaran dari operasi perkalian sehingga akan diperoleh keluaran dari *filter*.

Keluaran dari *filter* transversal merupakan nilai perkiraan dari respon yang diinginkan $d(n)$. Selama proses pemfilteran diperlukan informasi mengenai respon sistem yang diinginkan $d(n)$, yang digunakan untuk mendapatkan nilai kesalahan $e(n)$. Nilai kesalahan didefinisikan sebagai selisih antara respon yang diinginkan $d(n)$ dengan output dari *filter* $y(n)$.

Variabel yang amat penting dalam kestabilan (konvergensi) pada algoritma LMS yaitu parameter *step-size* (μ). μ berfungsi untuk mengontrol ukuran kenaikan nilai korelasi pada vector konstanta – konstanta pengali per – tahap.

Algoritma LMS meliputi tiga perhitungan dasar, yaitu:

- Perhitungan keluaran filter

$$y(n) = \mathbf{w}^H(n) \cdot \mathbf{x}(n) \quad (2.6)$$

- Perhitungan nilai kesalahan

$$e(n) = d(n) - y(n) \quad (2.7)$$

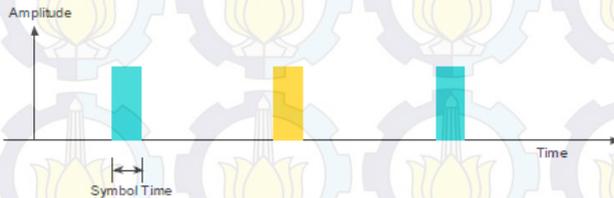
- Perhitungan konstanta – konstanta pengali secara adaptif

$$w(n+1) = w(n) + \mu \cdot x(n) \cdot e(n) \quad (2.8)$$

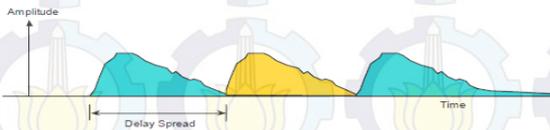
Dimana $w^H(n)$, $x(n)$ merupakan perkalian antara vector konstanta – konstanta pengali per – tahap $w(n)$ dan vektor input per tahap $x(n)$. Selama proses pemfilteran diperlukan informasi mengenai respon sistem yang diinginkan $d(n)$, yang digunakan untuk mendapatkan nilai kesalahan $e(n)$. μ merupakan parameter *step-size* atau konstanta adaptif yang berfungsi untuk mengontrol ukuran kenaikan nilai korelasi pada vector konstanta – konstanta pengali per tahap pada satu siklus iterasi ke siklus iterasi berikutnya.

2.5. Intersymbol Interference (ISI) [1]

Dalam telekomunikasi, gangguan *Intersymbol Interference* (ISI) merupakan bentuk distorsi sinyal dimana suatu simbol mengganggu simbol berikutnya. Salah satu penyebab gangguan ISI adalah propagasi multipath dimana sinyal nirkabel dari pemancar mencapai penerima melalui banyak jalur yang berbeda. Ini berarti bahwa sebagian atau seluruh simbol tertentu akan menyebar ke simbol berikutnya, sehingga mengganggu deteksi yang benar dari simbol – simbol.



Gambar 2.4 Data yang dikirim

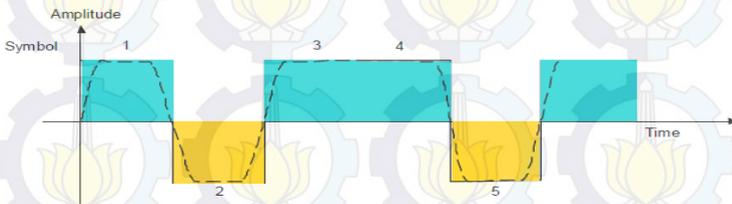


Gambar 2.5 Data yang diterima

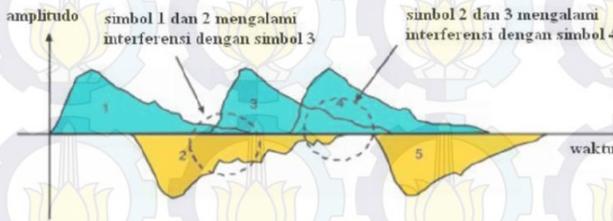
Selain karena propagasi multipath, ISI juga dapat terjadi akibat adanya efek pemfilteran atau frekuensi fading. Pemfilteran kanal

dilakukan agar dapat membatasi *bandwidth* pada sinyal informasi yang memiliki jumlah *bandwidth* yang tidak terbatas, sehingga untuk kanal yang ideal akan mengalami sinyal *bandwidth* dan bebas dari ISI. Namun jika kanal yang tidak ideal akan berpengaruh pada amplitudo dan phase yang disebabkan karena pemfilteran kanal tersebut. Hal ini yang akan menyebabkan terjadinya ISI.

Gambar 2.6 menunjukkan deretan data 101101 yang akan dikirimkan. Deretan sinyal ini berbentuk pulsa kotak karena pulsa kotak cocok untuk digunakan sebagai simulasi, akan tetapi pada pengimplementasiannya sulit dibuat dan membutuhkan *bandwidth* yang besar. Oleh karena itu dibentuk sinyal garis titik-titik.



Gambar 2.6 Deretan pulsa 101101 yang dikirim



Gambar 2.7 Peluburan Simbol

ISI dapat dihilangkan dengan memberikan filter ekuwaliser pada sisi penerima. Selain gangguan yang berupa ISI gangguan lainnya yang biasa terjadi adalah noise. Gambar 2.7 menunjukkan sinyal yang dikirimkan mengalami banyak peristiwa pada kanal yang mengakibatkan sinyal tersebut tercampur dengan noise dan mengalami ISI sehingga pada saat diterima, simbol – simbol melebar dan mengganggu simbol yang lain.

2.6. Raised Cosine

Untuk mendapatkan bentuk pulsa sinyal informasi pada sisi penerima, yang memenuhi kriteria karakteristik spectrum frekuensi *raised cosine*, maka digunakan suatu *filter* pembentuk pulsa *raised cosine*.

Filter pembentuk *raised cosine* berfungsi untuk mengubah bentuk sinyal informasi yang berupa pulsa persegi menjadi bentuk pulsa *raised cosine*. Hal ini dikarenakan bentuk pulsa informasi persegi mempunyai spektrum frekuensi yang lebar pada domain frekuensi.

Dalam sistem transmisi baseband, pembatasan *bandwidth* dari sinyal informasi yang dikirimkan adalah sangat penting, sehingga dengan mengubah bentuk pulsa informasi persegi menjadi bentuk pulsa *raised cosine* maka *bandwidth* dari sinyal dapat dibatasi dalam range $\frac{1}{2} T_b$ sampai dengan $\frac{1}{T_b}$, dimana T_b merupakan durasi bit informasi. Pengiriman sinyal informasi dengan *bandwidth* yang terbatas dapat menekan terjadinya interferensi antar simbol (ISI).

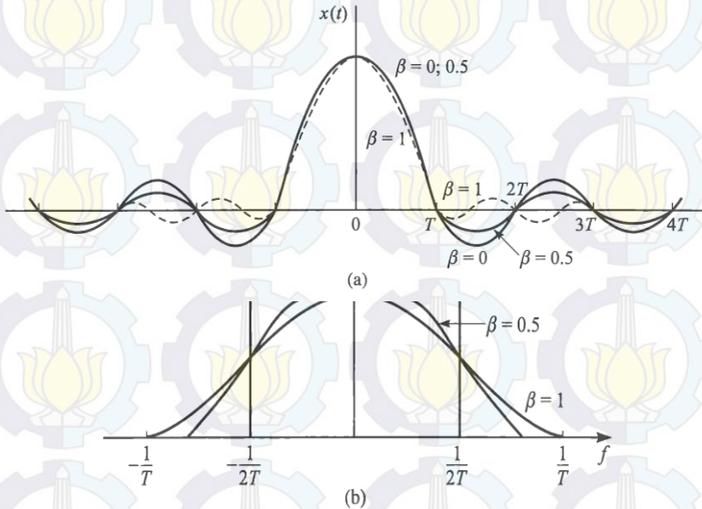
Karakteristik respon frekuensi dari *filter raised cosine* dinyatakan dalam persamaan (2.8) sebagai berikut

$$H(f) = \begin{cases} T, & ; (0 \leq |f| \leq \frac{1-\beta}{2T}) \\ \frac{T}{2} \left\{ 1 + \cos \left[\frac{\pi T}{\beta} \left(|f| - \frac{1-\beta}{2T} \right) \right] \right\}, & ; \left(\frac{1-\beta}{2T} \leq |f| \leq \frac{1+\beta}{2T} \right) \\ 0, & ; (|f| > \frac{1+\beta}{2T}) \end{cases} \quad (2.9)$$

Dengan β merupakan faktor *rolloff* dengan nilai $0 \leq \beta \leq 1$, T merupakan periode *sampling* yang nilainya sama dengan T_b . Faktor *rolloff* menentukan seberapa besar *bandwidth* dari sinyal yang melebihi frekuensi *Nyquist* $\frac{1}{2} T_b$.

Respon impuls $h(t)$ dari *filter raised cosine* dinyatakan dalam persamaan :

$$h(t) = \frac{\sin\left(\frac{\pi t}{T}\right) \cos\left(\frac{\pi\beta t}{T}\right)}{\frac{\pi}{T} \cdot \frac{1-4\beta^2 t^2}{T^2}} = \sin c \cdot \frac{\cos\left(\frac{\pi\beta t}{T}\right)}{\frac{1-4\beta^2 t^2}{T^2}} \quad (2.10)$$



Gambar 2.8 Karakteristik pulsa *raisedcosine*

Pada Gambar 2.8 terlihat bahwa :

Bandwidth yang digunakan oleh spektrum *pulsa raised cosine* adalah $B = \frac{1}{2}T_b + \beta$. Nilai minimum dari β adalah $\frac{1}{2}T_b$ dan maksimum $\frac{1}{T_b}$.

Semakin besar nilai β maka *bandwidth* yang digunakan akan semakin besar. Namun β yang besar menyebabkan penurunan bentuk pulsa menuju titik nol semakin cepat, yang berarti jumlah interferensi antar simbol dapat semakin ditekan.

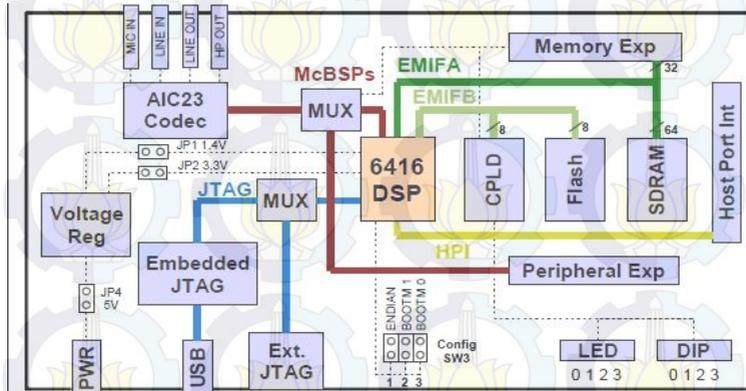
2.7. DSP Starter Kit (DSK) TMS320C6416 [5]

DSP merupakan singkatan dari Digital Signal Processing yang dapat diartikan sebagai device pemrosesan sinyal digital. DSP merupakan suatu rangkaian terintegrasi sejenis *microprocessor* yang

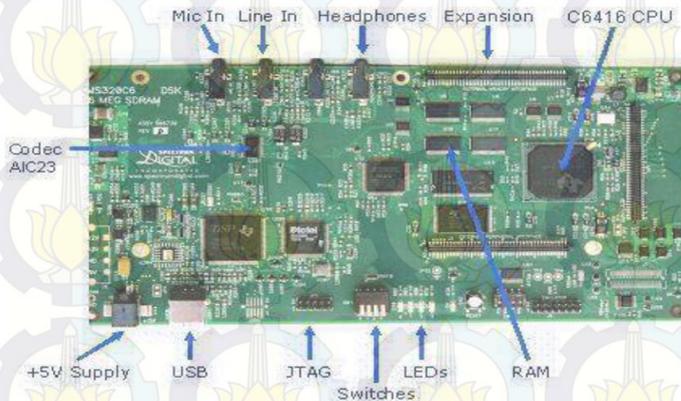
dirancang khusus untuk melakukan pemrosesan data diskrit dengan kecepatan tinggi seperti *filtering*, *fast fourier transform*, dan lain-lain. DSK TMS320C6416 adalah prosesor sinyal digital fixed point sebagai *Application Specific Integrated Circuits* yang termasuk dalam keluarga besar prosesor TMS320 produksi Texas Instrument. Terdapat empat konektor pada DSK untuk input dan output :

- MIC IN untuk input dari *microphone*.
- LINE IN untuk input dari function generator,
- LINE OUT untuk output , dan
- HEADPHONE untuk output pada *headphone*.

Beberapa kegunaan perangkat DSP yaitu dapat diaplikasikan sebagai pengolahan sinyal suara, pengolahan Gambar, dan pengolahan sinyal lainnya. Perangkat DSP dapat melakukan berbagai proses yang diperlukan karena DSP dapat diprogram untuk aplikasi-aplikasi yang berbeda sesuai kebutuhannya. Adapun salah satu keunggulan DSP yaitu DSP sangat sedikit terpengaruh oleh perubahan kondisi lingkungan sekitar, seperti suhu.



Gambar 2.9 Blok Diagram DSK TMS320C6416



Gambar 2.10 Tampak atas DSK TMS320C6416

Berikut merupakan fungsi dari komponen yang terdapat pada DSK

- **Prosesor TMS320C6416**
Merupakan prosesor dengan kecepatan clock 1GHz yang mendukung operasi fixed-point
- **CPLD (*Complex Programmable Logic Device*)**
CPLD berisi register-register yang berfungsi untuk mengatur fitur-fitur yang ada pada board. Pada DSK C6416, terdapat 4 jenis register CPLD.
 - USER_REG Register
Mengatur switch dan LED sesuai yang diinginkan user.
 - DC_REG Register
Memonitor dan mengontrol daughter card.
 - VERSION Register
Indikasi yang berhubungan dengan versi board dan CPLD.
 - MISC Register
Untuk mengatur fungsi lainnya pada board.
- **Flash Memory**
DSK menggunakan memori flash yang berfungsi untuk booting. Dalam flash ini berisi sebuah program kecil yang disebut POST (*Power On Self Test*). Program ini berjalan saat DSK pertama kali dinyalakan. Program POST akan memeriksa fungsi-fungsi dasar

board seperti koneksi USB, audio codec, LED, switches, dan sebagainya.

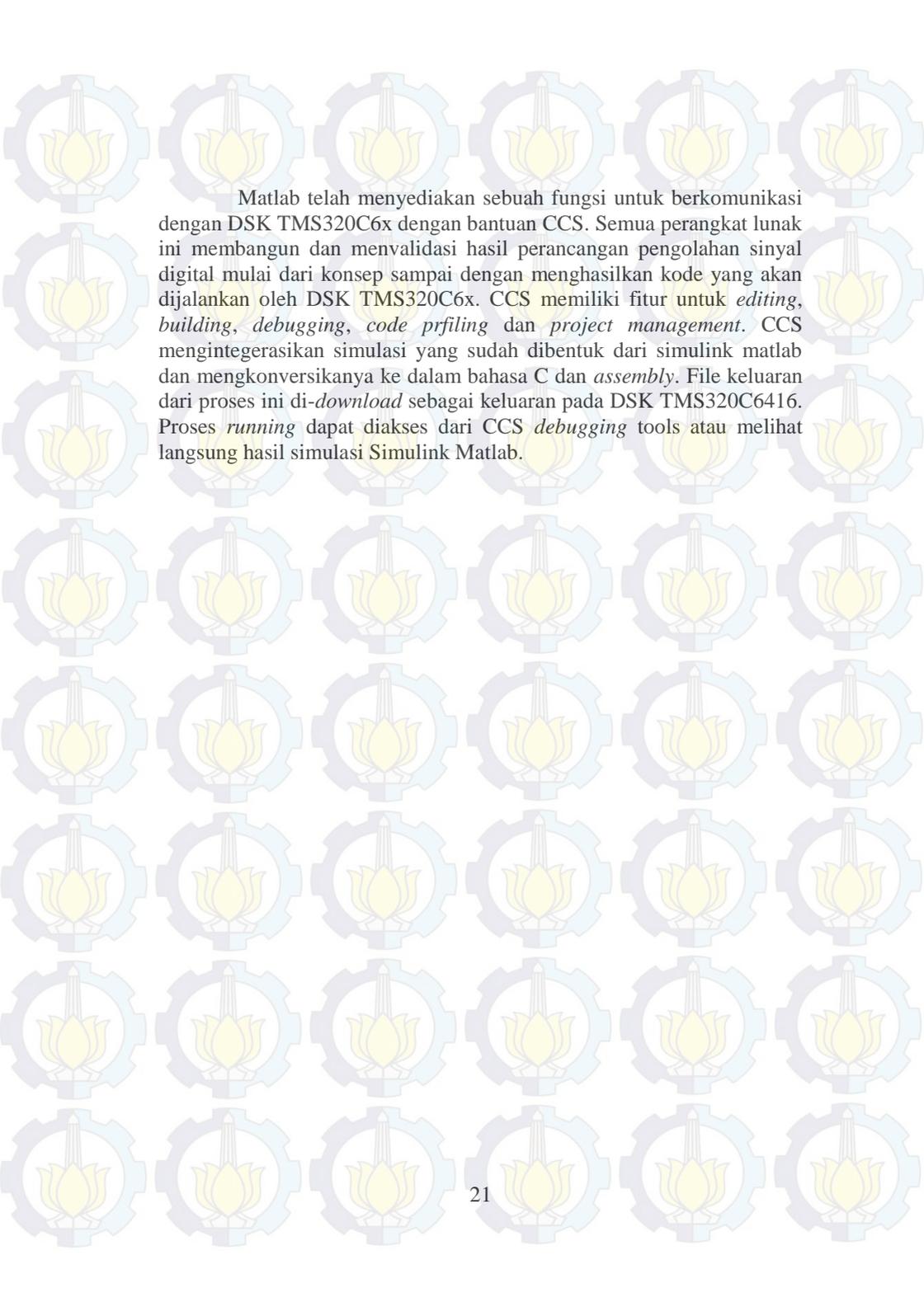
- **SDRAM**
Memori utama yang berfungsi sebagai tempat penyimpanan instruksi maupun data.
- **AIC23 Codec**
Berfungsi sebagai ADC maupun DAC bagi sinyal yang masuk ke board.
- **Daughter card interface**
Konektor-konektor tambahan yang berguna untuk mengembangkan aplikasi-aplikasi pada board. Terdapat 3 konektor, yaitu *memori expansion*, *peripheral expansion*, dan *Host Port Interface*.
- **LED dan Switches**
LED dan switches ini merupakan fitur yang dapat membantu dalam membangun aplikasi karena dapat diprogram sesuai keinginan user.

2.8. Code Composer Studio

CCS (*Code Composer Studio*) adalah penyedia sebuah *Integrated Development Enviroment* (IDE) untuk menggabungkan peralatan pada software. Peralatan tersebut antara lain C compiler, sebuah assembler, dan sebuah linker. C compiler merubah c source program dengan .c untuk menghasilkan sebuah assembly source dengan ekstensi .asm. Assembler mengumpulkan file dengan .asm untuk menghasilkan bahasa mesin file object dengan ekstensi .obj. Sedangkan linker menyatukan file object dan object libraries sebagai input untuk menghasilkan sebuah file ekstensi dengan ekstensi .out

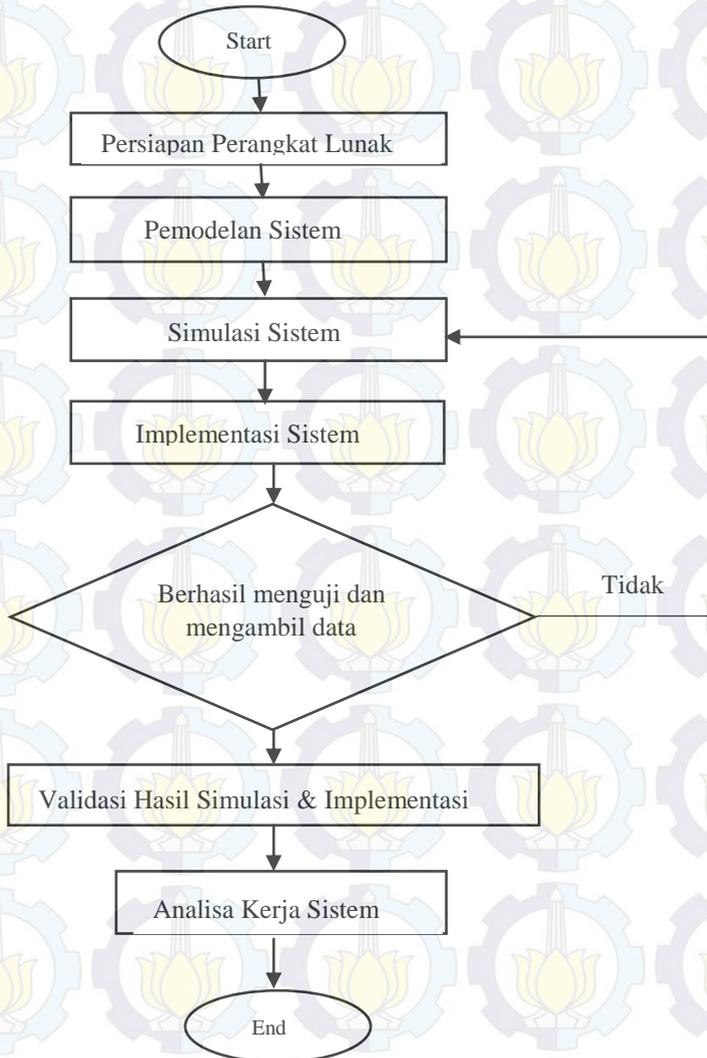


Gambar 2.11 Tampilan Code Composer Studio v3.1



Matlab telah menyediakan sebuah fungsi untuk berkomunikasi dengan DSK TMS320C6x dengan bantuan CCS. Semua perangkat lunak ini membangun dan memvalidasi hasil perancangan pengolahan sinyal digital mulai dari konsep sampai dengan menghasilkan kode yang akan dijalankan oleh DSK TMS320C6x. CCS memiliki fitur untuk *editing, building, debugging, code profiling* dan *project management*. CCS mengintegrasikan simulasi yang sudah dibentuk dari simulink matlab dan mengkonversikanya ke dalam bahasa C dan *assembly*. File keluaran dari proses ini di-*download* sebagai keluaran pada DSK TMS320C6416. Proses *running* dapat diakses dari CCS *debugging tools* atau melihat langsung hasil simulasi Simulink Matlab.

BAB III PERANCANGAN SISTEM



Gambar 3.1 Skema Metodologi

Pada bab ini akan dijelaskan mengenai gambaran sistem yang akan diteliti dan diuji secara umum meliputi perangkat lunak (software), simulasi sistem, proses implementasi sistem, dan metode pengujian yang digunakan. Untuk memudahkan, berikut gambar skema metodologi yang digunakan dalam tugas akhir ini.

3.1. Persiapan Perangkat Lunak

Teknologi *Software Defined Radio* tak lepas dari penggunaan perangkat lunak untuk memprogram perangkat yang digunakan. Adapun perangkat lunak yang digunakan adalah matlab versi R2007a dan *Code Composer Studio* (CCS) versi 3.1. Semua perangkat lunak ini berjalan pada Operating System Windows XP. Pada bagian ini akan dijelaskan mengenai instalasi CCS versi 3.1 diperoleh dalam bentuk CD ketika pembelian DSK TMS320C6416T.

3.1.1 Integrasi Simulink Matlab dengan CCS v3.1

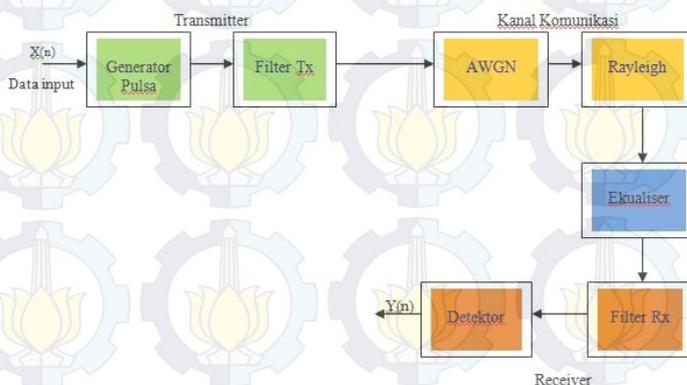
Selanjutnya adalah melakukan integrasi Simulink dengan CCS v.3.1 sehingga nantinya blok sistem modulasi dan demodulasi yang sudah dibuat di *Simulink* dapat diimplementasikan ke dalam DSK TMS320C6416T. Karena *software* CCS v.3.1 hanya dapat terintegrasi dengan Matlab versi 2007a kebawah maka pada tugas akhir ini digunakan Matlab versi R2007a . Untuk dapat *build* sistem ke dalam *DSK board* diperlukan beberapa pengaturan konfigurasi yang dapat diakses pada menu *simulation* kemudian dipilih *Configuration Parameter*. Beberapa parameter yang harus diatur sebagai berikut:

1. Pada *Real Time Workshop*, *System target file* pada *Target selection* diubah menjadi *ccslink_grt.tlc*. Hal ini bertujuan untuk menghubungkan antara *Simulink* dengan CCS
2. Bagian *Link for CCS*, untuk bagian *Project options*, ubah *system stack size* menjadi 8192 bytes. Nilai ini disesuaikan dengan maksimum *stack size* pada *DSK board*.
3. Pada bagian *Debug*, tandai pilihan *Verbose Build Mode* untuk menampilkan proses pembentukan kode-kode dari *file Simulink* untuk memprogram DSK yang ditampilkan pada *Matlab Command Windows*.
4. Bagian *Optimization*, pada *Simulation and code generation*, dapat dilihat *block reduction* dan implement *logic signal as Boolean* lalu hilangkan tanda centang pada kedua blok tersebut.

5. Pada bagian *Solver*, pilih *Type: Fixed Step* dan *Solver: discrete (no continuous states)* agar sistem bekerja secara diskrit.

Untuk mengimplementasikan sistem yang sudah dibuat di *Simulink* ke dalam *DSK TMS320C6416T* klik *toolbar "incremental build"* pada *Simulink*. Jika tidak terjadi *error*, secara otomatis *Simulink* akan membangkitkan kode-kode program dan terhubung ke *Code Composer Studio v.3.1* untuk mengubah *file simulink* menjadi *file project CCS (*.pj)* yang dimuat ke dalam *DSK TMS320C6416T*.

3.2. Pemodelan Sistem



Gambar 3.2 Model umum sistem komunikasi bawah air dengan ekuwaliser

Sebelum melakukan implementasi sistem, terlebih dahulu dilakukan pemodelan sistem yang bertujuan untuk mempermudah dalam proses simulasi sistem secara keseluruhan. Pertama, yaitu dengan membangkitkan data informasi berupa biner ‘0’ dan ‘1’ yang nantinya akan diubah menjadi pulsa sinyal melalui proses modulasi yang digunakan. Setelah dilakukan modulasi, dilakukan pembatasan *bandwidth* sinyal informasi yang diproses oleh *filter* pemancar lalu ditransmisikan.

Pada saat data informasi ini ditransmisikan, data informasi ini akan mengalami *multipath propagation*, yang akan menyebabkan

informasi yang akan dikirim mengalami perbedaan waktu dan menyebabkan terjadinya ISI pada hasil keluaran kanal. Selain mengalami *multipath propagation*, data informasi juga akan mengalami gangguan lain yang berupa kanal AWGN.

Teknik ekualiser adaptif ini menggunakan metode dengan algoritma *Least Mean Square* (LMS). Filter adaptif adalah sebuah filter yang memiliki koefisien yang dapat disesuaikan menggunakan algoritma adaptif untuk membuat respon *filter* yang optimal sesuai dengan kriteria kinerja yang diberikan. Kriteria dari kinerja ekualiser adaptif ini adalah dengan mendeteksi sinyal yang tidak diinginkan. Sehingga sinyal yang mengalami ISI dapat dikurangi oleh Ekualiser.

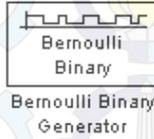
3.3. Simulasi Sistem

Secara umum, terdapat 4 proses yang dilakukan pada simulasi ini yaitu modulasi, demodulasi, *Algoritma LMS* dan Perhitungan BER. Berikut penjelasan singkat dari proses tersebut :

1. Modulasi, sistem ini melakukan penggeseran frekuensi sinyal info sesuai dengan frekuensi pada sinyal pembawa.
2. Demodulasi, proses ini merupakan kebalikan dari proses modulasi yaitu untuk memisahkan sinyal info dan sinyal pemodulasinya. Sinyal hasil modulasi dikalikan kembali dengan gelombang *cosinus* dan *sinus* untuk mendapatkan kembali sinyal infonya.
3. Algoritma *Least Mean Square* (LMS) sistem ini meliputi koefisien disesuaikan dengan cara algoritma adaptif untuk membuat respon *filter* yang optimal sesuai dengan kriteria kinerja yang diberikan.
4. Perhitungan BER, sistem ini digunakan untuk melakukan perhitungan nilai BER dengan cara mengubah variasi nilai E_b/N_0 pada kanal AWGN dan menyesuaikan *delay* untuk sinkronisasi data awal yang dikirim dengan data awal pada proses deteksi.

3.3.1 Data Informasi

Data informasi yang dibangkitkan pada sistem ini menggunakan blok *Bernoulli Binary generator* yang berupa data acak biner (bit 1 atau bit 0) yang saling bebas dengan peluang kemunculan yang sama. Jumlah data informasi acak yang dibangkitkan adalah 1000 bit. Pengacakan bit 0 dan 1 berdasarkan *Initial seed*.



Gambar 3.3 Bernoulli binary generator

Pengaturan parameter pada blok *bernoulli binary generator* :

- Probability of a zero : 0.5
(probabilitas munculnya nilai 0 dan 1 sama, yaitu 0.5)
- Initial seed : 61
(initial seed adalah nilai acak yang dihasilkan generator)
- Sample time : 1/1000
(setting laju bit yang digunakan)
- Output data type : double

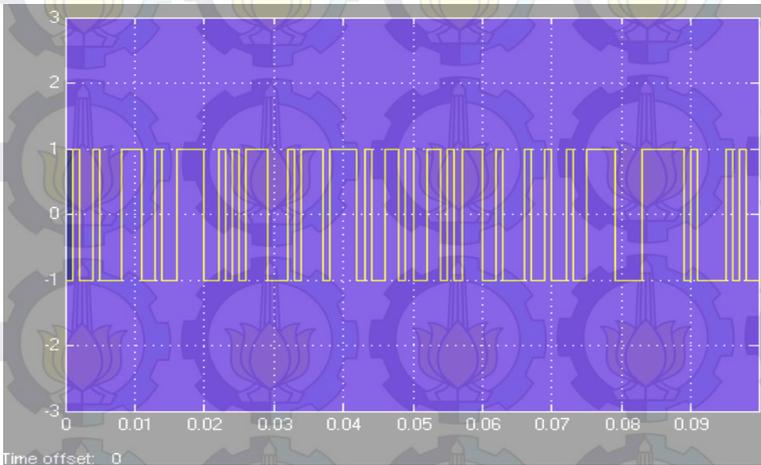
3.3.2 Sistem Modulasi dan Demodulasi BPSK

Data informasi yang berbentuk biner tersebut diubah menjadi bentuk pulsa-pulsa sinyal informasi dengan amplitudo tegangan tertentu. Bentuk sinyal informasi yang digunakan dalam simulasi adalah polar *Non Return to Zero* (NRZ) dengan tegangan ± 1 volt sesuai dengan data informasi bit 1 atau 0 yang dibawanya. Untuk mendapatkan informasi NRZ maka digunakan sistem modulasi *Binary Phase Shift Keying* (BPSK) yang dinyatakan dalam representasi baseband.

Phase Shift Keying adalah modulasi sudut yang diterapkan pada sinyal informasi digital. Sinyal keluaran pada modulasi ini mempunyai karakteristik yaitu: fase berubah-ubah tetapi nilai amplitudo tetap konstan. Modulasi digital ini dibedakan berdasarkan jumlah informasi bit yang akan memodulasi sinyal *carrier*. Jika setiap sinyal *carrier* terdapat satu bit (satu simbol terdapat satu bit) dinamakan BPSK



Gambar 3.4 Blok modulator dan demodulator BPSK baseband



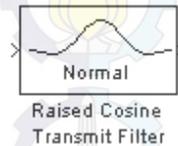
Gambar 3.5 Bentuk Sinyal Baseband BPSK

$$S_0(t) = A \cos(\omega t) \rightarrow \text{menunjukkan "0"} \quad (3.1)$$

$$S_1(t) = A \cos(\omega t + \pi) \rightarrow \text{menunjukkan "1"} \quad (3.2)$$

3.3.3 Filter Pembentuk Raised Cosine

Untuk mendapatkan bentuk pulsa sinyal informasi pada sisi penerima, yang memenuhi kriteria karakteristik spectrum frekuensi *raised cosine*, maka digunakan suatu *filter* pembentuk pulsa *raised cosine*. *Filter* pembentuk *raised cosine* berfungsi untuk mengubah bentuk sinyal informasi yang berupa pulsa persegi menjadi bentuk pulsa *raised cosine*. Hal ini dikarenakan bentuk pulsa informasi persegi mempunyai spektrum frekuensi yang lebar pada domain frekuensi.



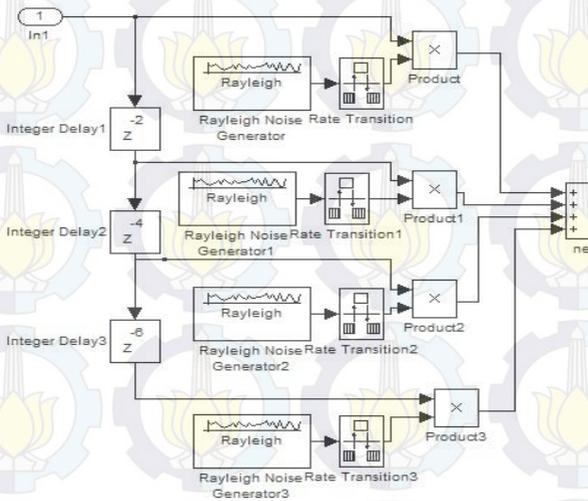
Gambar 3.6 *Raised Cosine* transmit filter

- Filter type : Normal
- Group delay : 2
- Rolloff factor : 0,5

- Input sampling mode : sample-based
- Upsampling factor (N) : 8
- Filter gain : Normalized

3.3.4 Pemodelan Kanal Komunikasi

Pada simulasi ini digunakan pemodelan kanal *multipath rayleigh fading* dengan kanal AWGN dan juga pemodelan kanal hanya dengan AWGN saja. Pemodelan kanal *Rayleigh fading* dengan 4 lintasan merupakan kanal komunikasi yang tidak ideal yang nantinya dapat menyebabkan terjadinya ISI dan berpengaruh terhadap kesalahan *error* dari data informasi yang diterima oleh penerima jika dibandingkan dengan data informasi asal yang dikirim. Untuk nilai parameter yang digunakan adalah dengan menginputkan nilai parameter dari kanal SUI. Pada pemodelan, kanal diasumsikan memiliki 4 jalur yang masing-masing memiliki *delay* tersendiri. Lintasan pertama merupakan *direct path* sehingga mempunyai *delay* 0, lintasan kedua mempunyai *delay* sebesar 2 mikrodetik, dan lintasan ketiga akan mengalami *delay* sebesar 6 mikrodetik (6 sampel), hal ini dikarenakan lintasan kedua mengalami *delay* sebesar 2 mikrodetik (2 sampel) sehingga pada saat jalur ketiga diberikan *delay* sebesar 4 mikrodetik maka akan terjadi penjumlahan pada kedua jalur ini. Pada jalur keempat mengalami *delay* 12 detik.



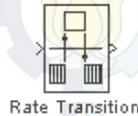
Gambar 3.7 Pemodelan kanal *multipath rayleigh fading*

Pengaturan parameter *Rayleigh noise generator*:

1. Path I : Sigma :1
Initial seed :47
Sample time :1/2
2. Path II : Sigma :0.63
Initial seed :50
Sample time :1/2
3. Path III : Sigma :0.389
Initial seed :53
Sample time (t) :1/2
4. Path IV : Sigma :0.165
Initial seed :56
Sample time (t) :1/2

Nilai sigma pada *rayleigh noise generator* ini didapat dari akar dari nilai variansi pada kanal SUI. Variansi nilai ini didapat dari jumlah *power* pada tiap kanal. Pada kanal ini setiap 2 bit informasi akan diubah dengan pengacakan yang berbeda-beda pada setiap jalurnya sehingga akan mengalami perbedaan *rate* pada keluaran kanal dengan informasi yang masuk.

Untuk menyamakan perbedaan *rate* maka digunakan *rate transition* sehingga informasi yang masuk dan keluar kanal dapat dikalikan



Gambar 3.8 Blok *rate transition*

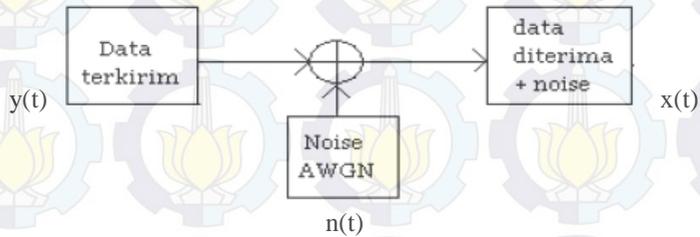
Untuk menghitung besarnya *Bit Error Rate* (BER) pada kanal *fading* dengan distribusi *rayleigh* didekati dengan menggunakan *formula* BER sesuai persamaan berikut:

$$BER = \frac{1}{2} \left(1 - \sqrt{\frac{E_b / N_0}{1 + E_b N_0}} \right) \quad (3.3)$$

Sedangkan fungsi dari integer *delay* pada gambar 3.7 adalah sebagai parameter *delay* yang diatur sesuai dengan parameter kanal SUI-

4. Akibat *delay spread* ini maka akan timbul ISI pada sinyal yang dikirimkan.

Salah satu kanal yang dipakai pada simulasi ini adalah kanal AWGN (*Additive White Gaussian Noise*)

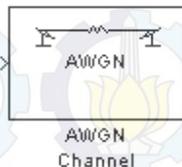


Gambar 3.9 Kanal AWGN

Sebuah sinyal yang dilewatkan melalui sebuah kanal dapat diasumsikan pada gambar di atas. Pada model ini, sinyal yang ditransmisikan $x(t)$ terkena sebuah *noise* acak yaitu $n(t)$. Ketika sinyal mendapat redaman selama proses penransmisian melalui sebuah kanal, maka sinyal yang diterima pada interval $0 \leq t \leq T$, dapat dinyatakan dengan persamaan :

$$y(t) = x(t) + n(t) \quad (3.4)$$

Secara fisik proses *additive noise* berasal dari komponen elektronik dan beberapa *amplifier* (penguat) dari *receiver* pada suatu sistem komunikasi. Jika *noise* tersebut disebabkan oleh komponen elektronik dan *amplifier* dari *receiver*, maka dikarakteristikan sebagai *thermal noise* (*noise* yang disebabkan oleh suhu dari rangkaian itu sendiri).



Gambar 3.10 Blok Kanal AWGN

Parameter yang digunakan pada Blok AWGN sebagai berikut :

- Initial seed : 61
(*initial seed* adalah nilai acak yang dihasilkan generator)
- Mode : Signal to noise ratio (E_b/N_0)
(Ada beberapa mode, namun yang digunakan adalah E_b/N_0)
- E_b/N_0 (dB) : 1 sampai 10
(Rasio antara energy bit dengan power spectral density noise)
- Number of bits per symbol : 1
(Karena BPSK maka menggunakan 1 bit/symbol)
- Input signal power (watts) : 1
(Power dari simbol pada masukan blok)
- Symbol period (s) : 1/1000
(periode simbol pada kanal AWGN)

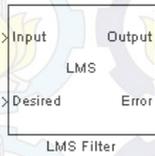
Pada sisi penerima terdapat blok *down sampling*, yang fungsinya untuk mengembalikan sinyal hasil *raised cosine*. Sedangkan demodulator berfungsi untuk membentuk bit informasi seperti sebelum dikirimkan. Akibat penambahan *raised cosine*, sinyal terima mengalami *delay*. Maka dari itu bit kirim perlu di *delay* agar sinyal kirim dan sinyal terima sinkron.

Pengukuran *Bit Error Rate* (BER) untuk sinyal yang termodulasi BPSK dalam kanal *ideal* dapat didekati menggunakan fungsi Q jika diketahui rapat daya derau E_b/N_0 .

$$\bar{P}_e = \text{BER} = Q\left(\sqrt{\frac{2E_b}{N_0}}\right) = \frac{1}{2} \text{erfc}\left(\sqrt{\frac{E_b}{N_0}}\right) \quad (3.5)$$

3.3.5 Pemodelan Algoritma LMS

Pada blok parameter di bawah ini adalah ekualiser LMS *filter* yang nantinya diharapkan dapat mengatasi *intersymbol interference* (ISI) yang disebabkan oleh kanal komunikasi yang mengalami distorsi akibat *delay spread*. Untuk batasan dalam menganalisa sistem pada saat simulasi dan implementasi, panjang filter (orde filter) yang diamati adalah pada saat 4,8 dan 12.



Gambar 3.11 Blok LMS Filter

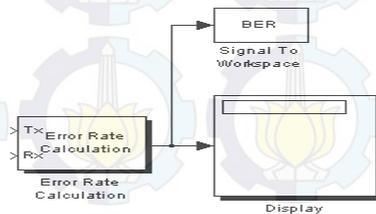
Blok algoritma LMS diperoleh dari *Simulink*, parameter yang digunakan antara lain sebagai berikut :

- Filter length (L) : 8
- Specify step size (μ) : 0.005
- Leakage factor : 1.0
- Initial value of filter weights : 0

Pada Gambar 3.11 inputan yang masuk pada LMS filter ini yaitu berupa informasi yang dikirimkan yang telah mengalami gangguan. Desired merupakan respon yang pengguna inginkan, yang nantinya digunakan untuk mendapatkan nilai kesalahan. Sedangkan error merupakan hasil keluaran sinyal yang salah pada sistem ini.

Nilai BER serta jumlah error akan ditampilkan pada blok *display*. Untuk blok *error calculator*, pada blok ini bertugas untuk menghitung kesalahan bit yang terjadi pada keluaran sistem yang telah dimodelkan. Pada blok *error calculator* terdapat beberapa parameter yang digunakan yaitu antara lain :

- Receive Delay : 0
- Computation Delay : 0
- Computation Mode : Entire frame
- Output data : Port
- Stop simulation
- Target number of errors : $1e5$
- Maximum number of symbols : $1e5$



Gambar 3.12 Blok *display* perhitungan bit error rate

Dari parameter *error rate calculator* disimpulkan bahwa sistem akan berhenti apabila terdapat kesalahan 100.000 bit dengan bit yang telah dikirimkan dari sumber menuju penerima adalah 100.000 bit. Apabila sistem yang digunakan telah berjalan dengan benar, maka pada *display* akan menampilkan nilai keluaran *error* bit. Selain ditampilkan pada *display*, nilai BER juga dapat dilihat pada *workspace* matlab dengan menambahkan *Signal to workspace*.

BER dapat dihitung dengan rumus :

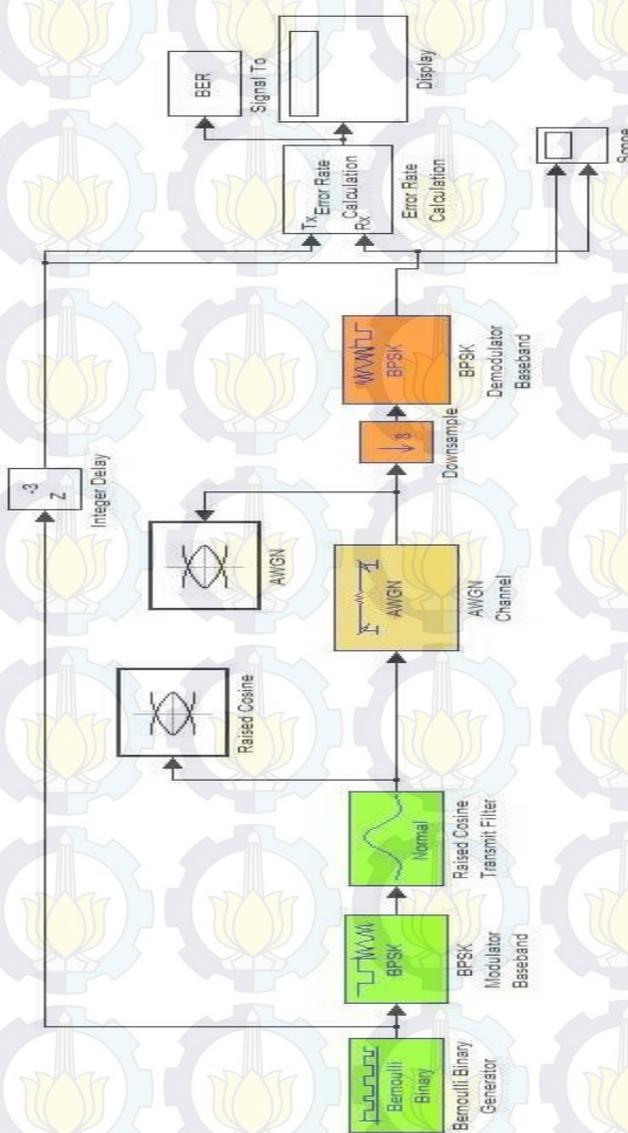
$$\text{BER} = \text{Bt}/\text{Bd} \quad (3.6)$$

Bt= Jumlah bit yang diterima salah
Bd= Jumlah bit yang dikirim

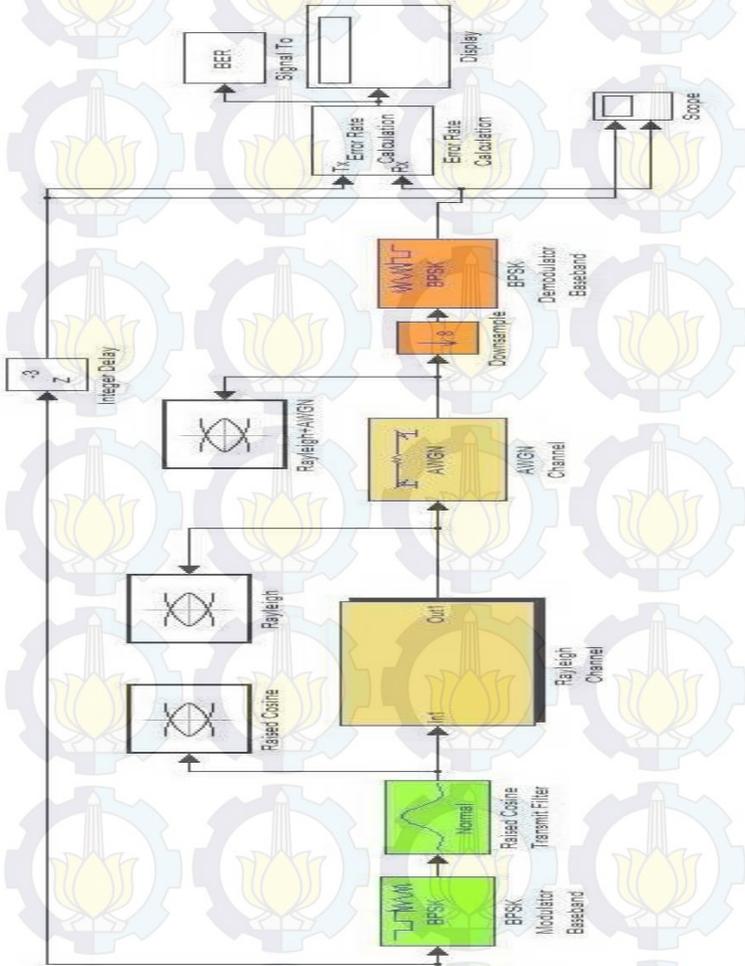
Pada Gambar 3.14 ditunjukkan gambar diagram keseluruhan sistem yang merupakan diagram blok simulasi sistem dengan modulasi BPSK tanpa ekualiser . Blok simulasi sistem pada gambar 3.14, bit sinyal dibangkitkan secara *bernoulli*, kemudian dimodulasikan menggunakan *bpsk* modulator. Penggunaan *raised cosine* untuk membentuk pulsa yang mampu mengatasi pengaruh dari ISI. Terjadinya ISI diakibatkan adanya pengaruh dari kanal *rayleigh* yang dimodelkan dengan 4 lintasan, dimana kanal ini disesuaikan dengan standar kanal *SUI*. Dengan begitu sisi penerima akan mendapatkan bit informasi yang salah. Selain karena kanal *rayleigh*, sumber kesalahan bit juga disebabkan oleh *noise* yang ada pada kanal *AWGN*. Pada gambar 3.13 sistem yang dibuat hampir sama, hanya saja perbedaannya tidak digunakan kanal *Rayleigh*.

Pada sisi penerima terdapat blok *down sampling*, yang fungsinya untuk mengembalikan sinyal hasil *raised cosine*. Sedangkan demodulator berfungsi untuk membentuk bit informasi seperti sebelum dikirimkan. Akibat penambahan *raised cosine*, sinyal terima mengalami *delay*. Maka dari itu bit kirim perlu di *delay* agar sinyal kirim dan sinyal terima sinkron.

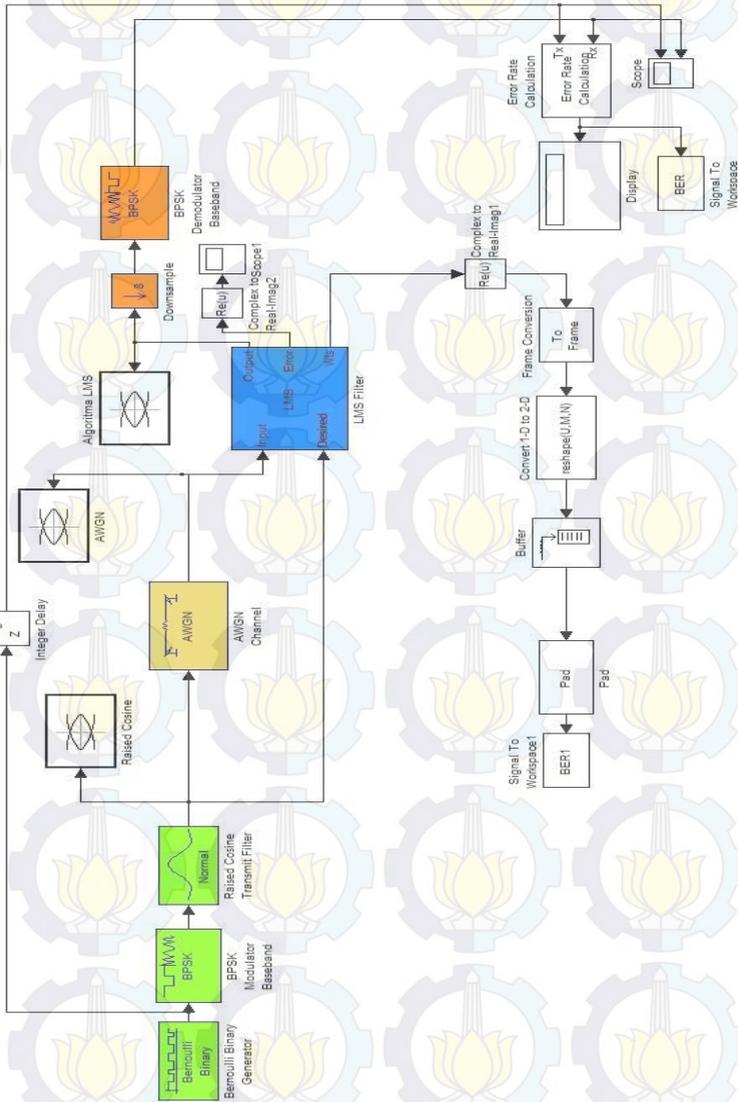
Gambar 3.15 dan 3.16 merupakan gambar sistem yang sudah menggunakan ekualiser LMS. Pada sisi penerima terdapat blok LMS filter yang merupakan ekualiser yang digunakan untuk mengatasi ISI yang terjadi setelah melewati kanal komunikasi tidak ideal yang telah dirancang. Orde *filter* ekualiser LMS yang digunakan adalah 4, 8, dan 12.



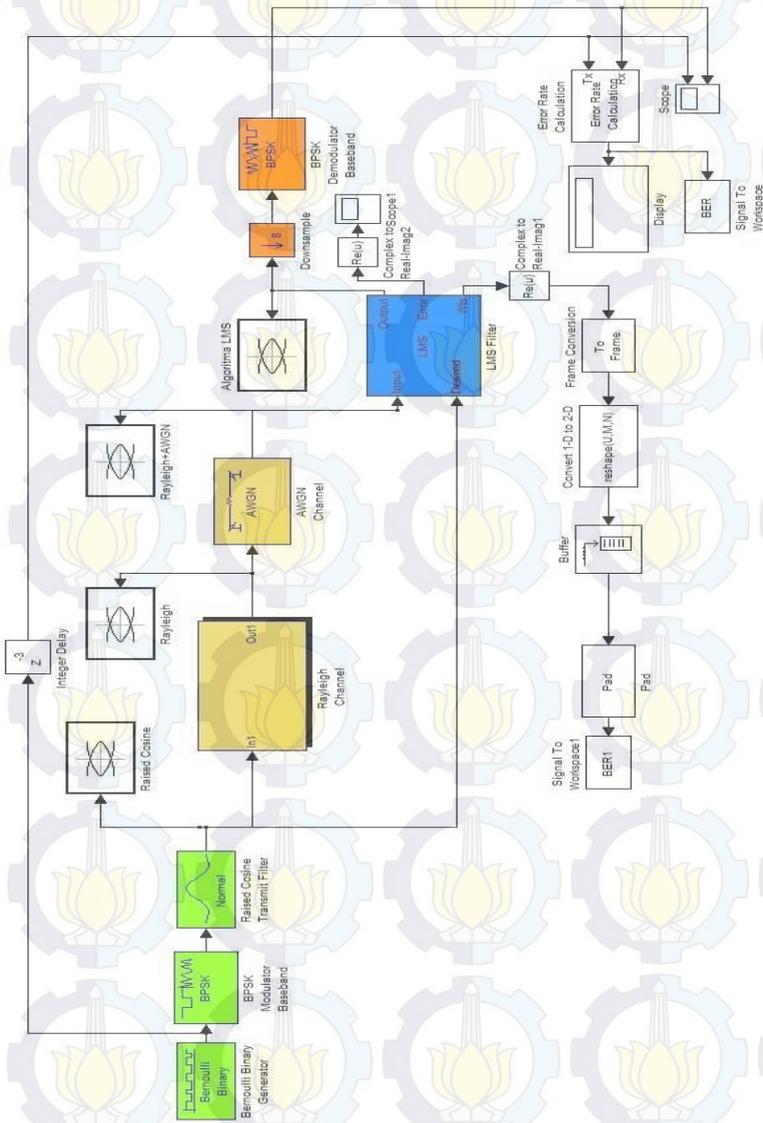
Gambar 3.13 Blok sistem simulasi dengan kanal AWGN tanpa ekualiser LMS



Gambar 3.14 Blok sistem simulasi dengan kanal *Rayleigh* + AWGN tanpa ekuivaler LMS



Gambar 3.15 Blok sistem simulasi dengan kanal AWGN dengan ekualiser LMS

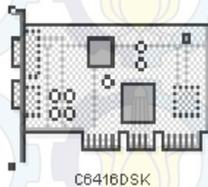


Gambar 3.16 Blok sistem simulasi dengan kanal *Rayleigh* + AWGN dengan ekuwaliser LMS

Setelah perancangan sistem tercapai dan sesuai dengan yang diinginkan dalam tugas akhir ini, maka hasil simulasi ini ditampilkan dalam bentuk grafik dan melakukan perbandingan pada tiap-tiap sistem. Menyimpulkan pengamatan tanpa menggunakan ekualiser dan setelah menggunakan ekualiser .

3.4 Implementasi Sistem Ekualiser Adaptif

Implementasi sistem dilakukan dengan cara memprogram DSK TMS320C6416T sesuai dengan sistem yang telah dimodelkan di MATLAB Simulink. DSK dapat deprogram dengan menggunakan bahasa C, assembly, atau integrasi matlab simulink. Setelah menyiapkan file simulink untuk diimplementasikan, ada beberapa blok yang harus ditambahkan yang nantinya untuk implementasi DSK TMS320C6416T yaitu blok C6416DSK, yang merupakan blok pendukung utama dalam memprogram DSK TMS320C6416T. Blok tambahan tersedia pada simulink yaitu pada Simulink library browser-target for TI C600 seperti yang ditunjukkan pada gambar di bawah ini

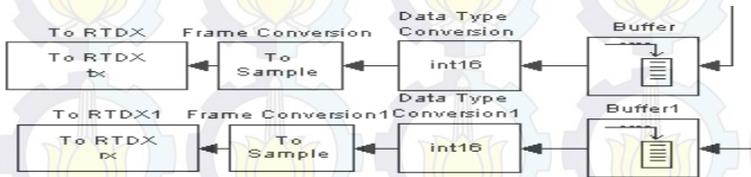


Gambar 3.17 Blok C6416DSK

Implementasi sistem ekualiser adaptif dengan LMS filter ini menggunakan sumber sinyal yang dibangkitkan dari Simulink, mengubah nilai parameter pada AWGN dan LMS filter. Seperti yang telah dirancang disimulasi sistem, sumber sinyal menggunakan blok *Bernoulli Binary Generator*. Performasi sistem tetap dilakukan dengan mengevaluasi nilai BER dan melihat ISI terhadap pola mata.

Pada implementasi pertama digunakan 2 perangkat yaitu komputer (PC) dan DSK TMS320C6416. Pada PC digunakan untuk memprogram file Simulink dan melihat hasil keluaran sistem yang telah diimplementasikan. Apabila pada saat simulasi hasil BER dapat langsung dilihat pada *display*, pada tahap implementasi ini nilai BER diperoleh dengan mengambil data dari RTDX.

Blok RTDX pada implementasi ini digunakan untuk mengambil hasil keluaran dari sistem yang telah diimplementasikan kedalam DSK. Ada 3 blok yang dibutuhkan dalam blok RTDX ini yaitu blok *Data type Convesion*, *Frame Conversion*, dan *To RTDX*. Pada blok RTDX dapat diberi *channel name* secara bebas, dapat dilihat pada Gambar 3.20.



Gambar 3.18 Blok RTDX

Sedangkan untuk parameter yang digunakan pada blok *Data Type Convesion* adalah sebagai berikut.

- Output data type mode :int 16
- Input and Output to have equal :Real World Value (RWV)
- Roud integer calculations towar :Floor
- Sample time :-1

Blok RTDX dapat bekerja apabila perangkat RTDX diaktifkan terlebih dahulu dengan program CCS. Pengaktifan blok RTDX dalam CCS adalah dengan cara memilih menu *tools* RTDX pilih *Configuration Control* dan pengaktifan RTDX dapat dilakukan dengan cara memilih *Enable RTDX*. Kemudian pada saat RTDX telah aktif, DSK yang telah diprogram akan mengirim data yang hasil keluaran sistem sehingga data tersebut dapat diolah kedalam komputer menggunakan matlab.

Apabila semua persiapan sudah dilakukan dan selesai dihubungkan kekomputer, maka *file* Simulink yang telah dibuat dapat diimplementasikan pada DSK adalah dengan cara klik *incremental build* yang terdapat pada Simulink. Menu *incremental build* ini berfungsi sebagai pengkomunikasikan Matlab dengan *Code Composer Studio* sehingga *file* Simulink yang telah dibuat dapat menjadi *file project* CCS(*.pj) dimana berisi hasil konversi file simulink kedalam bahasa C dan *assembly*. Selanjutnya CCS akan memprogram DSK TMS320C6461T yang terhubung ke PC menggunakan kabel USB.

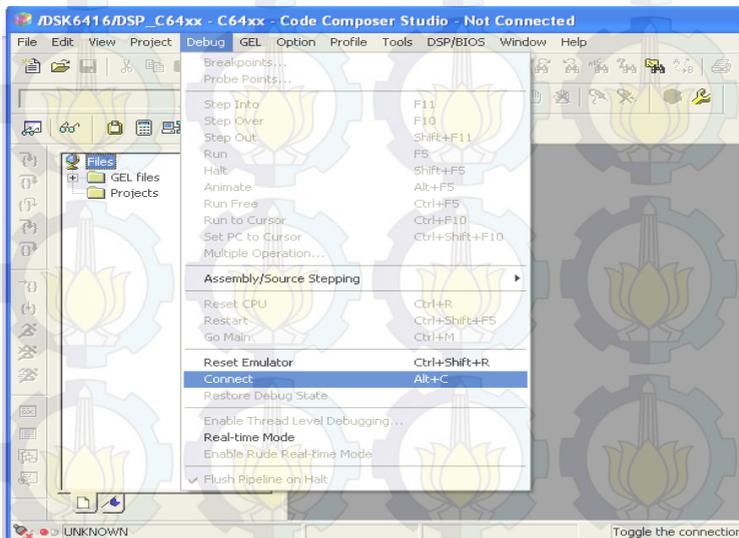
Sebelumnya telah dijelaskan pemodelan sistem implementasi algoritma LMS untuk sistem ekualiser adaptif dalam bentuk diagram blok sistem implementasi ekualiser LMS. Selanjutnya dijelaskan langkah – langkah implementasi sistem pada DSK TMS320C6416T hingga persiapan pengujian seperti dijelaskan berikut ini:

- a. Blok *simulink* matlab yang akan diintegrasikan ke DSK board.
- b. Laptop/PC sudah terhubung dengan perangkat DSK TMS320C6416T.
- c. Membuka *software 6416 DSK CCStudio v3.1*.

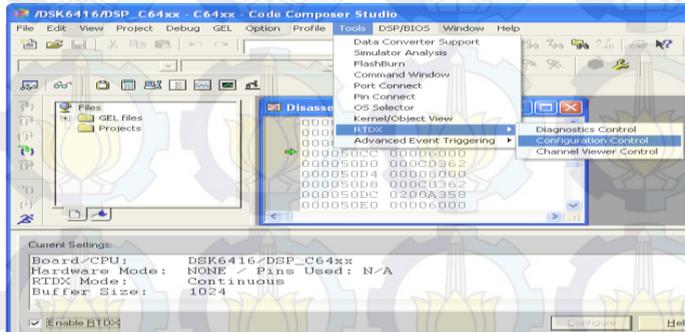


Gambar 3.19 Ikon 6416 DSK CCStudio v3.1

Pertama status CCStudio v3.1 masih “*Unknown*”, artinya software masih belum terhubung dengan DSK board. Untuk menghubungkan klik “*Connect*” pada menu debug seperti di bawah.



Gambar 3.20 Pengaturan koneksi antara PC dan DSK board



Gambar 3.21 Pengaturan RTDX

Selanjutnya pilih ‘*Continuous*’ pada RTDX mode. Terakhir centang ‘*Enable RTDX*’.

d. Lakukan proses integrasi dengan cara mengklik menu ‘*Incremental build*’ pada simulink.



Gambar 3.22 *Button incremental build*

3.5 Pengujian Sistem

Pada tugas akhir ini, pengambilan nilai BER yang dilakukan dengan mengubah parameter E_b/N_0 yang ada pada kanal AWGN baik dengan menggunakan ekualiser adaptif maupun tanpa menggunakan ekualiser adaptif. Sedangkan parameter-parameter yang diatur pada ekualiser ini yaitu dengan mengubah L dan μ .

Tabel 3.1 Variabel Pengujian Sistem

Step size	Kanal	Panjang Filter (L)
0.005	AWGN	4
		8
		12
	Rayleigh + AWGN	4
		8
		12

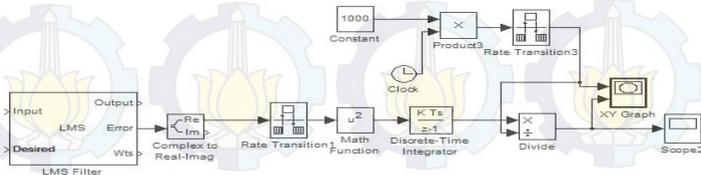
Pada tugas akhir ini, dilakukan pengujian dengan beberapa skenario:

1. Pengujian sistem dengan kanal AWGN pada simulink
2. Pengujian sistem dengan kanal Rayleigh + AWGN pada simulink
3. Pengujian implementasi sistem dengan kanal AWGN
4. Pengujian implementasi sistem dengan kanal Rayleigh + AWGN
5. Pengujian implementasi sistem dengan menggunakan kanal real akustik udara.

Pertama-tama dilakukan perbandingan kinerja sistem secara teori dan simulasi sebelum memakai ekualiser. Ini diperlukan untuk mengetahui apakah sistem sudah dimodelkan dengan benar, jika tidak terjadi perbedaan yang banyak antara BER teori dan simulasi, dapat disimpulkan bahwa sistem yang dimodelkan sudah benar. Untuk menghitung BER pada simulasi sistem tanpa ekualiser dapat dilakukan menggunakan *Bit Error Rate Analysis Tool* yang disediakan Matlab. Cara menggunakannya dengan mengetikkan perintah “*bertool*” di *Matlab Command Window*. Selain menghitung BER simulasi *bertool* ini juga bisa didapatkan pula nilai BER sesuai dengan teorinya. Yang dimaksud BER teori adalah nilai BER dari sistem yang dihitung menggunakan rumus pada persamaan (3.5)

Untuk menghitung BER pada simulasi sistem dengan ekualiser, dilakukan dengan cara mencari terlebih dahulu nilai MSE (*Mean Square Error*) tiap iterasi untuk mengetahui konvergensi sistem. Setelah mengetahui sistem konvergen pada iterasi ke berapa, baru dicari nilai BER dari sistem tersebut yang akan dimulai dari data pada saat sistem sudah konvergen.

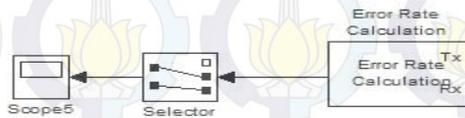
Nilai MSE didapatkan dengan cara mengkuadratkan nilai error tiap iterasi lalu dijumlahkan dan dibagi dengan panjang data yang dikirim.



Gambar 3.23 Blok Perhitungan MSE

Simulasi akan berjalan saat menekan tombol “Run” dan akan berhenti ketika bit yang *error* mencapai nilai 10.000 atau jumlah bit yang dibangkitkan mencapai nilai 10.000. Pada blok *scope*, data yang didapat akan disimpan di *workspace* dengan cara mengatur pada blok *scope* dengan mengklik “save data to workspace” dan mengisikan *Variable Name* dengan nama MSE.

Setelah mengetahui grafik konvergensi sistem, maka dicari nilai BER yang dapat dilakukan dengan menambahkan *selector* dan *scope* pada blok *error rate calculation*

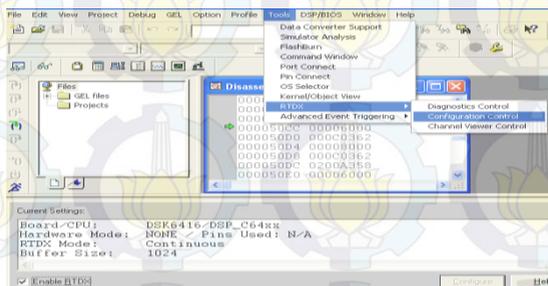


Gambar 3.24 Blok Perhitungan BER

Dengan menggunakan selector dapat dipilih data yang ingin disimpan pada *workspace* adalah nilai kesalahan dan jumlah data yang dikirimkan. Jadi dapat dilihat nilai kesalahan pada setiap iterasi. Untuk menghitung nilai BER dapat digunakan *script* matlab sebagai berikut:

```
n=BERplot(:,2);
BER1=(n(10000)-n(1001))/99000
```

Untuk melakukan pengujian secara implementasi, dapat dilakukan dengan cara menambahkan blok RTDX pada sinyal yang dikirim dan diterima. BER pada sistem akan dihasilkan oleh blok RTDX yang dijalankan pada DSK TMS320C6416T.



Gambar 3.25 Pengaturan RTDX

Sebelum melakukan implementasi sistem, terlebih dahulu melakukan konfigurasi pada RTDX di CCS. Kemudian pilih 'Continuous Mode' pada RTDX mode dan centang 'Enable RTDX'.

3.6 Perangkat Implementasi

Berikut ini adalah merupakan perangkat-perangkat yang digunakan dalam tugas akhir ini. Perangkat tersebut dibagi menjadi dua jenis, yaitu :

3.6.1 Perangkat Keras

a. Laptop

Laptop digunakan untuk melakukan perancangan sistem serta memprogram DSK TMS320C6416.. Menggunakan *Operating System (OS) Windows XP* karena sesuai dengan *software CCS v3.1*.

b. DSK TMS320C6416T

Merupakan perangkat utama yang digunakan untuk implementasi sistem pengolahan sinyal digital secara *real-time*. DSK TMS320C6416T ini dilengkapi dengan kabel power sebagai catu daya dan kabel USB untuk terhubung dengan PC. Cara menjalankan alat ini dengan menghubungkan langsung kabel *power* ke sumber listrik karena tidak mempunyai tombol On/Off. Untuk dapat memprogram alat ini dengan menghubungkan port USB DSK TMS 320C6416T ke USB computer menggunakan kabel USB.



Gambar 3.26 DSK TMS320C6416T

c. **Microphone**

Alat input berupa suara, biasanya komponen ini digunakan untuk merekam sinyal audio baik vokal, akustik *instrument*, atau apapun yang bisa menjadi sumber suara.

d. **Speaker**

Berfungsi untuk mendengarkan suara yang dihasilkan dari suatu sumber suara.

3.6.2 Perangkat Lunak

a. **Matlab R2007a**

Digunakan Matlab versi R2007a untuk merancang sistem *Equalizer* adaptif pada *Simulink*. Selain itu, Matlab versi ini juga dapat diintegrasikan dengan *software CCS v3.1*.

b. **Code Composer Studio (CCS) v3.1**

CCS v3.1 digunakan untuk mengintegrasikan sistem yang telah dibuat yang kemudian diimplementasikan ke dalam DSK TMS320C6416T. *Software* ini termasuk dalam paket penjualan prosesor keluaran *Texas Instrument*.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Fauzi Rahmad, Putri Ginda Utama. 2013. “Analisis Unjuk Kerja Ekualizer Pada Sistem Komunikasi Dengan Algoritma *Least Mean Fourth Based Power Of Two Quantizer (LMF-PTQ)*”. Medan : Universitas Sumatera Utara.
- [2] Garg, Ravi. “*Adaptive Equalization Techniques using Least Mean Square [LMS] algorithm*”, *Electrical Engineering, Term paper*, Sep.12,2009.
- [3] Stojanovic, Milica. 2009. “*Underwater Acoustic Communication Channels: Propagation Models and Statistical Characterization*”. IEEE Communication Magazine, January, 2009.
- [4] Haykin, Simon. 1991. “*Adaptive Filter Theory 2nd Edition*”. Prentice Hall.
- [5] Ramadhan Muchammad, Zulfikar. 2012.” Perancangan Sistem Instrumentasi Untuk Identifikasi dan Analisis Suara Paru-Paru Menggunakan DSP TMS3206416T”. Depok: Universitas Indonesia.
- [6] Xiao, Yang.2010. “*Underwater Acoustic Sensor Networks*. Auerbach Publications”.
- [7] Paul C. Etter, 2013, “*Underwater Acoustic Modeling and Simulation fourth edition*”, Taylor & Francis Group.
- [8] Syafei Wahyul Amien, Titon Dutono, Achmad Ansori, 2003,“*Penggunaan Cyclic Prefix Untuk Estimasi Kanal Adaptif Pada Sistem Modulasi Multicarrier*”
- [9] Zhong Liu, Ning Xiao-ling, 2012, “*Comparison Of Equalization Algorithms for Underwater Acoustic Channels*”, IEEE 2nd International Conference on Computer Science and Network Technology.
- [10] Zhong Liu, XiaoLing Ning, Linsen Zhang, HaiZhu Xu, 2011,“*An Effective Adaptive Equalization Algorithm for Underwater Acoustic Communications*”, IEEE 4th International Workshop on Advanced Computational Intelligence.
- [11] Abdillah Kusuma, Moegiharto Yoedy, 2012. “Analisa Kinerja *Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM)* Berbasis Perangkat Lunak”, Surabaya: Politeknik Elektronika Negeri Surabaya.

BAB IV PENGUJIAN DAN ANALISA SISTEM

Bab ini akan membahas mengenai hasil pengujian simulasi dan implementasi untuk sistem ekualiser adaptif pada komunikasi bawah air menggunakan algoritma *Least Mean Square* (LMS). Hasil pengujian simulasi dan implementasi sistem ini ditampilkan melalui grafik BER vs Eb/No dengan mengubah nilai Eb/No dari blok AWGN.

Pengujian hasil simulasi sistem akan dibandingkan dengan hasil implementasi sistem. Pada simulasi dan implementasi sistem ini akan dilakukan perbandingan yaitu pada variabel yang diubah panjang *filter* (L) dan konstanta *step size* (μ). Penentuan nilai parameter L dan μ dapat dilakukan dengan nilai bervariasi. Pada tugas akhir ini orde *filter* yang diamati yaitu 4,8, dan 12 dengan perubahan konstanta *step size* (μ) yaitu 0,005, 0,0005, 0,00005.

4.1 Perhitungan Kinerja Modulasi BPSK secara Teori dan Simulasi

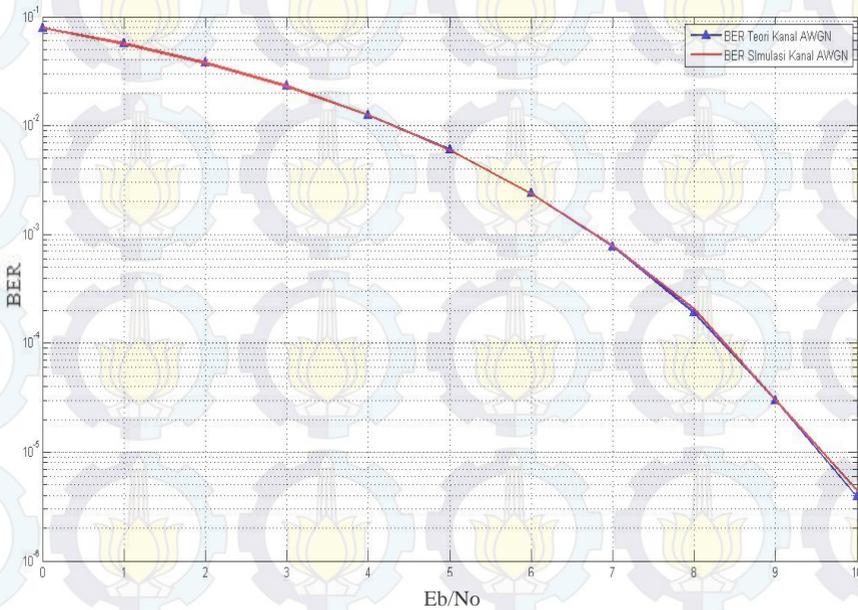
Pada sub bab ini akan diuraikan nilai BER dari BPSK secara teori dan simulasi, menggunakan *tool* yang ada pada matlab. Kemudian data yang diperoleh diamati, dapat dilihat pada tabel tersebut untuk nilai BER antara simulasi dan teori tidak berbeda jauh, yaitu pada saat Eb/No = 0 nilai BER yang diperoleh sekitar 0.078 dan pada saat Eb/No = 10, nilai BER yang diperoleh adalah = 0. Dari pengamatan tabel dapat dilihat bahwa nilai BER yang diperoleh dari 0 db – 10db semakin membaik. Antara simulasi dan teori tidak ada perbedaan yang signifikan.

Berdasarkan gambar grafik BER vs EB/No baik secara teori maupun secara simulasi cenderung menurun. Nilai BER yang diperoleh antara keduanya menunjukkan kinerja dari sistem modulasi yang lebih baik untuk digunakan, sehingga dapat disimpulkan semakin besar nilai EB/No maka semakin baik pula kinerja sistem modulasi BPSK yang membuat kemungkinan bit *error* semakin kecil.

Nilai BER teori kanal AWGN di atas mengacu pada persamaan (3.5) yang terdapat di bab 3. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat tabel 4.1 dan gambar 4.1

Tabel 4.1 Perbandingan BER dan Eb/No BPSK Kanal AWGN

Eb/No	Teori	Simulasi
0	0.0786	0.078612
1	0.05628	0.056419
2	0.0375	0.03763
3	0.02287	0.022911
4	0.0125	0.012528
5	0.00595	0.00593
6	0.00238	0.002373
7	0.00077	0.000786
8	0.00019	0.000206
9	3.00E-05	0.00003
10	3.87E-06	4.40E-06

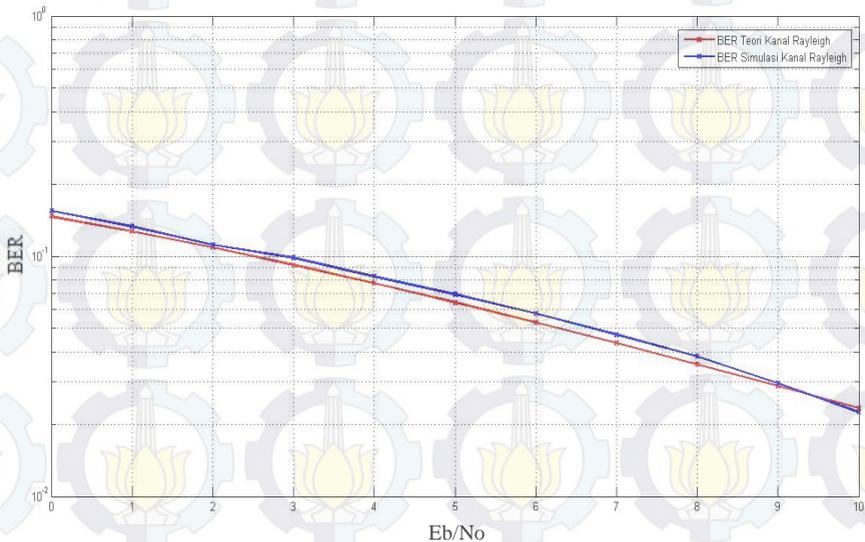


Gambar 4.1 Perbandingan Kinerja BPSK Kanal AWGN secara teori dan BPSK secara simulasi.

Sedangkan untuk nilai BER teori kanal *rayleigh* mengacu pada persamaan (3.3). Dapat dilihat di bawah ini tabel dan kurva dari BER kanal *rayleigh* secara teori dan simulasi.

Tabel 4.2 Perbandingan nilai BER vs Eb/No BPSK Kanal *Rayleigh*

Eb/No	Teori	Simulasi
0	0.14644	0.1542
1	0.12673	0.133
2	0.10848	0.1116
3	0.09191	0.0986
4	0.07713	0.0824
5	0.06418	0.0694
6	0.052998	0.0578
7	0.04347	0.0472
8	0.03545	0.0382
9	0.02878	0.0296
10	0.02326	0.0224



Gambar 4.2 Perbandingan Kinerja BPSK Kanal *Rayleigh* + AWGN secara teori dan BPSK secara simulasi

Hasil BER yang didapat pada tabel 4.1 dan 4.2 di atas akan dibandingkan dengan nilai BER pada sistem yang sudah menggunakan ekualiser. Sehingga dapat diketahui kinerja sistem ekualiser dengan algoritma LMS yang telah dibuat.

4.2 Pengujian Sistem pada Simulink

Pengujian sistem yang dilakukan adalah dengan menambah algoritma LMS. Menjalankan sistem dengan mengubah nilai *step size* (μ) dan perubahan terhadap panjang *filter* (L). Hal ini dilakukan untuk mengetahui seberapa jauh kinerja dari sistem yang telah dirancang. Hasil pengujian ini akan ditampilkan dalam bentuk grafik dan tabel.

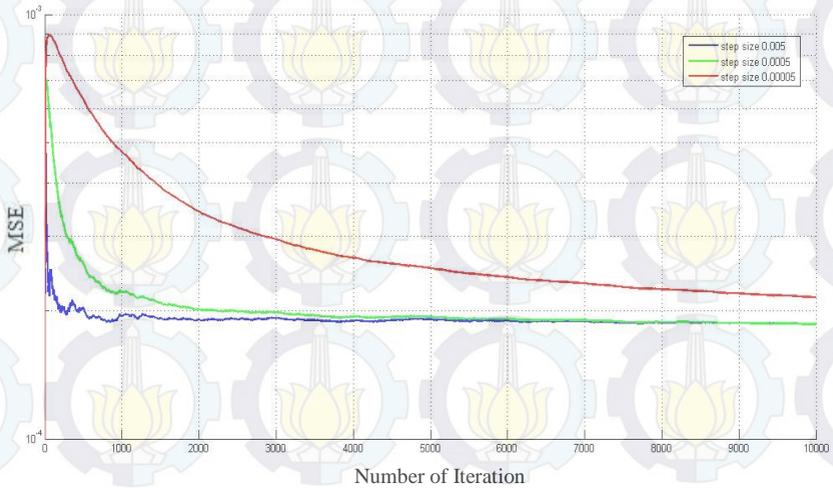
Tujuan dari pengujian ini adalah untuk mengetahui nilai *step size* yang paling baik. Untuk mengetahui nilai *step size* yang baik, dapat ditentukan dengan semakin kecilnya nilai BER. Untuk membandingkan nilai BER mana yang paling kecil kita harus menentukan nilai E_b/N_0 yang akan kita amati, pada pengujian ini kita akan mengamati pada E_b/N_0 0- 10db.

4.2.1 Pengujian Sistem dengan Kanal AWGN pada Simulink

Pengujian simulasi yang pertama dengan menggunakan variabel tetap $L = 4$ dan konstanta yang diubah yaitu μ sebesar 0.005, 0.0005, 0.00005. Jumlah bit yang dikirimkan pada sistem ini dibatasi sebanyak 10.000 bit dan jumlah maksimum *error* sebesar 10.000. Sehingga sistem akan berhenti apabila sudah mencapai jumlah *error* dan jumlah bit yang dikirimkan sehingga didapatkan nilai BER. Pada pengujian kali ini sebelum menghitung nilai BER terlebih dahulu mencari nilai MSE tiap panjang *filter* dan *step size* yang sudah kita tentukan untuk diamati.

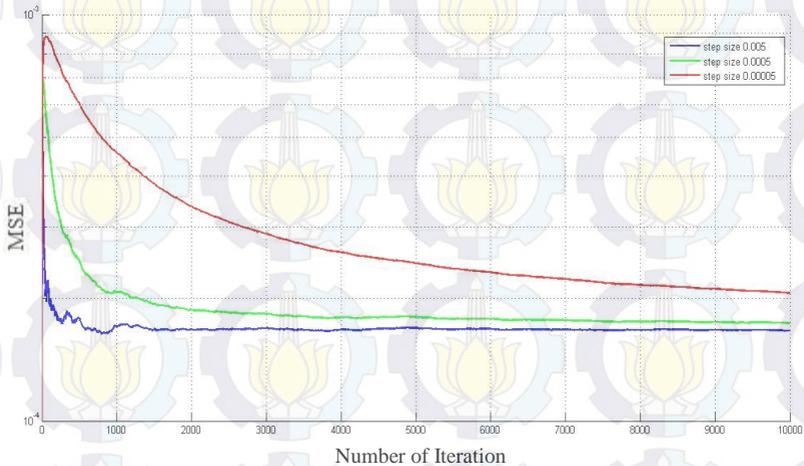
Dengan melihat nilai konvergensi dari grafik MSE tiap iterasi dapat dilihat bahwa sistem konvergen pada iterasi ke berapa. Pada saat sistem sudah konvergen baru dapat dilakukan proses perhitungan BER.

Pada gambar 4.3 terlihat bahwa pada panjang *filter* (L) = 4 dengan nilai *step size* (μ) 0.005, 0.0005, 0.00005 nilai konvergensi paling cepat didapat pada *step size* (μ) 0.005, yaitu pada iterasi ke 1000. Sedangkan *step size* (μ) 0.0005 mencapai konvergen pada iterasi ke 2000 dan *step size* (μ) 0.00005 mencapai konvergen pada iterasi ke 7000. Semakin besar nilai *step size* (μ) maka sistem akan semakin cepat konvergen.



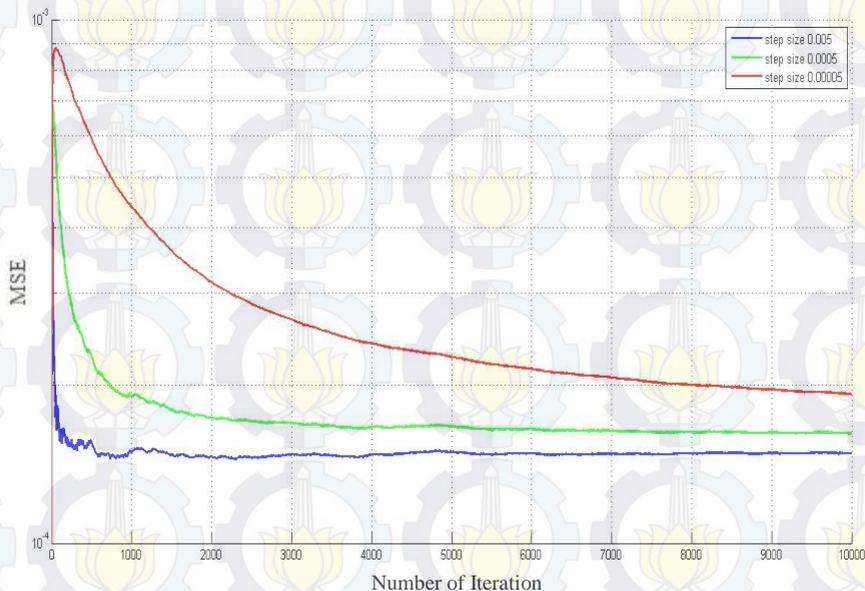
Gambar 4.3 Grafik Konvergensi LMS Kanal AWGN dengan $L = 4$

Pengujian selanjutnya mengubah panjang *filter* menjadi 8 pada algoritma LMS dengan nilai $\mu = 0.005, 0.0005, 0.00005$. Dan dengan cara yang sama dengan panjang *filter* $L=4$ maka didapatkan grafik konvergensi seperti gambar 4.4. Hasil dari grafik tersebut tidak terlalu berbeda dengan panjang *filter* $L=4$ namun terlihat ada perbedaan sedikit pada nilai MSE. Pada panjang *filter* $L=8$ nilai MSE lebih menurun atau lebih kecil.



Gambar 4.4 Grafik Konvergensi LMS Kanal AWGN dengan $L = 8$

Grafik konvergensi pada gambar 4.5 dengan $L=12$ menunjukkan bahwa *step size* 0.005 memiliki konvergensi sistem yang lebih cepat dibanding nilai *step size* 0.0005 dan 0.00005. Semakin besar panjang *filter* dapat dilihat nilai MSE semakin kecil.



Gambar 4.5 Grafik Konvergensi LMS Kanal AWGN dengan $L = 12$

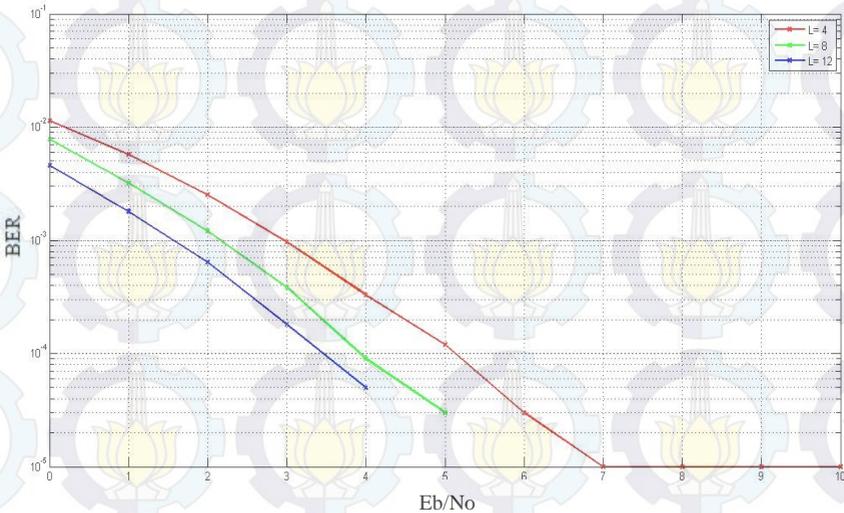
Setelah mengamati grafik konvergensi kanal AWGN dengan panjang filter yang berbeda, dapat dilihat bahwa nilai *step size* paling besar yang memiliki nilai konvergensi paling cepat dan juga memiliki nilai MSE yang lebih kecil. Oleh karena itu pengujian BER sistem digunakan *step size* 0.005 yang akan dilakukan mulai pada iterasi ke 1000 karena pada *step size* 0.005, sistem konvergen pada iterasi ke 1000 seperti yang dapat dilihat pada gambar 4.3, 4.4, dan 4.5 di atas.

Perhitungan BER dilakukan dengan pengacakan sebanyak 3 kali pada *initial seed* : 61, 62, dan 63. Lalu nilai BER dari ke 3 *initial seed* tersebut dirata-rata dan didapatkan nilai BER pada tabel 4.3 di bawah ini

Tabel 4.3 Nilai BER Simulasi Sistem Algoritma LMS menggunakan Kanal AWGN dengan *step size* (μ)= 0.005

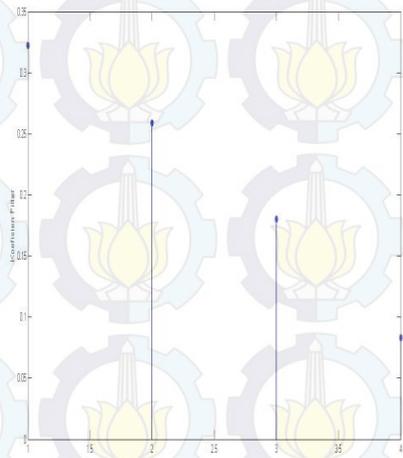
Eb/No	L=4	L=8	L=12
0	0.0114	0.0078	0.0046
1	0.0057	0.0032	0.0018
2	0.0025	0.0012	0.00064
3	0.00096	0.00038	0.00018
4	0.00033	0.00009	0.00005
5	0.00012	0.00003	0
6	0.00003	0	0
7	0.00001	0	0
8	0.00001	0	0
9	0.00001	0	0
10	0.00001	0	0

Pada tabel 4.3 dapat dilihat semakin besar nilai Eb/No semakin kecil nilai BER yang terjadi pada sistem. Dan semakin besar nilai panjang *filter*, semakin kecil pula nilai BER.

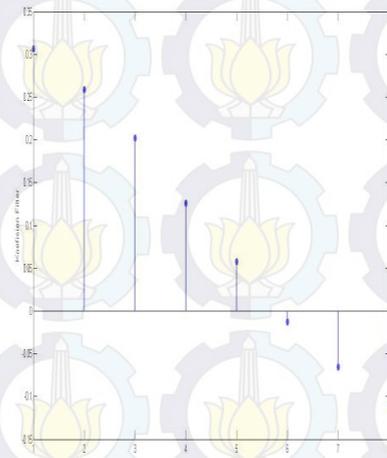


Gambar 4.6 Grafik Nilai BER LMS Kanal AWGN dengan *step size* (μ)=0.005

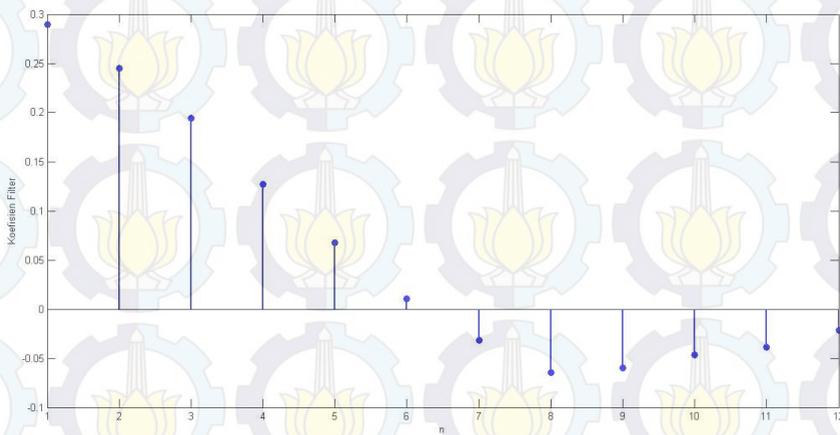
Setelah sistem konvergen, didapatkan faktor pengali atau koefisien *filter* (w) untuk setiap panjang *filter* pada *step size* (μ)=0.005.



(a)



(b)

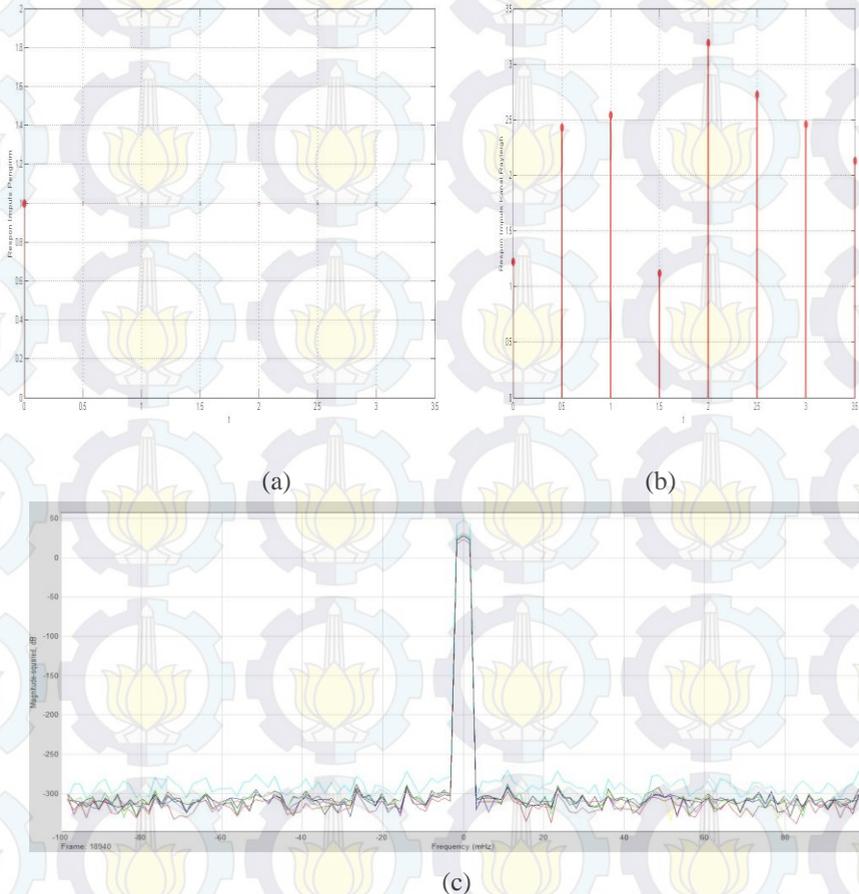


(c)

Gambar 4.7 (a).Koefisien *Filter* pada L=4 (b). Koefisien *Filter* pada L=8 (c).Koefisien *Filter* pada L=12.

4.2.2 Pengujian Sistem dengan Kanal *Rayleigh* + AWGN pada Simulink

Sebelum melakukan pengujian BER diamati terlebih dahulu respon impuls pada Kanal *Rayleigh* yang dapat dilihat dalam domain waktu dan domain frekuensi.



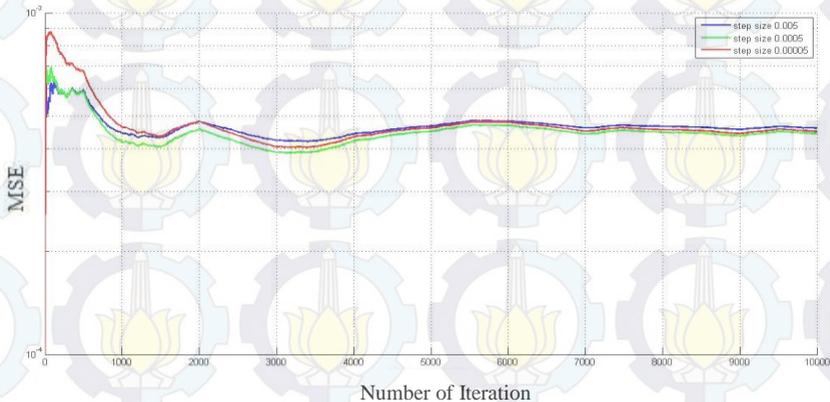
Gambar 4.8 Nilai Respon Impuls (a). Pengirim (b). Domain waktu (c). Domain Frekuensi

Tabel 4.4 Nilai Respon Impuls Kanal *Rayleigh*

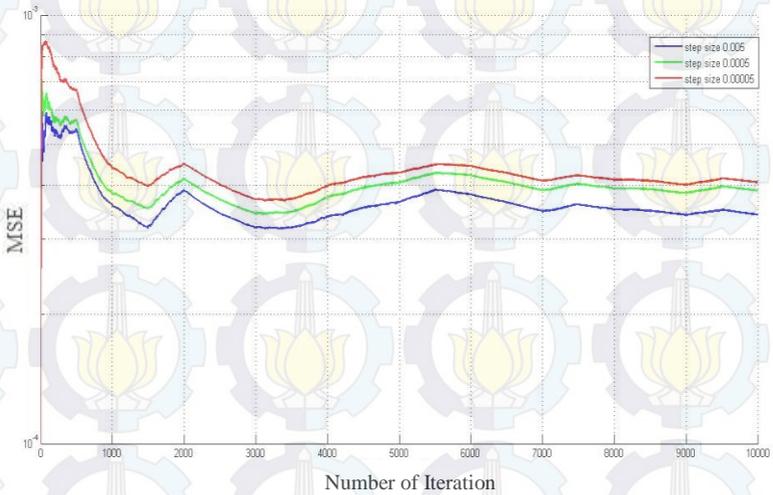
Respon Impuls Kanal Rayleigh		
Pengirim	Domain Waktu	Domain Frekuensi (dB)
1	1.219220994	48
	2.431068871	31.8
	2.537311278	31.8
	1.114546657	29.4
	3.187990666	29.4
	2.724617711	27.8
	2.46036377	27.8
	2.126146995	23.8

Lintasan kanal yang berbeda- beda mengakibatkan kuat sinyal penerima menjadi bervariasi. Pada suatu kanal multipath akan menghasilkan respon impuls yang bervariasi. Pada sistem ini sudah diuji bahwa kanal *Rayleigh* yang didesain mempunyai respon impuls yang bervariasi, sehingga sudah sesuai dengan teorinya dan dapat dilakukan untuk pengujian BER.

Pengujian dilakukan sama seperti pada kanal AWGN. Dilakukan dengan melihat terlebih dahulu nilai MSE pada sistem untuk mengetahui konvergensi sistem terjadi pada iterasi ke berapa.



Gambar 4.9 Grafik Konvergensi LMS Kanal *Rayleigh* + AWGN dengan $L = 4$



Gambar 4.10 Grafik Konvergensi LMS Kanal *Rayleigh* + AWGN dengan $L = 8$



Gambar 4.11 Grafik Konvergensi LMS Kanal *Rayleigh* + AWGN dengan $L = 12$

Gambar 4.9 dapat dilihat bahwa pada panjang *filter* 4 untuk setiap nilai *step size* memiliki hasil yang tidak jauh berbeda. Sedangkan pada gambar 4.10 dan 4.11 dapat dilihat pada panjang *filter* 8 dan 12 menunjukkan hasil yang signifikan, nilai *step size* yang paling baik adalah 0.005. Pada panjang *filter* 4, 8, dan 12 sistem dengan *step size* 0.005 konvergen pada saat iterasi ke 2000. Untuk mencari nilai BER sistem pada panjang *filter* 4,8, dan 12 akan dihitung mulai dari data ke 2000 sampai ke 100.000.

Pada Kanal *Rayleigh* + AWGN, dapat dilihat pada tabel bahwa panjang *filter* $L=8$ memiliki nilai BER lebih kecil dibandingkan dengan panjang *filter* $L=4$ dan $L=12$. Ini dikarenakan apabila orde *filter* terlalu tinggi ($L=12$) dan terlalu rendah ($L=4$) maka sistem tidak dapat beradaptasi dengan baik.

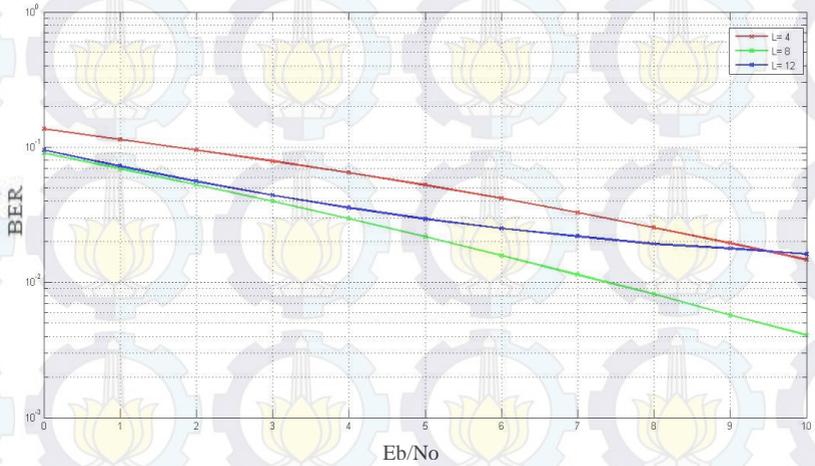
Tabel 4.5 Nilai BER Simulasi Sistem Algoritma LMS menggunakan Kanal *Rayleigh* + AWGN dengan *step size* (μ)= 0.005

Eb/No	L=4	L=8	L=12
0	0.13631	0.09038	0.0954
1	0.11409	0.06926	0.0723
2	0.09503	0.05251	0.05598
3	0.07877	0.03965	0.04404
4	0.06477	0.02947	0.03565
5	0.05244	0.02166	0.02941
6	0.04186	0.01576	0.02497
7	0.03276	0.01138	0.0219
8	0.02539	0.00817	0.01921
9	0.01951	0.00573	0.0178
10	0.01471	0.00406	0.01615

Untuk melihat dengan jelas perbandingan nilai BER pada sistem dengan kanal *Rayleigh* + AWGN pada panjang *filter* $L=4,8,12$ dengan *step size* (μ) = 0.005 dapat dilihat grafik pada gambar 4.12

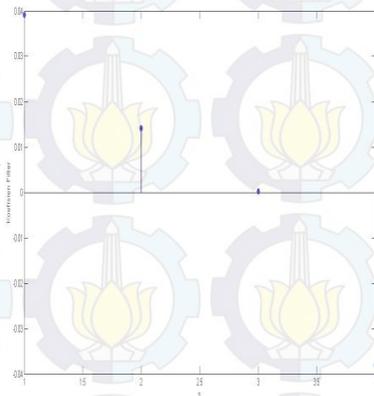
Pada Kanal *Rayleigh* + AWGN, dapat dilihat pada tabel bahwa panjang *filter* $L=8$ memiliki nilai BER lebih kecil dibandingkan dengan

panjang *filter* $L=4$ dan $L=12$. Ini dikarenakan apabila orde *filter* terlalu tinggi ($L=12$) dan terlalu rendah ($L=4$) maka sistem tidak dapat beradaptasi dengan baik.

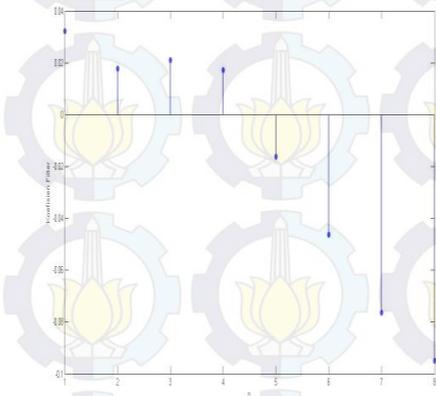


Gambar 4.12 Grafik Nilai BER LMS Kanal *Rayleigh* + AWGN dengan step size (μ)=0.005

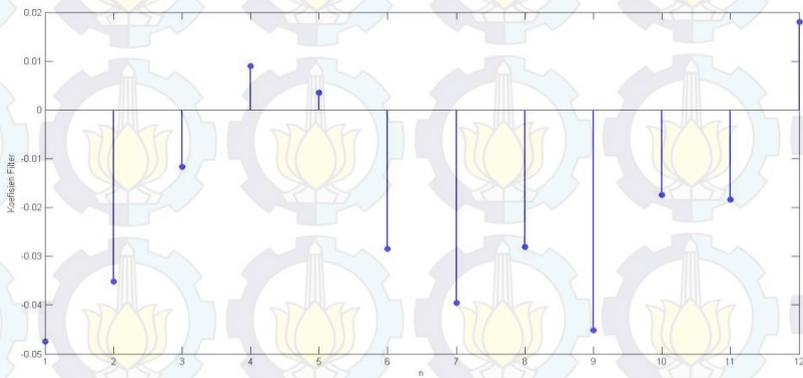
Selanjutnya didapatkan koefisien *filter* atau faktor pengali (w) ketika sistem ekualiser adaptif dengan kanal *Rayleigh* + AWGN ini sudah konvergen.



(a)



(b)



(c)

Gambar 4.13 (a).Koefisien *Filter* pada $L=4$ (b). Koefisien *Filter* pada $L=8$ (c).Koefisien *Filter* pada $L=12$

4.3 Analisis Implementasi dari Kinerja Sistem Ekualiser Algoritma LMS

Setelah melakukan pengujian sistem pada simulasi simulink, maka pengujian selanjutnya dilakukan pada sistem yang telah diimplementasikan ke dalam DSK TMS320C6416. Pengujian implementasi sistem pada DSK TMS3206416 menggunakan parameter yang sama pada saat simulasi sistem, agar dapat dibandingkan kinerja sistem saat disimulasikan dan diimplementasikan. Untuk mendapatkan nilai BER diperlukan blok RTDX pada data yang dikirim dan diterima. Jumlah bit yang dikirim adalah sebanyak 100.000 bit.

Pada pengujian ini dilakukan dengan menggunakan variabel tetap $\mu=0.005$ dan panjang *filter* yang diubah – ubah sebesar 4, 8,dan 12. Dimana pengujian sistem ini dilakukan sebanyak 3 kali pengukuran dan dihitung rata-rata dari hasil pengukuran tersebut.

4.3.1 Pengujian Implementasi Sistem dengan Kanal AWGN

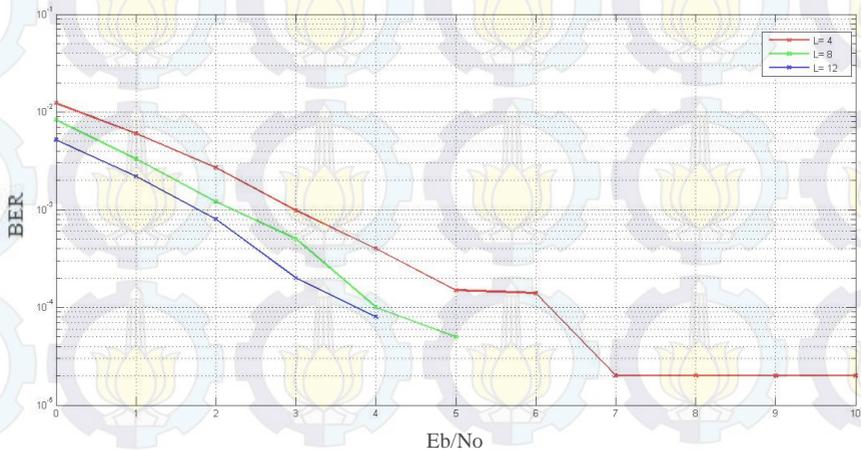
Pada tabel di bawah ini ditunjukkan hasil pengukuran pada panjang *filter* L 4, 8, dan 12 dengan *step size* (μ) 0.005

Dari hasil pengukuran yang dilakukan sebanyak 3 kali diperoleh bahwa dengan menggunakan panjang 12, BER lebih kecil

dibandingkan dengan panjang *filter* 4 dan 8. Hasil BER implementasi tidak jauh berbeda dengan hasil simulasi. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar 4.14

Tabel 4.6 Nilai BER Implementasi Algoritma LMS menggunakan Kanal AWGN dengan *step size* (μ)= 0.005

E_b/N_0	L=4	L=8	L=12
0	0.0115	0.0079	0.0047
1	0.0058	0.0033	0.0019
2	0.0026	0.0013	0.00074
3	0.00106	0.00048	0.00028
4	0.00043	0.00019	0.00015
5	0.00022	0.00013	0
6	0.00013	0	0
7	0.00011	0	0
8	0.00011	0	0
9	0.00011	0	0
10	0.00011	0	0



Gambar 4.14 Grafik Nilai BER Implementasi LMS Kanal AWGN dengan *step size* (μ)=0.005

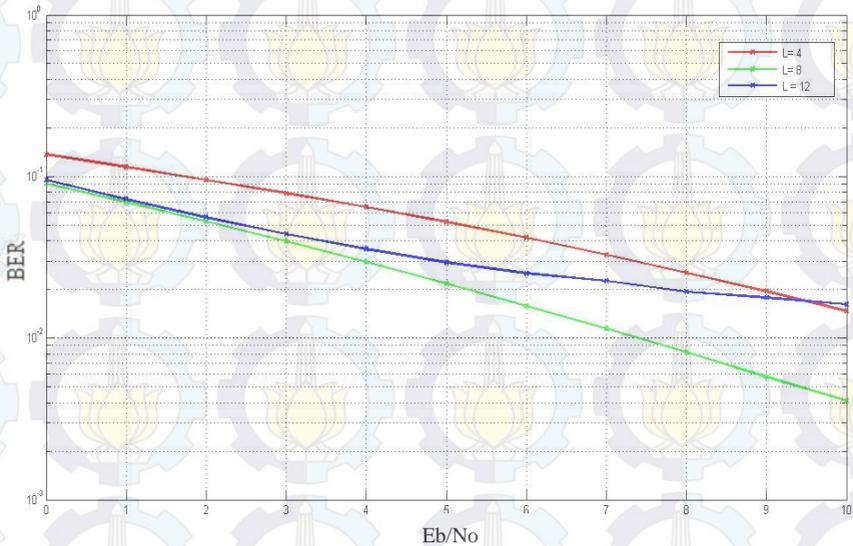
4.3.2 Pengujian Implementasi Sistem dengan Kanal Rayleigh + AWGN

Pengujian pada sistem ini dilakukan dengan cara yang sama seperti sistem yang hanya menggunakan kanal AWGN. Dengan melihat BER pada panjang *filter* 4, 8, dan 12 dengan *step size* (μ)=0.005

Tabel 4.7 Nilai BER Implementasi Algoritma LMS menggunakan Kanal *Rayleigh* + AWGN dengan *step size* (μ)= 0.005

Eb/No	L=4	L=8	L=12
0	0,136834	0,090404	0,095314
1	0,114634	0,069276	0,072266
2	0,095318	0,052522	0,055956
3	0,078912	0,039676	0,044108
4	0,064724	0,029502	0,035642
5	0,05239	0,021682	0,029394
6	0,04174	0,015782	0,025126
7	0,032716	0,011408	0,022526
8	0,025372	0,008202	0,019382
9	0,019532	0,00575	0,017762
10	0,01472	0,004096	0,016134

Hasil implementasi sistem dengan kanal *Rayleigh* + AWGN hampir sama dengan hasil simulasi. Dengan nilai BER paling kecil didapat pada saat panjang *filter* 8. Untuk lebih jelas dapat dilihat pada gambar 4.15



Gambar 4.15 Grafik Nilai BER Implementasi LMS Kanal *Rayleigh* + AWGN dengan step size (μ)=0.005

4.3.3 Pengujian Implementasi Sistem dengan Kanal *Real*

Pengujian pada sistem ini dilakukan dengan model simulink pada DSK sebagai pengirim dan PC sebagai penerima. Pada proses analisa didapatkan bahwa data konvergen setelah bit ke 44.100, sehingga nilai BER dihitung pada bit ke 44.100 sampai dengan bit ke 100.000. Dengan jarak pengirim (speaker) dan penerima (microphone) sejauh 3cm dan sample time 1/44100.

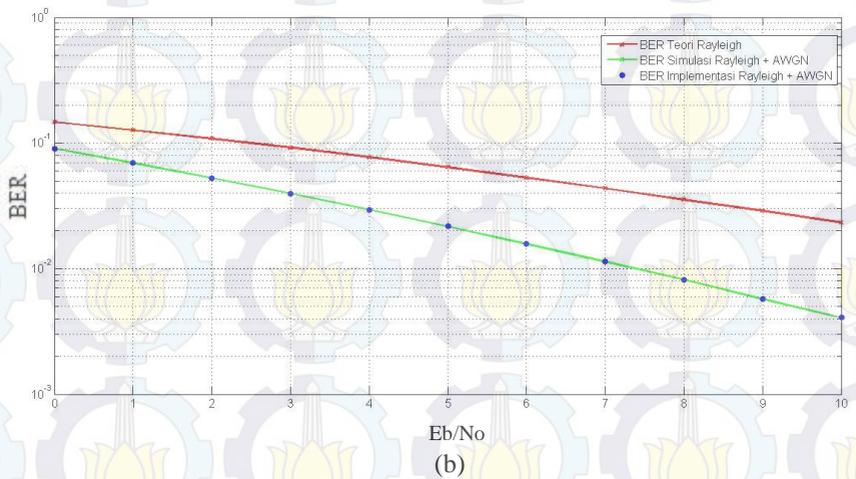
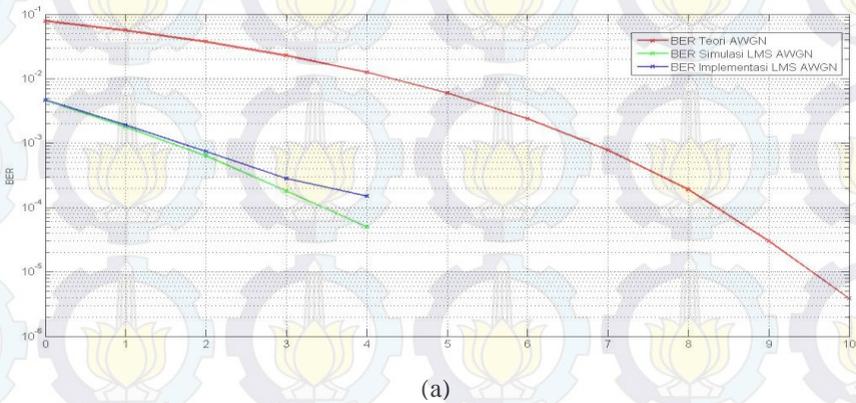
Tabel 4.8 Nilai BER Implementasi Algoritma LMS menggunakan Kanal *Real* dengan step size (μ)= 0.005

Tanpa Ekuwaliser	L=4	L=8	L=12
0.00014	0.00005	0.00012	0.00019

Dari tabel di atas dapat dilihat bahwa pada kanal *real*, panjang *filter* yang paling baik =4. Semakin besar nilai panjang *filter*, nilai BER pun semakin besar.

4.4 Perbandingan Kinerja Sistem Ekualiser Algoritma LMS Berdasarkan Hasil Simulasi dan Implementasi

Pada sub bab ini akan dilihat perbandingan grafik BER vs E_b/N_0 sistem ekualiser adaptif algoritma LMS dengan kanal AWGN dan kanal *Rayleigh* + AWGN baik simulasi maupun implementasi.



Gambar 4.15 Grafik perbandingan kinerja sistem tanpa ekualiser dan dengan ekualiser (a) Kanal AWGN (b) Kanal *Rayleigh* + AWGN

Pada gambar grafik di atas dapat dilihat bahwa sistem ekualiser adaptif dengan 2 bentuk kanal berbeda dapat mengatasi ISI baik secara simulasi maupun implementasi. Pada sistem yang hanya menggunakan kanal AWGN BER terbaik didapat pada panjang *filter* 12 dan *step size* 0.005 sedangkan pada sistem dengan kanal *Rayleigh* + AWGN didapat bahwa BER paling baik didapat pada saat panjang *filter* 8 dan *step size* 0.005, hal ini dikarenakan pada bentuk kanal *Rayleigh* + AWGN dengan orde *filter* 12 memerlukan waktu perhitungan yang lebih lama, dan mengakibatkan BER akan semakin membesar.

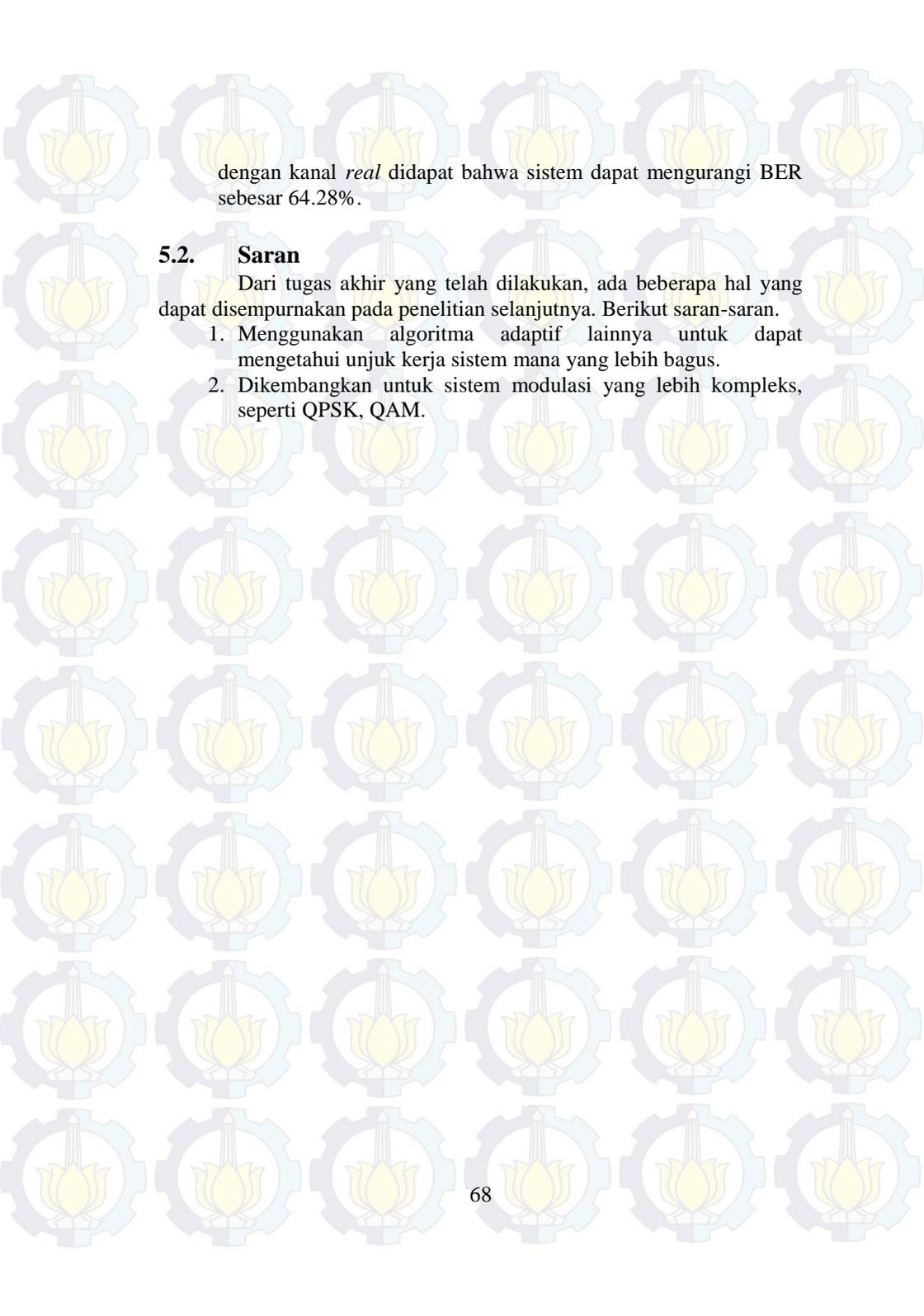
Sesuai dengan teori bahwa variabel yang berperan penting pada sistem ekualiser adaptif ini adalah nilai panjang *filter* dan *step size*. Apabila nilai *step size* semakin besar, akan semakin cepat konvergen namun hasil yang dihasilkan tidak sebaik jika nilai *step size* kecil. Tetapi jika nilai *step size* kecil akan dibutuhkan waktu yang jauh lebih lama untuk mencapai konvergen.

BAB V PENUTUP

5.1. Kesimpulan

Pada Tugas akhir ini diuji nilai BER pada kanal AWGN, Kanal Rayleigh + AWGN dan Kanal real akustik udara dengan ekualiser beralgoritma LMS yang dilakukan dengan pengujian secara simulasi menggunakan simulink dan implementasi menggunakan TMS320C6416. Berdasarkan dari hasil proses simulasi, implementasi, pengujian dan analisis dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Ekualiser adaptif dengan algoritma LMS pada sistem mampu dalam mengurangi distorsi akibat kanal pada sinyal informasi, khususnya untuk sistem dengan karakteristik kanal yang tidak ideal.
2. Pada sistem komunikasi bawah air dengan kanal AWGN tanpa ekualiser adaptif dan dengan menggunakan ekualiser adaptif algoritma LMS dalam pengujian 100.000 bit. Pada saat E_b/N_0 yang sama yaitu 3 dB, tanpa menggunakan ekualiser algoritma LMS didapat nilai $BER = 2.29 \times 10^{-2}$ sedangkan dengan menggunakan ekualiser LMS nilai $BER = 1.8 \times 10^{-4}$, sehingga terjadi pengurangan nilai BER sebesar $= 2.272 \times 10^{-2}$ atau sebesar 99.21%.
3. Pada sistem komunikasi bawah air dengan kanal Rayleigh + AWGN tanpa ekualiser adaptif dan dengan menggunakan ekualiser adaptif algoritma LMS dalam pengujian 100.000 bit. Pada saat E_b/N_0 yang sama yaitu 5 dB, tanpa menggunakan ekualiser algoritma LMS didapat nilai $BER = 6.94 \times 10^{-2}$ sedangkan dengan menggunakan ekualiser LMS nilai $BER = 1.57 \times 10^{-2}$, sehingga terjadi pengurangan nilai BER sebesar $= 5.37 \times 10^{-2}$ atau sebesar 77.37%.
4. Berdasarkan dari pengujian yang telah dilakukan, nilai BER dari hasil implementasi sistem komunikasi bawah air menggunakan ekualiser adaptif algoritma LMS pada DSK TMS320C6416T hampir sesuai dengan hasil simulasi pada Matlab Simulink walaupun terdapat sedikit selisih terhadap nilai BER yang diperoleh pada simulasi. Sedangkan untuk implementasi pengirim



dengan kanal *real* didapat bahwa sistem dapat mengurangi BER sebesar 64.28%.

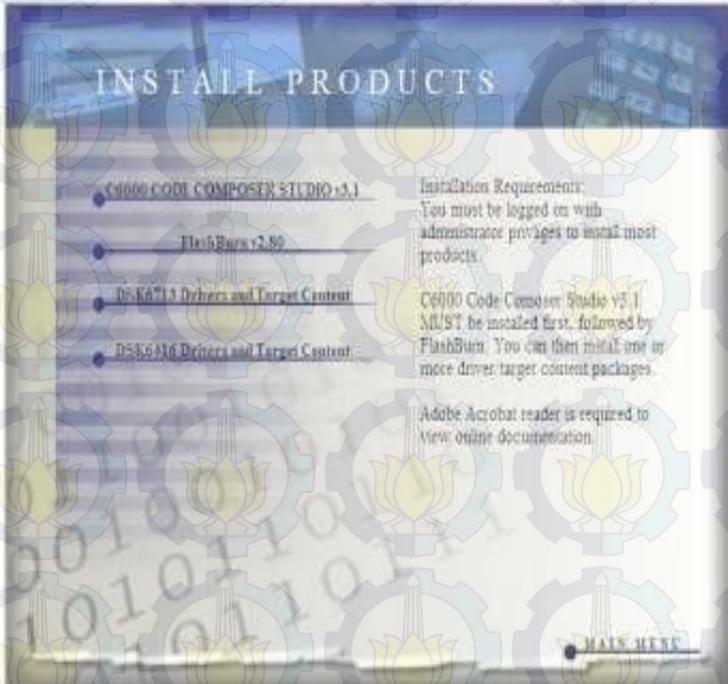
5.2. Saran

Dari tugas akhir yang telah dilakukan, ada beberapa hal yang dapat disempurnakan pada penelitian selanjutnya. Berikut saran-saran.

1. Menggunakan algoritma adaptif lainnya untuk dapat mengetahui unjuk kerja sistem mana yang lebih bagus.
2. Dikembangkan untuk sistem modulasi yang lebih kompleks, seperti QPSK, QAM.

LAMPIRAN

Perangkat Lunak yang digunakan untuk memprogram DSK TMS320C6416T adalah *Code Composer Studio* yang saat ini menggunakan versi 3.1. CCS v3.1 hanya berjalan di *Operating System Windows XP*. Pada tampilan awal instalasi terdapat beberapa pilihan instalasi seperti pada Gambar di bawah ini

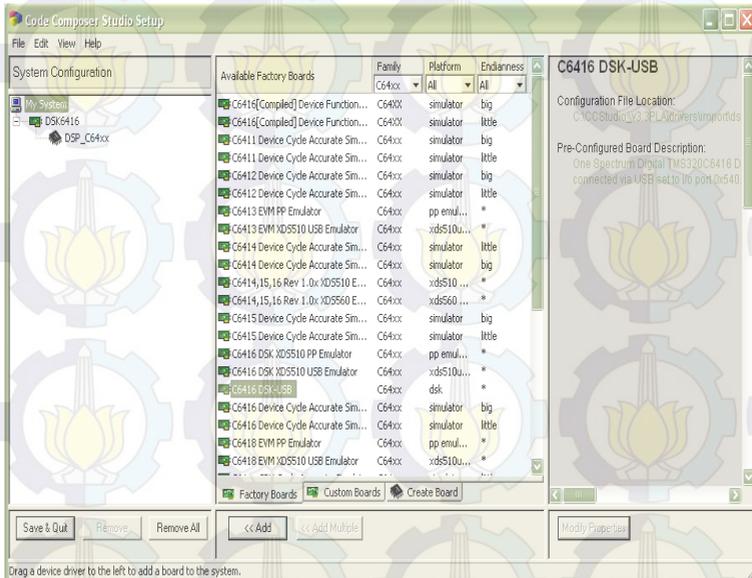


Tampilan Instalasi *TMS320C6000 DSK Tools*

Pertama, *install C600 Code Composer Studio v3.1* sebagai aplikasi CCS pada PC. Selanjutnya *install FlashBurn v2.80* dan terakhir *install DSK6416 Drivers and Target Content* sesuai dengan DSK TMS 320C6000 yang digunakan.

Selanjutnya apabila proses instalasi selesai, diperlukan proses pengenalan prosesor ke PC. Oleh karena itu, langkah selanjutnya yaitu

membuka aplikasi setup CCStudio v3.1, kemudian pilih C6416 DSK pada bagian *Available Factory Boards* dan klik *Add*.



Tampilan pilihan prosesor yang digunakan

Proses instalasi *driver* DSK TMS3206416 dengan cara menghubungkan DSK dengan PC terlebih dahulu melalui port USB. Pada saat PC meminta *driver* dari komponen yang terhubung ke USB, pilih direktori *drive* CD agar PC mencari dan menginstall *driver* DSK secara otomatis.

Dengan software 6416 DSK Diagnostic Utility v.3.1 akan muncul status Diagnostic awal “*IDLE*”. Untuk mendiagnosa status koneksi USB dari PC dengan *DSK board*, *Emulation*, *DSP*, *External Memory*, *Flash*, *Codec*, *LED*, dan *Dip switch*. Ketika muncul status “*PASS*” klik tombol *STOP* seperti Gambar 3.4 kemudian tutup aplikasi tersebut.



Tampilan CCS Diagnostic Utility v3.1

Simulink

Simulink adalah graphical extension Matlab untuk memodelkan dan mensimulasikan sebuah system. Dalam Simulink, sistem digambarkan sebagai sebuah block diagram, diantaranya *transfer function*, *summing junction*, didalamnya terdapat pula virtual input dan output device seperti *function generator* dan *oscilloscope*. File yang telah dibuat akan disimpan kedalam ekstensi file **.mdl* dimana file dengan tipe ekstensi dapat diintegrasikan kedalam Code Composer Studio. Terdapat beberapa langkah yang harus dilakukan agar file dapat diintegrasikan kedalam Code Composer Studio seperti pengaturan *configuration parameters*, *solver*, dan *real-time workshop*.

Beberapa konfigurasi yang telah dilakukan menjadikan file *Simulink* siap untuk diintegrasikan kedalam Code Composer Studio. Dengan adanya matlab *Simulink* ini dapat memudahkan untuk membuat atau membangun sebuah sistem yang dibutuhkan dan dapat diintegrasikan kedalam Code Composer Studio sehingga sistem yang telah dibuat dapat diterjemahkan oleh DSK TMS320C6x.

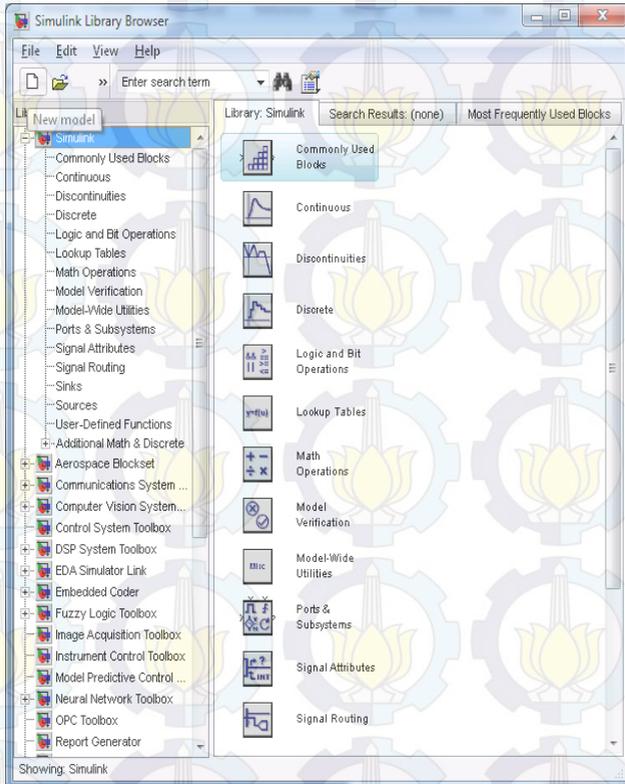
Untuk memulai *Simulink*, pertama-tama dilakukan dengan menjalankan *software* Matlab terlebih dahulu lalu mengetikkan "*Simulink*" pada *command window* atau dapat juga dengan meng-klik *icon Simulink* pada *toolbar*. Selanjutnya muncul *window "Simulink Library Browser"* yang berisi berbagai macam blockset untuk membuat pemodelan dasar suatu sistem.

Elemen dasar dari Simulink adalah block dan lines, Block digunakan untuk mengenerate, modify, combine, output, dan display signals. Lines digunakan untuk mentransfer sinyal dari satu block ke block lainnya

Dalam membuat pemodelan sistem baru hanya dengan klik *icon "Create A New Model"*, kemudian muncul *window* dengan lembar kosong. Lembar ini yang nantinya digunakan untuk meletakkan objek dari blok-blok sistem yang akan dimodelkan.

Lembar ini yang nantinya digunakan untuk meletakkan objek dari blok-blok sistem yang akan dimodelkan. Caranya, pilih blok yang diinginkan dari *Simulink Library* kemudian di-*drag* ke *window* kosong tersebut. Selanjutnya, hubungkan blok-blok tersebut dengan menarik output dari suatu blok ke input dari blok lain hingga muncul anak panah. Setelah pemodelan sistem sudah dibentuk, dapat dilakukan simulasinya

dengan menentukan waktu simulasi pada kotak *toolbar* lalu klik *icon run*.



Tampilan Simulink *Library*

Lembar ini yang nantinya digunakan untuk meletakkan objek dari blok-blok sistem yang akan dimodelkan. Caranya, pilih blok yang diinginkan dari *Simulink Library* kemudian di-*drag* ke *window* kosong tersebut. Selanjutnya, hubungkan blok-blok tersebut dengan menarik output dari suatu blok ke input dari blok lain hingga muncul anak panah. Setelah pemodelan sistem sudah dibentuk, dapat dilakukan simulasinya dengan menentukan waktu simulasi pada kotak *toolbar* lalu klik *icon run*. Hasil dari simulasi tersebut dapat dilihat pada sebuah *scope*,

display, *vector scope*, *workspace* dan sebagainya yang terdapat pada blockset “*sink*”, tergantung dengan output yang dihasilkan blok tersebut

Diagram Pola Mata

Spesifikasi sinyal digital dapat dilihat pada *scope eye pattern*, yang memiliki pola menyerupai mata (*eye pattern*) manusia. Pola ini terbentuk akibat terjadi ulasan berkali-kali terhadap data digital, dengan laju bit yang tinggi. Dengan *eye pattern*, tampilan bit per bit tidak dapat terlihat, namun spesifikasi atau parameter suatu sinyal digital dapat diketahui.

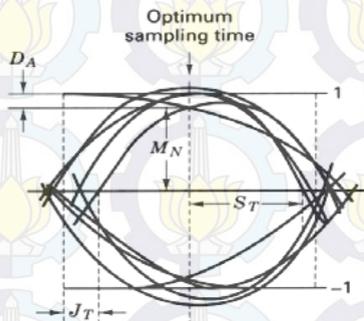


Diagram Pola Mata

Untuk range amplitude yang disimbolkan oleh D_A merupakan ukuran besarnya distorsi yang disebabkan oleh ISI, perbedaan waktu yang memotong sumbu nol yang disimbolkan J_T merupakan ukuran Jitter. Ukuran besarnya noise margin disimbolkan oleh M_N dan sensitivitas waktu error disimbolkan oleh S_T seperti pada gambar apabila mata tertutup, maka ISI meningkat dan jika terbuka, ISI menurun.

Pada Simulasi didapatkan hasil dari diagram pola mata setelah data melewati kanal Rayleigh + AWGN dan sebelum melewati kanal. Dan juga dapat dilihat diagram pola mata setelah data keluar dari ekualiser

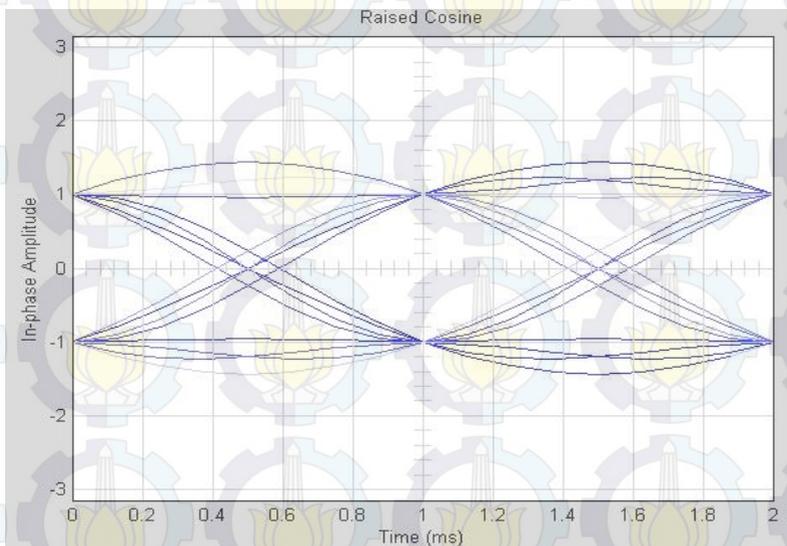


Diagram Pola Mata Keluaran dari Filter Raised Cosine

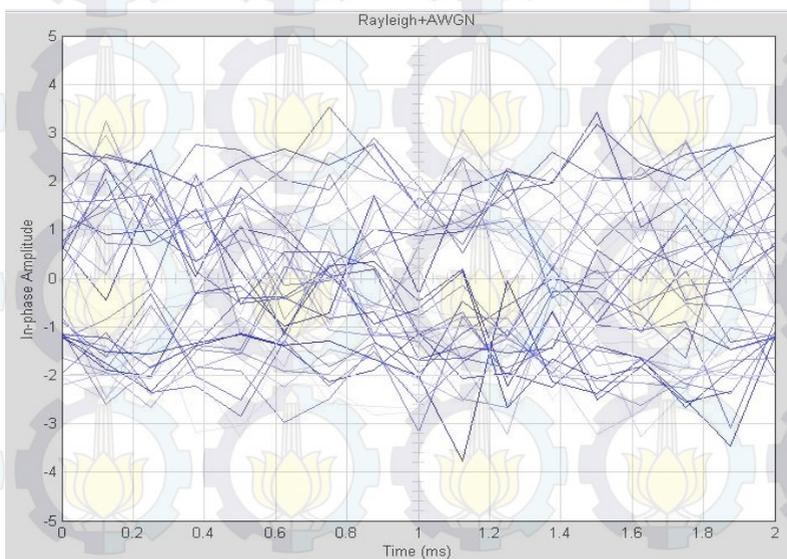


Diagram Pola Mata Keluaran dari Kanal Rayleigh + AWGN

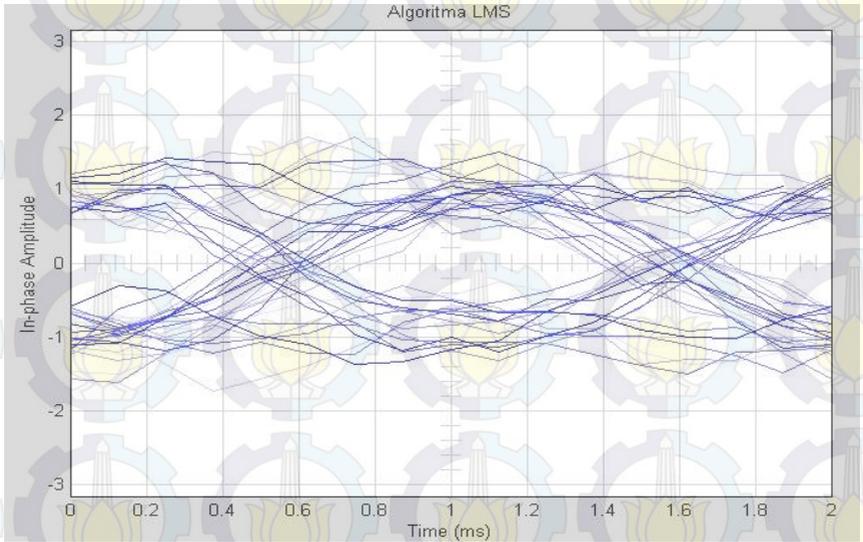


Diagram Pola Mata Keluaran dari Ekuwaliser LMS

ADAPTIVE EQUALIZER FOR UNDERWATER ACOUSTIC COMMUNICATION SYSTEM

Maria Yosefa Febriyanti
2211 100 190

Supervisor I : Dr. Ir. Wirawan, DEA.
Supervisor II : Dr. Ir. Suwadi, MT.

ABSTRACT

Underwater acoustic communication is becoming increasingly important in our lives. For example, is used as environmental monitoring, to explore the ocean, and to support the implementation of the military mission. However, due to the characteristics of underwater canals that are not ideal, the distortion in the channel of communication that resulted Intersymbol Interference.

The existence of Intersymbol Interference (ISI) in the data caused by the distortion of information on underwater communication channel can be addressed by designing a receiver equipped with the equalizer. In general, the characteristics of underwater channels can not be determined precisely so it is necessary for adaptive equalization technique, which can be followed dynamically change channel characteristics. In this final the system use adaptive equalization algorithm Least Mean Square (LMS), the modulation used is BPSK. This system is implemented using the TMS320C6416 DSP starter kit.

The test results of simulation and implementation is shown in tables and graphs BER to variations in E_b / N_0 by sending the data of 100,000 bits. From the results obtained, the equalizer with LMS algorithm can reduce BER caused by ISI. On a system with AWGN channel with $E_b/N_0= 3$, adaptive equalizer can reduce the BER of 99.21% with a filter length = 12 and on systems with Rayleigh + AWGN channel with $E_b/N_0= 3$, adaptive equalizer can reduce the BER of 77.31% with a filter length = 8. In the implementation of the real channel, adaptive equalizer can reduce BER of 64.28% with a filter length = 4.

Keyword : Acoustic communication, Adaptive Equalization, Least Mean Square (LMS), Intersymbol Interference (ISI)

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadiran Tuhan Yang Maha Esa karena atas rahmat dan karunia-Nya penulis dapat menyelesaikan penulisan buku Tugas Akhir dengan judul “**EKUALISER ADAPTIF UNTUK SISTEM KOMUNIKASI AKUSTIK BAWAH AIR**”. Tugas akhir merupakan salah satu syarat yang harus dipenuhi untuk menyelesaikan program studi Strata-1 pada Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknologi Industri Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

Penulis menyadari bahwa dalam penulisan skripsi ini banyak mengalami kendala, namun berkat bantuan, bimbingan, dan kerjasama dari berbagai pihak sehingga kendala-kendala tersebut dapat diatasi. Untuk itu pada kesempatan ini penulis menyampaikan banyak terimakasih dan penghargaan setinggi-tingginya kepada :

1. Kedua orang tua, Ibu Laurensia Lunawati dan Bapak TS. Winarso yang selalu memberikan dukungan, semangat, dan doa kepada penulis.
2. Bapak Wirawan dan Bapak Suwadi selaku Dosen Pembimbing atas segala bantuan, perhatian, dan arahan selama pengerjaan Tugas Akhir ini.
3. Bapak Endroyono selaku Koordinator Bidang Studi Telekomunikasi Multimedia Jurusan Teknik Elektro ITS.
4. Bapak Tri Arief Sardjono selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro ITS.
5. Bapak dan Ibu dosen bidang studi Telekomunikasi Multimedia, Teknik Elektro ITS
6. Hendra Antomy, Rekan-rekan e51, yang membantu dalam pembuatan tugas akhir ini.
7. Teman – teman kocan, Revita Alisa, dan Cinderia Gana yang selalu memberi support dan semangat kepada penulis.

Penulis menyadari bahwa pada penyusunan laporan tugas akhir ini masih terdapat kekurangan-kekurangan karena keterbatasan kemampuan yang penulis miliki, walaupun demikian penulis berharap tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi yang membutuhkannya.

Surabaya, Mei 2015

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR.....	v
LEMBAR PENGESAHAN.....	vii
ABSTRAK.....	ix
ABSTRACT.....	xi
DAFTAR ISI.....	xv
DAFTAR GAMBAR.....	xvii
DAFTAR TABEL.....	xix
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Perumusan Masalah.....	1
1.3 Batasan Masalah.....	2
1.4 Tujuan.....	2
1.5 Metodologi.....	2
1.6 Sistematika Pembahasan.....	3
1.7 Relevansi.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1. Sistem Komunikasi Bawah Air.....	5
2.1.1 Karakteristik Kanal Bawah Air.....	7
2.1.2 Karakteristik Jaringan Sensor Nirkabel Bawah Air.....	8
2.3. Ekuaiser [1].....	11
2.4. <i>Least Mean Square (LMS)</i> [4].....	12
2.5. <i>Intersymbol Interference (ISI)</i> [1].....	14
2.6. <i>Raised Cosine</i>	16
2.7. <i>DSP Starter Kit (DSK) TMS320C6416</i> [5].....	17
2.8. Code Composer Studio.....	20
BAB III PERANCANGAN SISTEM.....	23
3.1. Persiapan Perangkat Lunak.....	24
3.1.1 Integrasi Simulink Matlab dengan CCS v3.1.....	24
3.2. Pemodelan Sistem.....	25
3.3. Simulasi Sistem.....	26
3.3.1 Data Informasi.....	26
3.3.2 Sistem Modulasi dan Demodulasi BPSK.....	27
3.3.3 Filter Pembentuk Raised Cosine.....	28
3.3.4 Pemodelan Kanal Komunikasi.....	29
3.3.5 Pemodelan Algoritma LMS.....	32

3.4.	Implementasi Sistem Ekuwaliser Adaptif	39
3.5.	Pengujian Sistem	42
3.6.	Perangkat Implementasi	45
3.6.1	Perangkat Keras	45
3.6.2	Perangkat Lunak	46
BAB IV PENGUJIAN DAN ANALISA SISTEM.....		47
4.1	Perhitungan Kinerja Modulasi BPSK secara Teori dan Simulasi	47
4.2	Pengujian Sistem pada Simulink	50
4.2.1	Pengujian Sistem dengan Kanal AWGN pada Simulink	50
4.2.2	Pengujian Sistem dengan Kanal <i>Rayleigh</i> + AWGN pada Simulink.....	55
4.3	Analisis Implementasi dari Kinerja Sistem Ekuwaliser Algoritma LMS.....	60
4.3.1	Pengujian Implementasi Sistem dengan Kanal AWGN.....	60
4.3.2	Pengujian Implementasi Sistem dengan Kanal <i>Rayleigh</i> + AWGN	62
4.3.3	Pengujian Implementasi Sistem dengan Kanal <i>Real</i>	63
4.4	Perbandingan Kinerja Sistem Ekuwaliser Algoritma LMS Berdasarkan Hasil Simulasi dan Implementasi	64
BAB V PENUTUP.....		67
5.1.	Kesimpulan	67
5.2.	Saran	68
DAFTAR PUSTAKA.....		69
LAMPIRAN.....		71

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Pemetaan bit simbol ke BPSK.....	9
Tabel 4.1 Perbandingan BER dan Eb/No BPSK Kanal AWGN.....	48
Tabel 4.2 Perbandingan nilai BER vs Eb/No BPSK Kanal <i>Rayleigh</i>	49
Tabel 4.3 Nilai BER Simulasi Algoritma LMS Kanal AWGN dengan <i>step size</i> (μ)= 0.005.....	53
Tabel 4.4 Nilai Respon Impuls Kanal <i>Rayleigh</i>	56
Tabel 4.5 Nilai BER Simulasi Sistem Algoritma LMS Kanal <i>Rayleigh</i> + AWGN dengan <i>step size</i> (μ)= 0.005.....	58
Tabel 4.6 Nilai BER Implementasi Algoritma LMS Kanal AWGN dengan <i>step size</i> (μ)= 0.005.....	61
Tabel 4.7 Nilai BER Implementasi Algoritma LMS Kanal <i>Rayleigh</i> + AWGN dengan <i>step size</i> (μ)= 0.005.....	62
Tabel 4.8 Nilai BER Implementasi Algoritma LMS menggunakan Kanal <i>Real</i> dengan <i>step size</i> (μ)= 0.005.....	63

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	<i>Path</i> propagasi dasar lautan.....	7
Gambar 2.2	Modulasi BPSK	10
Gambar 2.3	Struktur <i>filter</i> transversal linier.....	12
Gambar 2.4	Data yang dikirim.....	14
Gambar 2.5	Data yang diterima.....	14
Gambar 2.6	Deretan pulsa 101101 yang dikirim.....	14
Gambar 2.7	Peluberan Simbol.....	15
Gambar 2.8	Karakteristik pulsa <i>raisedcosine</i>	17
Gambar 2.9	Blok Diagram DSK TMS320C6416.....	18
Gambar 2.10	Tampak atas DSK TMS320C6416.....	19
Gambar 2.11	Tampilan Code Composer Studio v3.1.....	20
Gambar 3.1	Skema Metodologi.....	23
Gambar 3.2	Model umum sistem komunikasi bawah air dengan ekualiser.....	25
Gambar 3.3	Bernoulli binary generator.....	27
Gambar 3.4	Blok modulator dan demodulator BPSK baseband.....	27
Gambar 3.5	Bentuk Sinyal Baseband BPSK.....	28
Gambar 3.6	<i>Raised Cosine</i> transmit filter.....	28
Gambar 3.7	Pemodelan kanal <i>multipath rayleigh fading</i>	29
Gambar 3.8	Blok <i>rate transition</i>	30
Gambar 3.9	Kanal AWGN.....	31
Gambar 3.10	Blok Kanal AWGN.....	31
Gambar 3.11	Blok LMS Filter.....	33
Gambar 3.12	Blok <i>display</i> perhitungan <i>bit error rate</i>	33
Gambar 3.13	Blok sistem simulasi dengan kanal AWGN tanpa ekualiser LMS.....	35
Gambar 3.14	Blok sistem simulasi dengan kanal <i>Rayleigh</i> + AWGN tanpa ekualiser LMS.....	36
Gambar 3.15	Blok sistem simulasi dengan kanal AWGN dengan ekualiser LMS.....	37
Gambar 3.16	Blok sistem simulasi dengan kanal <i>Rayleigh</i> + AWGN dengan ekualiser LMS.....	38
Gambar 3.17	Blok C6416DSK.....	39
Gambar 3.18	Blok RTDX.....	40
Gambar 3.19	Ikun 6416 DSK CCStudio v3.1.....	41
Gambar 3.20	Pengaturan koneksi antara PC dan DSK board.....	41

Gambar 3.21	Pengaturan RTDX.....	42
Gambar 3.22	<i>Button incremental build</i>	42
Gambar 3.23	Blok Perhitungan MSE.....	43
Gambar 3.24	Blok Perhitungan BER.....	44
Gambar 3.25	Pengaturan RTDX.....	44
Gambar 3.26	DSK TMS320C6416T.....	45
Gambar 4.1	Perbandingan Kinerja BPSK Kanal AWGN secara teori dan BPSK secara simulasi.....	48
Gambar 4.2	Perbandingan Kinerja BPSK Kanal <i>Rayleigh</i> + AWGN secara teori dan BPSK secara simulasi.....	49
Gambar 4.3	Grafik Konvergensi LMS Kanal AWGN dengan $L=4$	51
Gambar 4.4	Grafik Konvergensi LMS Kanal AWGN dengan $L=8$	51
Gambar 4.5	Grafik Konvergensi LMS Kanal AWGN dengan $L=12$	52
Gambar 4.6	Grafik Nilai BER LMS Kanal AWGN dengan <i>step size</i> (μ)=0.005.....	53
Gambar 4.7	Koefisien <i>Filter</i>	54
Gambar 4.8	Nilai Respon Impuls.....	55
Gambar 4.9	Grafik Konvergensi LMS Kanal <i>Rayleigh</i> + AWGN dengan $L = 4$	56
Gambar 4.10	Grafik Konvergensi LMS Kanal <i>Rayleigh</i> + AWGN dengan $L = 8$	57
Gambar 4.11	Grafik Konvergensi LMS Kanal <i>Rayleigh</i> + AWGN dengan $L = 12$	57
Gambar 4.12	Grafik Nilai BER LMS Kanal <i>Rayleigh</i> + AWGN dengan <i>step size</i> (μ)=0.005.....	59
Gambar 4.13	Koefisien <i>Filter</i>	60
Gambar 4.14	Grafik Nilai BER Implementasi LMS Kanal AWGN dengan <i>step size</i> (μ)=0.005.....	61
Gambar 4.15	Grafik Nilai BER Implementasi LMS Kanal <i>Rayleigh</i> + AWGN dengan <i>step size</i> (μ)=0.005.....	63
Gambar 4.16	Grafik perbandingan kinerja sistem tanpa ekualiser dan dengan ekualiser.....	64

RIWAYAT PENULIS



Penulis, Maria Yosefa Febriyanti, lahir di Bandung pada tanggal 27 Februari 1993. Merupakan anak tunggal dari pasangan Bapak TS. Winarso dan Ibu Laurensia Lunawati. Penulis menyelesaikan Sekolah Dasar di SD Maria Fransiska, Bekasi pada tahun 2005. Melanjutkan sekolah menengah pertama di SMP Global Prestasi School dan selesai pada tahun 2008. Kemudian melanjutkan sekolah menengah atas di SMAN 28 Jakarta dan menyelesaikannya pada tahun 2011. Pada tahun 2011 penulis melanjutkan studi di Institut Teknologi Sepuluh Nopember dengan Jurusan Teknik Elektro. Penulis mengambil bidang studi Telekomunikasi Multimedia dan memilih topik Tugas Akhir mengenai *Underwater Acoustic*.

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perairan di Indonesia memiliki kekayaan bahari yang potensial, sehingga memungkinkan adanya pengembangan di bidang pelayaran, perikanan, militer, dan hal lain yang berhubungan dengan potensi Indonesia di bidang maritim. Salah satu penunjang untuk dapat mengoptimalkan potensi Indonesia di bidang maritim adalah dengan pengembangan sistem komunikasi bawah air.

Karakteristik kanal bawah air yang tidak ideal menyebabkan distorsi pada komunikasi bawah air. Distorsi pada kanal komunikasi bawah air mengakibatkan terjadinya *Intersymbol Interference (ISI)*, yang jika tidak diatasi dengan baik maka akan menghasilkan *error* dari data yang diterima oleh *receiver*.

Untuk mengatasi permasalahan tersebut, akan dirancang suatu *receiver* yang memiliki ekualiser untuk mengurangi ISI. Dalam kebanyakan sistem telekomunikasi yang menggunakan ekualiser, karakteristik kanal tidak diketahui sebelumnya atau respon dari kanal adalah *time-variant*, sehingga dibutuhkan suatu ekualiser yang dapat bekerja secara dinamis mengikuti perubahan respon dari kanal yang *time-variant*. Teknik seperti ini disebut dengan ekualisasi adaptif.

Dengan menggunakan ekualisasi adaptif maka kita dapat mengurangi terjadinya ISI sehingga kesalahan dari data informasi yang diterima oleh receiver dapat dikurangi.

1.2 Perumusan Masalah

Permasalahan yang dibahas dalam tugas akhir ini adalah :

1. Bagaimana membuat suatu simulasi ekualiser adaptif yang dapat mengurangi BER akibat ISI untuk komunikasi akustik bawah air pada Matlab?
2. Bagaimana cara mengimplementasikan ekualiser adaptif pada DSK TMS320C6416?
3. Bagaimana kinerja ekualiser dalam melakukan proses ekualisasi pada komunikasi bawah air?

1.3 Batasan Masalah

Hal-hal yang akan dilakukan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Pemodelan ekualiser adaptif menggunakan algoritma LMS
2. Pengujian sistem dilakukan dengan menggunakan DSK TMS320C6416
3. Parameter yang digunakan untuk pengujian sistem adalah BER

1.4 Tujuan

Tujuan dari tugas akhir ini adalah untuk :

1. Merancang model sistem ekualiser adaptif yang dapat mengurangi BER akibat ISI untuk sistem komunikasi bawah air
2. Mengetahui kinerja sistem ekualiser adaptif dengan algoritma LMS pada sistem komunikasi bawah air
3. Mengimplementasikan sistem ekualiser adaptif pada sistem komunikasi bawah air

1.5 Metodologi

Metodologi yang digunakan dalam tugas akhir ini terdiri dari beberapa tahap sebagai berikut:

Hal pertama yang dilakukan untuk menyusun tugas akhir ini adalah dengan metode studi literatur yang dilakukan dengan mengumpulkan data dari berbagai buku, paper, dan jurnal yang berkaitan dengan ekualiser adaptif dengan algoritma LMS. Selanjutnya, melakukan persiapan perangkat lunak dan melakukan simulasi dengan menggunakan software matlab simulink.

Tahapan selanjutnya adalah melakukan implementasi sistem menggunakan TMS320C6416. Setelah semua setting selesai dilakukan, selanjutnya dilakukan pengujian apakah simulasi yang telah dibuat dapat berjalan sesuai yang diinginkan dan dapat diambil datanya serta diuji kinerjanya.

Setelah pengujian selesai dilakukan dan semua data pun sudah diperoleh, maka langkah terakhir yang dilakukan adalah analisa data dan kesimpulan.

1.6 Sistematika Pembahasan

Pembahasan dalam tugas akhir ini akan dibagi dalam lima bab dengan sistematika sebagai berikut:

Bab I Pendahuluan

Pada bab ini dijelaskan mengenai latar belakang, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan, metodologi, sistematika pembahasan, dan relevansi.

Bab II Ekualiser , LMS, ISI, DSK TMS320C6416, CCS, Simulink

Pada bab ini dijelaskan mengenai tinjauan pustaka mengenai model teknologi Ekualiser, LMS dan ISI, DSK TMS320C6416, CCS, *Simulink*.

Bab III Pemodelan ekualiser adaptif menggunakan algoritma LMS

Pada bab ini dijelaskan pemodelan ekualiser adaptif menggunakan algoritma *Least Mean Square* dengan menggunakan simulink dan implementasi sistem menggunakan TMS 320C6416

Bab IV Analisis Data dan Pembahasan

Bab ini berisi pengolahan data dari hasil ekualisasi adaptif yang dibangun, dimana data yang didapat dianalisis untuk memudahkan menarik kesimpulan.

Bab V Kesimpulan dan Saran

Pada bab ini berisi kesimpulan dan saran.

1.7 Relevansi

Hasil dari implementasi ekualiser adaptif pada TMS320C6416 yang didapat pada tugas akhir ini diharapkan dapat memberikan perkembangan teknologi untuk komunikasi bawah air.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Sistem Komunikasi Bawah Air

Komunikasi melalui medium air memiliki karakteristik yang sangat berbeda dengan komunikasi pada medium udara secara umum. Gelombang elektromagnetik tidak dapat digunakan di bawah air dikarenakan air menghasilkan redaman yang sangat besar. Sebagai solusi dari hal tersebut digunakanlah gelombang akustik yang memiliki karakteristik dapat merambat dengan jarak yang jauh pada medium air. Medium air sebagai tempat merambatnya sinyal akustik juga memiliki karakteristik yang sangat berbeda dengan medium udara.

Faktor-faktor yang mempengaruhi kecepatan suara di kolom perairan :

1. Suhu

Suhu merupakan salah satu karakter fisik dari air laut yang penting. Di wilayah lintang sedang dan rendah (dekat dengan wilayah tropis), suhu merupakan faktor penting yang mempengaruhi densitas dan kecepatan suara di dalam air. Suhu di daerah tropis pada wilayah permukaan laut berkisar 26-29°C yang dipengaruhi oleh musim.

Pada kondisi perairan laut yang mempunyai suhu berbeda-beda menimbulkan variasi kecepatan suara yang menyebabkan refraksi atau pembelokan perambatan gelombang suara. Perubahan suhu yang sangat cepat pada lapisan termoklin menyebabkan pembelokan gelombang suara yang tajam dan pada lapisan ini bertindak sebagai bidang pantul.

2. Salinitas

Salinitas adalah jumlah zat-zat terlarut dalam 1 kg air laut, dimana semua karbonat telah diubah menjadi oksida, bromide dan iodide diganti oleh klorida dan semua bahan organik telah dioksidasi sempurna. Pada umumnya perairan laut lepas memiliki kadar salinitas 35 psu, yang berarti dalam 1 kg air laut mengandung elemen-elemen kimia terlarut seberat 35 gram. Dimana komposisi air laut tersebut terdiri atas 3,5% elemen-elemen kimia terlarut dan 96,5% kandungan airnya.

3. Lapisan Termoklin

Lapisan termoklin merupakan lapisan yang berada dalam kolom perairan di laut yang dimana pada lapisan ini mengalami perubahan suhu yang drastis dengan lapisan yang berada di atas dan di bawah lapisan termoklin. Di laut, termoklin seperti lapisan yang membagi antara lapisan pencampuran (*mixing layer*) dan lapisan dalam (*deep layer*). Tergantung musim, garis lintang dan pengadukan oleh angin, lapisan ini bersifat semi permanen. Faktor yang menentukan ketebalan lapisan ini di dalam suatu perairan seperti variasi cuaca musiman, lintang, kondisi lingkungan suatu tempat (pasang surut dan arus).

Penurunan suhu berbanding lurus dengan penambahan kedalaman dan salinitas. Pada daerah dimana terjadi penurunan suhu secara cepat inilah dinamakan lapisan termoklin. Di laut terbuka, lapisan ini berkarakter sebagai gradient kecepatan suara negative dimana dapat memantulkan gelombang suara.

4. Kedalaman Perairan

Kedalaman mempengaruhi cepat rambat suara di dalam air laut. Bertambahnya kedalaman, maka kecepatan suara akan bertambah karena adanya tekanan hidrostatik yang semakin besar dengan bertambahnya kedalaman. Rata-rata terjadi peningkatan kecepatan suara sebesar 0,017 m/detik setiap kedalaman bertambah 1 meter.

Permukaan laut merupakan pemantul dan penghambur suara yang mempunyai efek yang sangat besar dalam perambatan suara ketika sumber atau penerima berada di perairan dangkal. Jika permukaan halus sempurna, maka ia akan menjadi pemantul suara yang nyaris sempurna. Sebaliknya jika permukaan laut kasar kehilangan akibat pantulan mendekati nol.

Kecepatan suara diperoleh dengan menggunakan rumus :

$$C = 1449,2 + 4,6T - 0,055T^2 + 0,00029T^3 + (1,34 - 0,010T)(S-35) - 0,016Z \quad (2.1)$$

dengan : C = Kecepatan suara (m/s)

T = Suhu (°C)

S = Salinitas (psu)

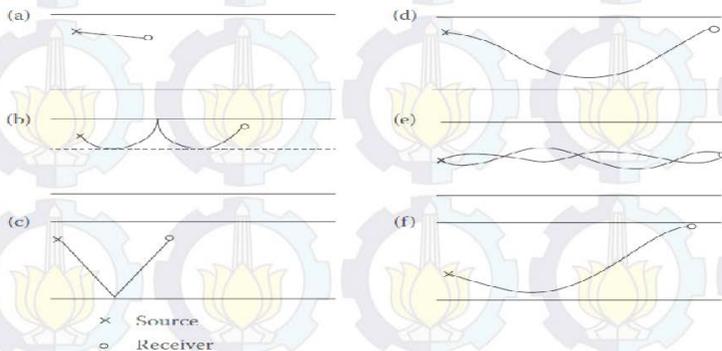
Z = Kedalaman (m)

dengan begitu, dapat dikatakan bahwa kecepatan suara di laut dipengaruhi oleh suhu, salinitas, dan kedalaman laut.

2.1.1 Karakteristik Kanal Bawah Air

Kecepatan suara di dalam air dipengaruhi oleh temperatur air, kepekaan dan tekanan air yang dipengaruhi tingkat kedalaman. Beberapa asumsi digunakan untuk memudahkan penurunan persamaan dasar akustik. Komponen gaya gesek tidak disertakan karena tidak adanya gaya gesek antar partikel, kecepatan fluida diasumsikan sangat kecil bila dibandingkan dengan kecepatan sinyal akustik yang merambat sehingga nilainya dianggap nol. Sinyal suara merambat ke berbagai arah dalam air, terpantulnya sinyal oleh permukaan dan dasar air menyebabkan *multipath*. Berikut ini merupakan *path* yang digunakan bergantung pada karakteristik kecepatan suara pada kolom air laut yang digunakan sebagai saluran transmisi dan posisi relatif penerima terhadap sumber suara.

Path tersebut yaitu *direct path*, *surface duct*, *bottom bounce*, *convergence zone*, *deep sound channel* dan *reliable acoustic path*. Hal ini memungkinkan adanya pemakaian kombinasi dari beberapa *path* dalam teknik propagasi *multipath*.



Gambar 2.1 Path propagasi dasar lautan. a. *Direct Path* (DP) b. *Surface Duct* (SD) c. *Bottom bounce* (BB) d. *Convergence Zone* (CZ) e. *Deep Sound Channel* (DSC) dan f. *Reliable Acoustic path* (RAP)

Direct path (a) merupakan teknik propagasi dimana sinyal bergerak secara langsung dari sumber ke penerima, biasanya pada jarak yang relatif dekat. *Surface duct* (b) adalah teknik dimana sinyal akustik secara bergantian dipantulkan oleh permukaan air laut dan dibiaskan hingga pada kedalaman *Sonic Layer Depth* (SLD). Sementara pada teknik *bottom bounce* (c), sinyal akustik dipantulkan oleh dasar laut untuk menuju ke penerima. Pada *convergence zone* (d), sinyal akustik dibiaskan pada kedalaman tertentu tanpa menyentuh permukaan maupun dasar laut. *Deep sound channel* (e) adalah teknik dimana sinyal akustik dipropagasikan pada kedalaman dimana kecepatan suaranya minimum sehingga air laut memiliki sifat seperti lensa dan dapat membiaskan sinyal. Sedangkan RAP atau *Reliable Acoustic Path* (f) adalah cara dimana sumber diletakkan pada kedalaman kritis.

2.1.2 Karakteristik Jaringan Sensor Nirkabel Bawah Air

Potensi dari jaringan sensor nirkabel bawah air dan variasi dari aplikasi baru yang tersedia dapat memotivasi pembangunan dari teknnik komunikasi bawah air. Karena banyaknya perbedaan karakteristik dari komunikasi bawah air membutuhkan banyak paradigma untuk ditinjau kembali. Tantangan utama untuk desain jaringan komunikasi bawah air adalah:

1. Bandwidth yang tersedia terbatas
2. Delay propagasi pada bawah air lima kali lebih besar dibandingkan kanal terrestrial RF
3. Kanal bawah air sering kali melemahkan, adanya multipath
4. Bit Error Rate yang tinggi dan kehilangan koneksi yang temporer bisa dialami karena karakteristik dari kanal bawah air

Karakteristik propagasi dari air mengindikasikan bahwa gelombang elektromagnetik terpropagasi sepanjang jarak yang jauh lewat air laut konduktif hanya pada frekuensi yang sangat rendah yaitu 30-300Hz. Karakteristik dari jaringan sensor nirkabel bawah air adalah: pertama, sensor bawah air merupakan alat yang mahal. Hal tersebut dikarenakan kompleksnya penerima bawah air dan proteksi untuk perangkat keras diperlukan pada lingkungan bawah air yang ekstrim.

Kedua, daya yang dibutuhkan untuk komunikasi akustik bawah air lebih besar dibandingkan komunikasi radio karena jarak yang lebih jauh dan proses sinyal yang lebih kompleks.

2.2. Modulasi *Binary Phase Shift Keying* (BPSK)

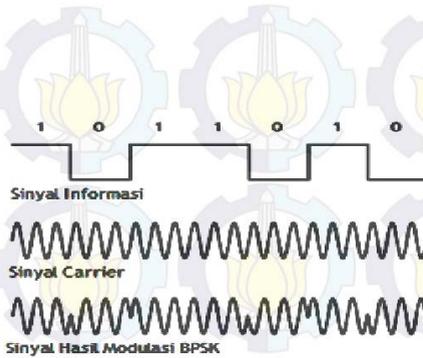
Pada saat proses modulasi terdapat modulator dan demodulator. Modulasi digital berguna untuk memetakan deretan informasi biner menjadi bentuk sinyal gelombang yang nantinya dikirim melalui kanal. Pada modulasi biner, modulator digital secara sederhana memetakan digit biner '0' menjadi $S_0(t)$ dan digit biner '1' menjadi $S_1(t)$. Demodulator sinyal yang terdapat pada sisi penerima bertugas untuk memproses sinyal yang telah rusak karena proses di kanal dengan mempresentasikannya menjadi beberapa estimasi simbol data sesuai yang dikirimkan.

Teknik modulasi *Binary Phase Shift Keying* memiliki 2 simbol yang saling antipodal, sehingga data biner yang terdiri dari '0' setelah dimodulasi akan menjadi simbol '-1' dan bit '1' menjadi simbol '1'. Apabila ditinjau dari fasenya maka modulasi BPSK memiliki fase '0°' dan '180°'.

Tabel 2.1 Pemetaan bit simbol ke BPSK

t	I	Q
0	-1	0
1	1	0

Untuk Sinyal keluaran modulasi BPSK yang dimodelkan dalam gambar 2.2 adalah 2 jenis sinyal yaitu $s_0(t)$ dan $s_1(t)$ yang merepresentasikan bit sinyal informasi.



Gambar 2.2 Modulasi BPSK

Sinyal yang dihasilkan modulasi BPSK yang dikirimkan dapat terkena noise $n(t)$ yang bersifat menambahkan, sehingga persamaannya sebagai berikut.

$$r(t) = s_i(t) + n(t) \quad (2.2)$$

Dalam pengiriman bit yang dimodulasi, dibagian penerima bisa terjadi kesalahan yang dapat dinyatakan dalam probabilitas error P_e . Untuk modulasi BPSK ini, probabilitas error-nya dinyatakan dalam rumus berikut.

$$P_e = Q\left(\sqrt{\frac{2E_b}{N_0}}\right) \quad (2.3)$$

Dimana nilai E_b/N_0 bisa dicari melalui rumus berikut.

$$\frac{E_b}{N_0} = \frac{S}{N} \frac{W}{R} \quad (2.4)$$

S merupakan daya sinyal, sedangkan N adalah daya noise yang terukur. Untuk variabel W dan R masing-masing adalah *bandwidth* dan laju bit yang digunakan. Jika daya sinyal dan noise yang terukur dalam satuan tegangan, nilai S/N atau SNR (Signal to Noise Ratio) bisa diperoleh dengan rumus berikut.

$$SNR = 20 \log_{10} \frac{V_{rms\,Sinyal}}{V_{rms\,Noise}} \quad (2.5)$$

Pada dasarnya nilai error atau biasa disebut BER (*Bit Error Rate*) dapat dihitung dengan membandingkan jumlah kesalahan bit yang diterima dengan jumlah bit yang dikirim. Semakin kecil nilai BER maka semakin bagus sistem komunikasi tersebut, dan sebaliknya. Nilai BER dipengaruhi oleh noise, distorsi, interferensi, dan kesalahan dalam deteksi bit.

2.3. Ekuwaliser [1]

Ekuwaliser merupakan struktur yang digunakan untuk mengurangi ISI dan saluran distorsi pada sinyal yang diterima. Dalam sistem komunikasi, ekuwaliser berguna untuk memberikan respon frekuensi. Saat kanal sudah diekuwalisasi, frekuensi domain dari sinyal input dibuat ulang pada output. Ekuwaliser dapat menguatkan atau melemahkan daya dari band frekuensi yang spesifik.

Ekuwaliser memiliki beberapa jenis, diantaranya adalah:

1. *Maximum Likelihood (ML) Sequence Detection*, ekuwaliser jenis ini melakukan kinerjanya dengan optimal namun tidak ada dalam praktik.
2. *Linear Equalizer*, ekuwaliser ini mempunyai kinerja yang kurang optimal namun sederhana.
3. *Non-Linear Equalizer*, ekuwaliser jenis ini dapat digunakan untuk mengatasi berbagai jenis ISI

Karakteristik Kanal pada komunikasi akustik bawah air tidak dapat ditentukan dengan tepat sebelumnya. Karakteristik kanal akustik bawah air akan berubah mengikuti jalur kanal yang dilewati, sehingga dibutuhkan ekuwaliser adaptif yang dapat mengikuti secara dinamis karakteristik dari kanal akustik tersebut. Salah satu teknik ekuwaliser adaptif dapat dengan menggunakan metode dengan algoritma *Least Mean Square* (LMS).

Suatu algoritma *filter* adaptif memerlukan informasi mengenai respon sinyal yang diinginkan $d(n)$, untuk menghitung sinyal kesalahan. Sinyal kesalahan tersebut diperlukan agar proses adaptif dapat berjalan. Pada *equalizer* adaptif terdapat dua metode yang digunakan untuk membangkitkan sinyal kesalahan, yaitu :

1. Metode *Training*
Metode ini digunakan pada saat pemancar dan penerima pertama kali menetapkan suatu hubungan. Selama fase ini, pemancar mengirimkan suatu deretan informasi pseudorandom yang telah

diketahui oleh penerima. Dengan adanya informasi mengenai $d(n)$ maka kesalahan informasi dapat ditentukan.

2. Metode *Decision-directed*

Metode ini digunakan setelah penetapan hubungan pertama kali antara pemancar dan penerima. Pada fase ini, penerima tidak mempunyai lagi informasi mengenai data yang dikirim oleh pemancar. Dengan asumsi tidak ada terjadi kesalahan pada komponen *decision device* sehingga $d(n) = y(n)$.

2.4. ***Least Mean Square (LMS) [4]***

Algoritma adaptif yang paling banyak digunakan adalah algoritma *Least Mean Square*. Sistem adaptif adalah sistem yang dibuat untuk mengatasi gangguan yang berasal dari sumber yang tidak tetap atau berubah – ubah dengan menyesuaikan diri terhadap perubahan tersebut.

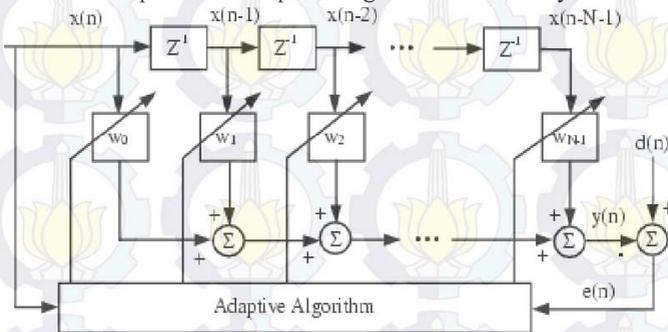
Algoritma LMS merupakan suatu sistem kontrol yang terdiri atas gabungan dua proses dasar, yaitu:

→ Proses Adaptif

Proses ini merupakan proses pengaturan secara adaptif konstanta konstanta pengali tiap tahap dari *filter* adaptif.

→ Proses Pemfilteran

Terdiri atas proses perkalian antara input-input tiap tahap dengan konstanta-konstanta pengali tiap tahap yang bersesuaian untuk mendapatkan suatu nilai perkiraan respon yang diinginkan serta proses pembangkitan suatu nilai *error* sebagai hasil dari selisih antara nilai perkiraan respon dengan nilai sebenarnya.



Gambar 2.3 Struktur *filter* transversal linier

Filter transversal linier (Filter FIR) merupakan komponen penting dalam struktur dasar algoritma LMS yang berfungsi untuk melaksanakan proses pemfilteran serta suatu mekanisme kontrol yang berfungsi sebagai pelaksana proses pengaturan secara adaptif terhadap konstanta-konstanta pengali pertahap dari *filter transversal*.

Filter transversal linier terdiri atas gabungan dari tiga operasi dasar, yaitu

1. Operasi penundaan, yang dinyatakan dalam $M - 1$ unit *delay* dalam struktur *filter* serta dinotasikan sebagai blok berlabel Z^{-1} . Operasi penundaan ini berfungsi untuk menunda input *filter* sebesar satu sampling untuk menghasilkan input-input *filter* per-tahap. Input-input *filter* per-tahap dinyatakan sebagai $x(n), x(n-1), \dots, x(n-N-1)$.
2. Operasi perkalian, yang menyatakan perkalian antara input-input *filter* per-tahap, $x(n), x(n-1), \dots, x(n-N-1)$ dengan konstanta-konstanta pengali per-tahap yang bersesuaian. Konstanta-konstanta pengali per-tahap dari *filter* transversal linier dinyatakan sebagai w_0, w_1, \dots, w_{N-1} .
3. Operasi penambahan, yang berfungsi untuk menjumlahkan keluaran-keluaran dari operasi perkalian sehingga akan diperoleh keluaran dari *filter*.

Keluaran dari *filter* transversal merupakan nilai perkiraan dari respon yang diinginkan $d(n)$. Selama proses pemfilteran diperlukan informasi mengenai respon sistem yang diinginkan $d(n)$, yang digunakan untuk mendapatkan nilai kesalahan $e(n)$. Nilai kesalahan didefinisikan sebagai selisih antara respon yang diinginkan $d(n)$ dengan output dari *filter* $y(n)$.

Variabel yang amat penting dalam kestabilan (konvergensi) pada algoritma LMS yaitu parameter *step-size* (μ). μ berfungsi untuk mengontrol ukuran kenaikan nilai korelasi pada vector konstanta – konstanta pengali per – tahap.

Algoritma LMS meliputi tiga perhitungan dasar, yaitu:

- Perhitungan keluaran filter

$$y(n) = \mathbf{w}^H(n) \cdot \mathbf{x}(n) \quad (2.6)$$

- Perhitungan nilai kesalahan

$$e(n) = d(n) - y(n) \quad (2.7)$$

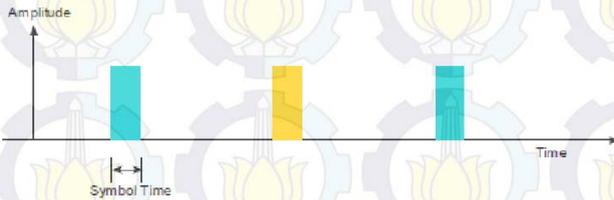
- Perhitungan konstanta – konstanta pengali secara adaptif

$$w(n+1) = w(n) + \mu \cdot x(n) \cdot e(n) \quad (2.8)$$

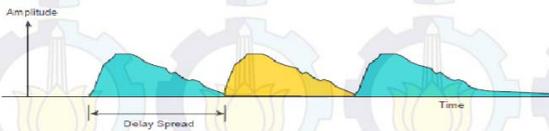
Dimana $w^H(n)$, $x(n)$ merupakan perkalian antara vector konstanta – konstanta pengali per – tahap $w(n)$ dan vektor input per tahap $x(n)$. Selama proses pemfilteran diperlukan informasi mengenai respon sistem yang diinginkan $d(n)$, yang digunakan untuk mendapatkan nilai kesalahan $e(n)$. μ merupakan parameter *step-size* atau konstanta adaptif yang berfungsi untuk mengontrol ukuran kenaikan nilai korelasi pada vector konstanta – konstanta pengali per tahap pada satu siklus iterasi ke siklus iterasi berikutnya.

2.5. Intersymbol Interference (ISI) [1]

Dalam telekomunikasi, gangguan *Intersymbol Interference* (ISI) merupakan bentuk distorsi sinyal dimana suatu simbol mengganggu simbol berikutnya. Salah satu penyebab gangguan ISI adalah propagasi multipath dimana sinyal nirkabel dari pemancar mencapai penerima melalui banyak jalur yang berbeda. Ini berarti bahwa sebagian atau seluruh simbol tertentu akan menyebar ke simbol berikutnya, sehingga mengganggu deteksi yang benar dari simbol – simbol.



Gambar 2.4 Data yang dikirim

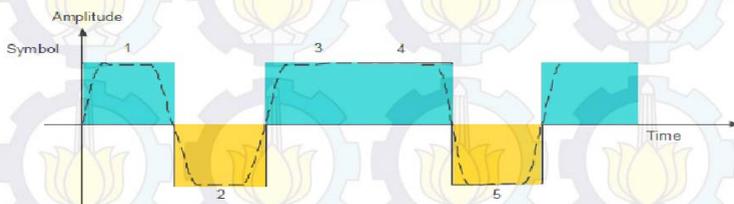


Gambar 2.5 Data yang diterima

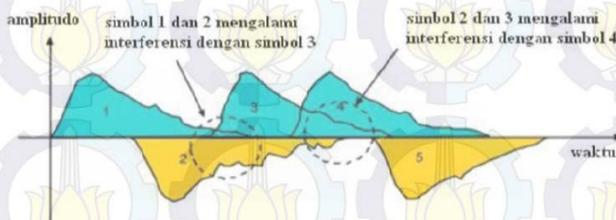
Selain karena propagasi multipath, ISI juga dapat terjadi akibat adanya efek pemfilteran atau frekuensi fading. Pemfilteran kanal

dilakukan agar dapat membatasi *bandwidth* pada sinyal informasi yang memiliki jumlah *bandwidth* yang tidak terbatas, sehingga untuk kanal yang ideal akan mengalami sinyal *bandwidth* dan bebas dari ISI. Namun jika kanal yang tidak ideal akan berpengaruh pada amplitudo dan phase yang disebabkan karena pemfilteran kanal tersebut. Hal ini yang akan menyebabkan terjadinya ISI.

Gambar 2.6 menunjukkan deretan data 101101 yang akan dikirimkan. Deretan sinyal ini berbentuk pulsa kotak karena pulsa kotak cocok untuk digunakan sebagai simulasi, akan tetapi pada pengimplementasiannya sulit dibuat dan membutuhkan *bandwidth* yang besar. Oleh karena itu dibentuk sinyal garis titik-titik.



Gambar 2.6 Deretan pulsa 101101 yang dikirim



Gambar 2.7 Peluberan Simbol

ISI dapat dihilangkan dengan memberikan filter ekuwaliser pada sisi penerima. Selain gangguan yang berupa ISI gangguan lainnya yang biasa terjadi adalah noise. Gambar 2.7 menunjukkan sinyal yang dikirimkan mengalami banyak peristiwa pada kanal yang mengakibatkan sinyal tersebut tercampur dengan noise dan mengalami ISI sehingga pada saat diterima, simbol – simbol melebar dan mengganggu simbol yang lain.

2.6. Raised Cosine

Untuk mendapatkan bentuk pulsa sinyal informasi pada sisi penerima, yang memenuhi kriteria karakteristik spectrum frekuensi *raised cosine*, maka digunakan suatu *filter* pembentuk pulsa *raised cosine*.

Filter pembentuk *raised cosine* berfungsi untuk mengubah bentuk sinyal informasi yang berupa pulsa persegi menjadi bentuk pulsa *raised cosine*. Hal ini dikarenakan bentuk pulsa informasi persegi mempunyai spektrum frekuensi yang lebar pada domain frekuensi.

Dalam sistem transmisi baseband, pembatasan *bandwidth* dari sinyal informasi yang dikirimkan adalah sangat penting, sehingga dengan mengubah bentuk pulsa informasi persegi menjadi bentuk pulsa *raised cosine* maka *bandwidth* dari sinyal dapat dibatasi dalam range $\frac{1}{2} T_b$ sampai dengan $\frac{1}{T_b}$, dimana T_b merupakan durasi bit informasi. Pengiriman sinyal informasi dengan *bandwidth* yang terbatas dapat menekan terjadinya interferensi antar simbol (ISI).

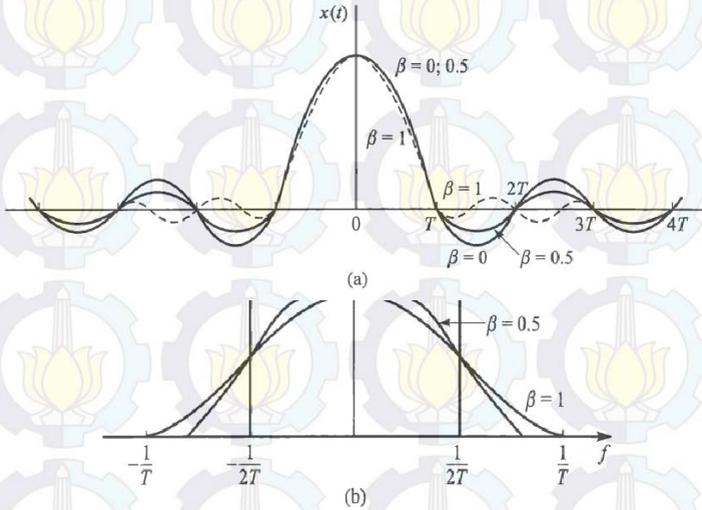
Karakteristik respon frekuensi dari *filter raised cosine* dinyatakan dalam persamaan (2.8) sebagai berikut

$$H(f) = \begin{cases} T, & ; (0 \leq |f| \leq \frac{1-\beta}{2T}) \\ \frac{T}{2} \left\{ 1 + \cos \left[\frac{\pi T}{\beta} \left(|f| - \frac{1-\beta}{2T} \right) \right] \right\}, & ; \left(\frac{1-\beta}{2T} \leq |f| \leq \frac{1+\beta}{2T} \right) \\ 0, & ; (|f| > \frac{1+\beta}{2T}) \end{cases} \quad (2.9)$$

Dengan β merupakan faktor *rolloff* dengan nilai $0 \leq \beta \leq 1$, T merupakan periode *sampling* yang nilainya sama dengan T_b . Faktor *rolloff* menentukan seberapa besar *bandwidth* dari sinyal yang melebihi frekuensi *Nyquist* $\frac{1}{2} T_b$.

Respon implus $h(t)$ dari *filter raised cosine* dinyatakan dalam persamaan :

$$h(t) = \frac{\sin\left(\frac{\pi t}{T}\right)}{\frac{\pi t}{T}} \cdot \frac{\cos\left(\frac{\pi\beta t}{T}\right)}{1 - 4\beta^2 t^2} = \text{sinc} \cdot \frac{\cos\left(\frac{\pi\beta t}{T}\right)}{1 - 4\beta^2 t^2} \quad (2.10)$$



Gambar 2.8 Karakteristik pulsa *raisedcosine*

Pada Gambar 2.8 terlihat bahwa :

Bandwidth yang digunakan oleh spektrum *pulsa raised cosine* adalah $B = \frac{1}{2}T_b + \beta$. Nilai minimum dari β adalah $\frac{1}{2}T_b$ dan maksimum $\frac{1}{T_b}$.

Semakin besar nilai β maka *bandwidth* yang digunakan akan semakin besar. Namun β yang besar menyebabkan penurunan bentuk pulsa menuju titik nol semakin cepat, yang berarti jumlah interferensi antar simbol dapat semakin ditekan.

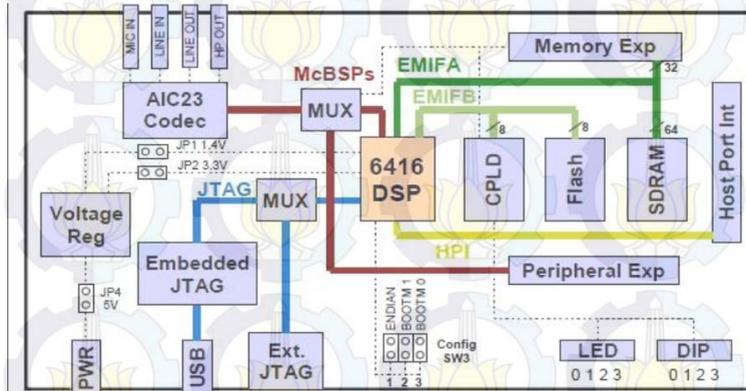
2.7. DSP Starter Kit (DSK) TMS320C6416 [5]

DSP merupakan singkatan dari Digital Signal Processing yang dapat diartikan sebagai device pemrosesan sinyal digital. DSP merupakan suatu rangkaian terintegrasi sejenis *microprocessor* yang

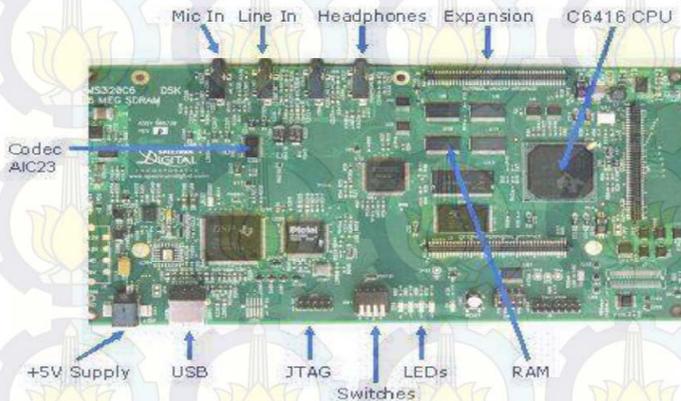
dirancang khusus untuk melakukan pemrosesan data diskrit dengan kecepatan tinggi seperti *filtering*, *fast fourier transform*, dan lain-lain. DSK TMS320C6416 adalah prosesor sinyal digital fixed point sebagai *Application Specific Integrated Circuits* yang termasuk dalam keluarga besar prosesor TMS320 produksi Texas Instrument. Terdapat empat konektor pada DSK untuk input dan output :

- MIC IN untuk input dari *microphone*.
- LINE IN untuk input dari function generator,
- LINE OUT untuk output , dan
- HEADPHONE untuk output pada *headphone*.

Beberapa kegunaan perangkat DSP yaitu dapat diaplikasikan sebagai pengolahan sinyal suara, pengolahan Gambar, dan pengolahan sinyal lainnya. Perangkat DSP dapat melakukan berbagai proses yang diperlukan karena DSP dapat diprogram untuk aplikasi-aplikasi yang berbeda sesuai kebutuhannya. Adapun salah satu keunggulan DSP yaitu DSP sangat sedikit terpengaruh oleh perubahan kondisi lingkungan sekitar, seperti suhu.



Gambar 2.9 Blok Diagram DSK TMS320C6416



Gambar 2.10 Tampak atas DSK TMS320C6416

Berikut merupakan fungsi dari komponen yang terdapat pada DSK

- **Prosesor TMS320C6416**
Merupakan prosesor dengan kecepatan clock 1GHz yang mendukung operasi fixed-point
- **CPLD (*Complex Programmable Logic Device*)**
CPLD berisi register-register yang berfungsi untuk mengatur fitur-fitur yang ada pada board. Pada DSK C6416, terdapat 4 jenis register CPLD.
 - USER_REG Register
Mengatur switch dan LED sesuai yang diinginkan user.
 - DC_REG Register
Memonitor dan mengontrol daughter card.
 - VERSION Register
Indikasi yang berhubungan dengan versi board dan CPLD.
 - MISC Register
Untuk mengatur fungsi lainnya pada board.
- **Flash Memory**
DSK menggunakan memori flash yang berfungsi untuk booting. Dalam flash ini berisi sebuah program kecil yang disebut POST (*Power On Self Test*). Program ini berjalan saat DSK pertama kali dinyalakan. Program POST akan memeriksa fungsi-fungsi dasar

board seperti koneksi USB, audio codec, LED, switches, dan sebagainya.

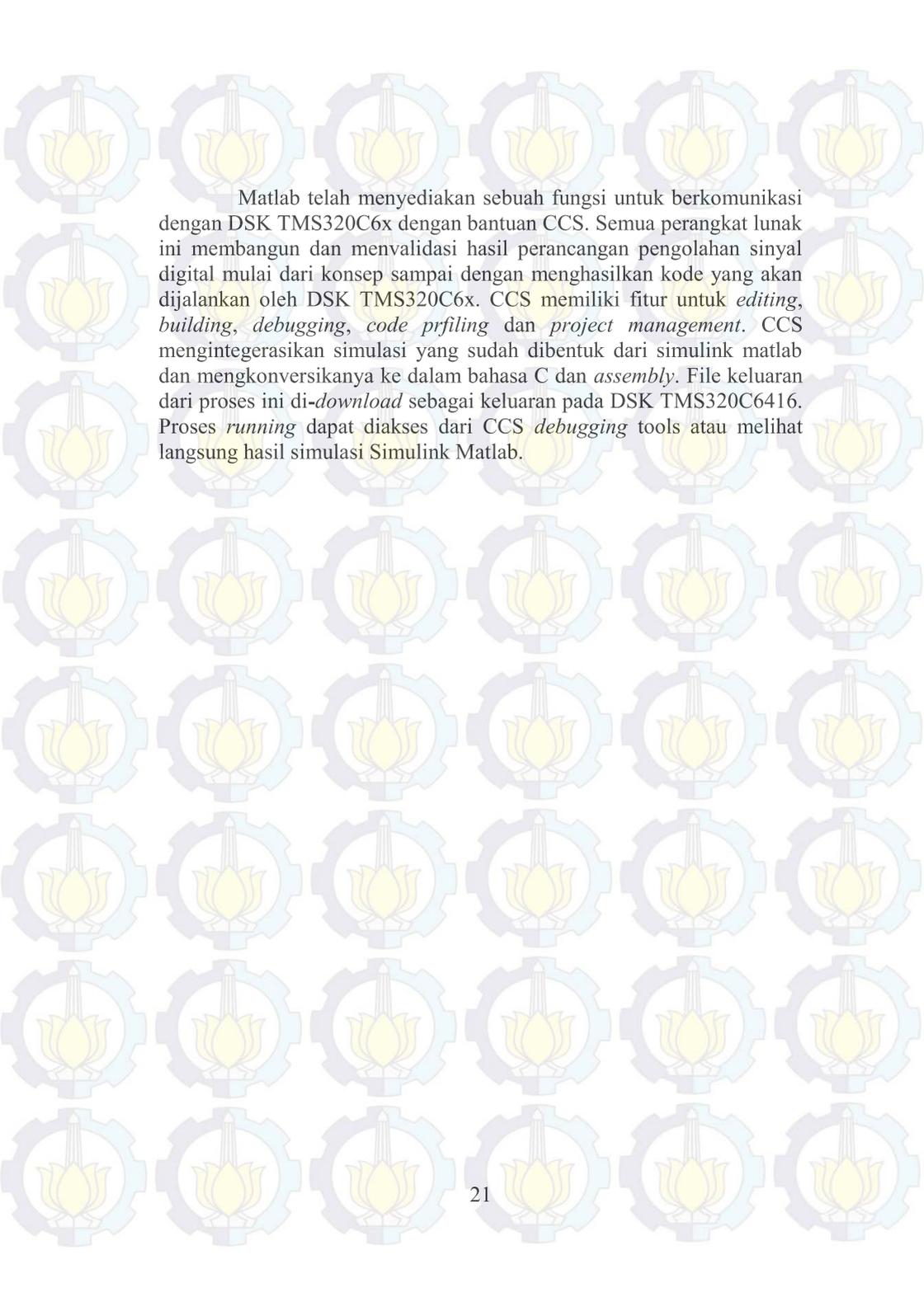
- **SDRAM**
Memori utama yang berfungsi sebagai tempat penyimpanan instruksi maupun data.
- **AIC23 Codec**
Berfungsi sebagai ADC maupun DAC bagi sinyal yang masuk ke board.
- **Daughter card interface**
Konektor-konektor tambahan yang berguna untuk mengembangkan aplikasi-aplikasi pada board. Terdapat 3 konektor, yaitu *memori expansion*, *peripheral expansion*, dan *Host Port Interface*.
- **LED dan Switches**
LED dan switches ini merupakan fitur yang dapat membantu dalam membangun aplikasi karena dapat diprogram sesuai keinginan user.

2.8. Code Composer Studio

CCS (*Code Composer Studio*) adalah penyedia sebuah *Integrated Development Enviroment* (IDE) untuk menggabungkan peralatan pada software. Peralatan tersebut antara lain C compiler, sebuah assembler, dan sebuah linker. C compiler merubah c source program dengan .c untuk menghasilkan sebuah assembly source dengan ekstensi .asm. Assembler mengumpulkan file dengan .asm untuk menghasilkan bahasa mesin file object dengan ekstensi .obj. Sedangkan linker menyatukan file object dan object libraries sebagai input untuk menghasilkan sebuah file ekstensi dengan ekstensi .out

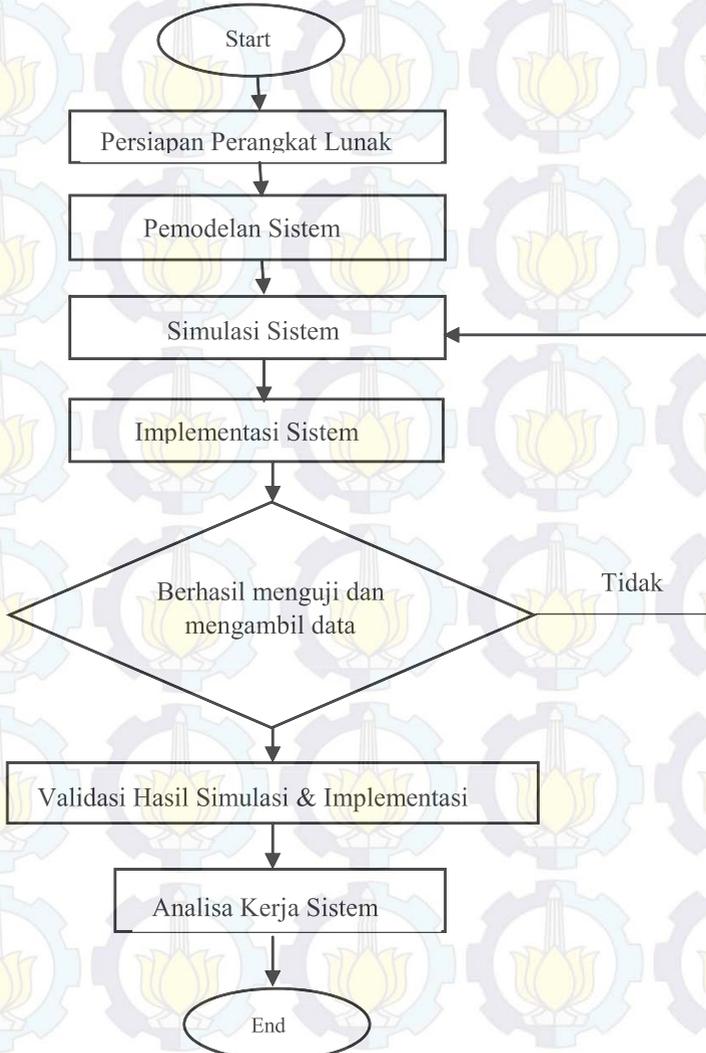


Gambar 2.11 Tampilan Code Composer Studio v3.1



Matlab telah menyediakan sebuah fungsi untuk berkomunikasi dengan DSK TMS320C6x dengan bantuan CCS. Semua perangkat lunak ini membangun dan memvalidasi hasil perancangan pengolahan sinyal digital mulai dari konsep sampai dengan menghasilkan kode yang akan dijalankan oleh DSK TMS320C6x. CCS memiliki fitur untuk *editing*, *building*, *debugging*, *code profiling* dan *project management*. CCS mengintegrasikan simulasi yang sudah dibentuk dari simulink matlab dan mengkonversikanya ke dalam bahasa C dan *assembly*. File keluaran dari proses ini di-*download* sebagai keluaran pada DSK TMS320C6416. Proses *running* dapat diakses dari CCS *debugging* tools atau melihat langsung hasil simulasi Simulink Matlab.

BAB III PERANCANGAN SISTEM



Gambar 3.1 Skema Metodologi

Pada bab ini akan dijelaskan mengenai gambaran sistem yang akan diteliti dan diuji secara umum meliputi perangkat lunak (software), simulasi sistem, proses implementasi sistem, dan metode pengujian yang digunakan. Untuk memudahkan, berikut gambar skema metodologi yang digunakan dalam tugas akhir ini.

3.1. Persiapan Perangkat Lunak

Teknologi *Software Defined Radio* tak lepas dari penggunaan perangkat lunak untuk memprogram perangkat yang digunakan. Adapun perangkat lunak yang digunakan adalah matlab versi R2007a dan *Code Composer Studio* (CCS) versi 3.1. Semua perangkat lunak ini berjalan pada Operating System Windows XP. Pada bagian ini akan dijelaskan mengenai instalasi CCS versi 3.1 diperoleh dalam bentuk CD ketika pembelian DSK TMS320C6416T.

3.1.1 Integrasi Simulink Matlab dengan CCS v3.1

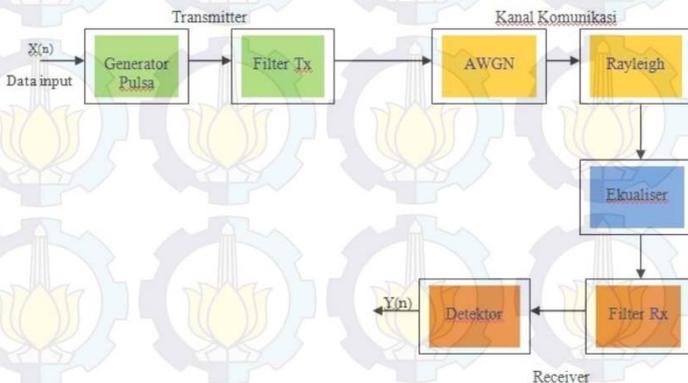
Selanjutnya adalah melakukan integrasi Simulink dengan CCS v.3.1 sehingga nantinya blok sistem modulasi dan demodulasi yang sudah dibuat di *Simulink* dapat diimplementasikan ke dalam DSK TMS320C6416T. Karena *software* CCS v.3.1 hanya dapat terintegrasi dengan Matlab versi 2007a kebawah maka pada tugas akhir ini digunakan Matlab versi R2007a . Untuk dapat *build* sistem ke dalam *DSK board* diperlukan beberapa pengaturan konfigurasi yang dapat diakses pada menu *simulation* kemudian dipilih *Configuration Parameter*. Beberapa parameter yang harus diatur sebagai berikut:

1. Pada *Real Time Workshop*, *System target file* pada *Target selection* diubah menjadi *ccslink_grt.tlc*. Hal ini bertujuan untuk menghubungkan antara *Simulink* dengan CCS
2. Bagian *Link for CCS*, untuk bagian *Project options*, ubah *system stack size* menjadi 8192 bytes. Nilai ini disesuaikan dengan maksimum *stack size* pada *DSK board*.
3. Pada bagian *Debug*, tandai pilihan *Verbose Build Mode* untuk menampilkan proses pembentukan kode-kode dari *file Simulink* untuk memprogram DSK yang ditampilkan pada *Matlab Command Windows*.
4. Bagian *Optimization*, pada *Simulation and code generation*, dapat dilihat *block reduction* dan implement *logic signal as Boolean* lalu hilangkan tanda centang pada kedua blok tersebut.

5. Pada bagian *Solver*, pilih *Type: Fixed Step* dan *Solver: discrete (no continuous states)* agar sistem bekerja secara diskrit.

Untuk mengimplementasikan sistem yang sudah dibuat di *Simulink* ke dalam *DSK TMS320C6416T* klik *toolbar "incremental build"* pada *Simulink*. Jika tidak terjadi *error*, secara otomatis *Simulink* akan membangkitkan kode-kode program dan terhubung ke *Code Composer Studio v.3.1* untuk mengubah *file simulink* menjadi *file project CCS (*.pjt)* yang dimuat ke dalam *DSK TMS320C6416T*.

3.2. Pemodelan Sistem



Gambar 3.2 Model umum sistem komunikasi bawah air dengan ekuwaliser

Sebelum melakukan implementasi sistem, terlebih dahulu dilakukan pemodelan sistem yang bertujuan untuk mempermudah dalam proses simulasi sistem secara keseluruhan. Pertama, yaitu dengan membangkitkan data informasi berupa biner ‘0’ dan ‘1’ yang nantinya akan diubah menjadi pulsa sinyal melalui proses modulasi yang digunakan. Setelah dilakukan modulasi, dilakukan pembatasan *bandwidth* sinyal informasi yang diproses oleh *filter* pemancar lalu ditransmisikan.

Pada saat data informasi ini ditransmisikan, data informasi ini akan mengalami *multipath propagation*, yang akan menyebabkan

informasi yang akan dikirim mengalami perbedaan waktu dan menyebabkan terjadinya ISI pada hasil keluaran kanal. Selain mengalami *multipath propagation*, data informasi juga akan mengalami gangguan lain yang berupa kanal AWGN.

Teknik ekualiser adaptif ini menggunakan metode dengan algoritma *Least Mean Square* (LMS). Filter adaptif adalah sebuah filter yang memiliki koefisien yang dapat disesuaikan menggunakan algoritma adaptif untuk membuat respon *filter* yang optimal sesuai dengan kriteria kinerja yang diberikan. Kriteria dari kinerja ekualiser adaptif ini adalah dengan mendeteksi sinyal yang tidak diinginkan. Sehingga sinyal yang mengalami ISI dapat dikurangi oleh Ekualiser.

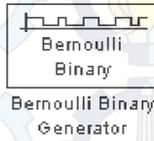
3.3. Simulasi Sistem

Secara umum, terdapat 4 proses yang dilakukan pada simulasi ini yaitu modulasi, demodulasi, *Algoritma LMS* dan Perhitungan BER. Berikut penjelasan singkat dari proses tersebut :

1. Modulasi, sistem ini melakukan penggeseran frekuensi sinyal info sesuai dengan frekuensi pada sinyal pembawa.
2. Demodulasi, proses ini merupakan kebalikan dari proses modulasi yaitu untuk memisahkan sinyal info dan sinyal pemodulasinya. Sinyal hasil modulasi dikalikan kembali dengan gelombang *cosinus* dan *sinus* untuk mendapatkan kembali sinyal infonya.
3. Algoritma *Least Mean Square* (LMS) sistem ini meliputi koefisien disesuaikan dengan cara algoritma adaptif untuk membuat respon *filter* yang optimal sesuai dengan kriteria kinerja yang diberikan.
4. Perhitungan BER, sistem ini digunakan untuk melakukan perhitungan nilai BER dengan cara mengubah variasi nilai E_b/N_0 pada kanal AWGN dan menyesuaikan *delay* untuk sinkronisasi data awal yang dikirim dengan data awal pada proses deteksi.

3.3.1 Data Informasi

Data informasi yang dibangkitkan pada sistem ini menggunakan blok *Bernoulli Binary generator* yang berupa data acak biner (bit 1 atau bit 0) yang saling bebas dengan peluang kemunculan yang sama. Jumlah data informasi acak yang dibangkitkan adalah 1000 bit. Pengacakan bit 0 dan 1 berdasarkan *Initial seed*.



Gambar 3.3 Bernoulli binary generator

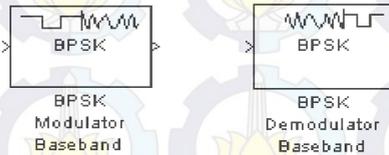
Pengaturan parameter pada blok *bernoulli binary generator* :

- Probability of a zero : 0.5
(probabilitas munculnya nilai 0 dan 1 sama, yaitu 0.5)
- *Initial seed* : 61
(*initial seed* adalah nilai acak yang dihasilkan generator)
- *Sample time* : 1/1000
(*setting* laju bit yang digunakan)
- *Output data type* : double

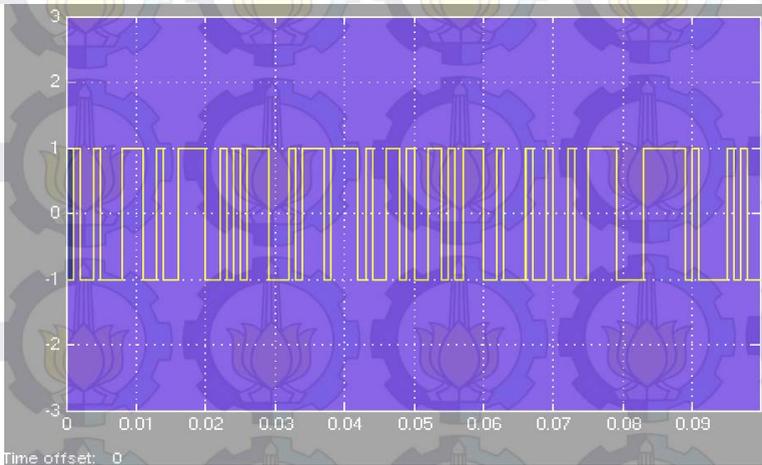
3.3.2 Sistem Modulasi dan Demodulasi BPSK

Data informasi yang berbentuk biner tersebut diubah menjadi bentuk pulsa-pulsa sinyal informasi dengan amplitudo tegangan tertentu. Bentuk sinyal informasi yang digunakan dalam simulasi adalah polar *Non Return to Zero* (NRZ) dengan tegangan ± 1 volt sesuai dengan data informasi bit 1 atau 0 yang dibawanya. Untuk mendapatkan informasi NRZ maka digunakan sistem modulasi *Binary Phase Shift Keying* (BPSK) yang dinyatakan dalam representasi baseband.

Phase Shift Keying adalah modulasi sudut yang diterapkan pada sinyal informasi digital. Sinyal keluaran pada modulasi ini mempunyai karakteristik yaitu: fase berubah-ubah tetapi nilai amplitudo tetap konstan. Modulasi digital ini dibedakan berdasarkan jumlah informasi bit yang akan memodulasi sinyal *carrier*. Jika setiap sinyal *carrier* terdapat satu bit (satu simbol terdapat satu bit) dinamakan BPSK



Gambar 3.4 Blok modulator dan demodulator BPSK baseband



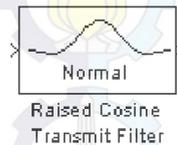
Gambar 3.5 Bentuk Sinyal Baseband BPSK

$$S_0(t) = A \cos(\omega t) \rightarrow \text{menunjukkan "0"} \quad (3.1)$$

$$S_1(t) = A \cos(\omega t + \pi) \rightarrow \text{menunjukkan "1"} \quad (3.2)$$

3.3.3 Filter Pembentuk Raised Cosine

Untuk mendapatkan bentuk pulsa sinyal informasi pada sisi penerima, yang memenuhi kriteria karakteristik spectrum frekuensi *raised cosine*, maka digunakan suatu *filter* pembentuk pulsa *raised cosine*. *Filter* pembentuk *raised cosine* berfungsi untuk mengubah bentuk sinyal informasi yang berupa pulsa persegi menjadi bentuk pulsa *raised cosine*. Hal ini dikarenakan bentuk pulsa informasi persegi mempunyai spektrum frekuensi yang lebar pada domain frekuensi.



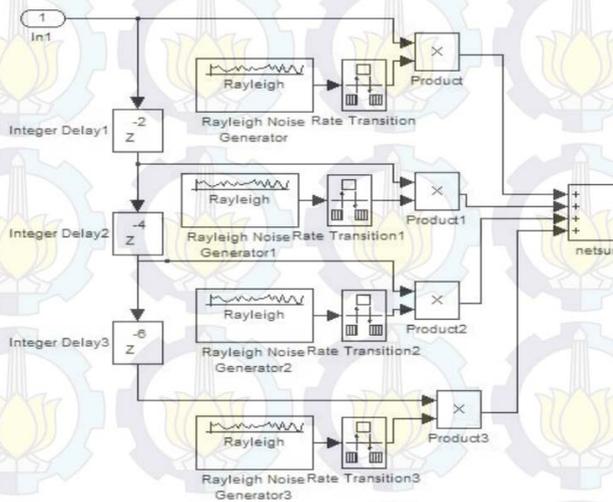
Gambar 3.6 *Raised Cosine* transmit filter

- Filter type : Normal
- Group delay : 2
- Rolloff factor : 0,5

- Input sampling mode : sample-based
- Upsampling factor (N) : 8
- Filter gain : Normalized

3.3.4 Pemodelan Kanal Komunikasi

Pada simulasi ini digunakan pemodelan kanal *multipath rayleigh fading* dengan kanal AWGN dan juga pemodelan kanal hanya dengan AWGN saja. Pemodelan kanal *Rayleigh fading* dengan 4 lintasan merupakan kanal komunikasi yang tidak ideal yang nantinya dapat menyebabkan terjadinya ISI dan berpengaruh terhadap kesalahan *error* dari data informasi yang diterima oleh penerima jika dibandingkan dengan data informasi asal yang dikirim. Untuk nilai parameter yang digunakan adalah dengan menginputkan nilai parameter dari kanal SUI. Pada pemodelan, kanal diasumsikan memiliki 4 jalur yang masing-masing memiliki *delay* tersendiri. Lintasan pertama merupakan *direct path* sehingga mempunyai *delay* 0, lintasan kedua mempunyai *delay* sebesar 2 mikrodetik, dan lintasan ketiga akan mengalami *delay* sebesar 6 mikrodetik (6 sampel), hal ini dikarenakan lintasan kedua mengalami *delay* sebesar 2 mikrodetik (2 sampel) sehingga pada saat jalur ketiga diberikan *delay* sebesar 4 mikrodetik maka akan terjadi penjumlahan pada kedua jalur ini. Pada jalur keempat mengalami *delay* 12 detik.



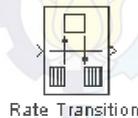
Gambar 3.7 Pemodelan kanal *multipath rayleigh fading*

Pengaturan parameter *Rayleigh noise generator*:

1. Path I : Sigma :1
 Initial seed :47
 Sample time :1/2
2. Path II : Sigma :0.63
 Initial seed :50
 Sample time :1/2
3. Path III : Sigma :0.389
 Initial seed :53
 Sample time (t) :1/2
4. Path IV : Sigma :0.165
 Initial seed :56
 Sample time (t) :1/2

Nilai sigma pada *rayleigh noise generator* ini didapat dari akar dari nilai variansi pada kanal SUI. Variansi nilai ini didapat dari jumlah *power* pada tiap kanal. Pada kanal ini setiap 2 bit informasi akan diubah dengan pengacakan yang berbeda-beda pada setiap jalurnya sehingga akan mengalami perbedaan *rate* pada keluaran kanal dengan informasi yang masuk.

Untuk menyamakan perbedaan *rate* maka digunakan *rate transition* sehingga informasi yang masuk dan keluar kanal dapat dikalikan



Gambar 3.8 Blok *rate transition*

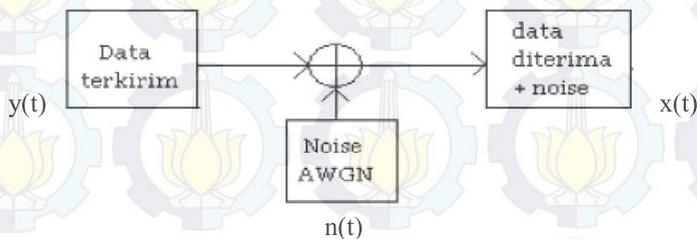
Untuk menghitung besarnya *Bit Error Rate* (BER) pada kanal *fading* dengan distribusi *rayleigh* didekati dengan menggunakan *formula* BER sesuai persamaan berikut:

$$\text{BER} = \frac{1}{2} \left(1 - \sqrt{\frac{E_b / N_0}{1 + E_b N_0}} \right) \quad (3.3)$$

Sedangkan fungsi dari integer *delay* pada gambar 3.7 adalah sebagai parameter *delay* yang diatur sesuai dengan parameter kanal SUI-

4. Akibat *delay spread* ini maka akan timbul ISI pada sinyal yang dikirimkan.

Salah satu kanal yang dipakai pada simulasi ini adalah kanal AWGN (*Additive White Gaussian Noise*)

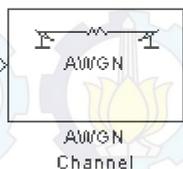


Gambar 3.9 Kanal AWGN

Sebuah sinyal yang dilewatkan melalui sebuah kanal dapat diasumsikan pada gambar di atas. Pada model ini, sinyal yang ditransmisikan $x(t)$ terkena sebuah *noise* acak yaitu $n(t)$. Ketika sinyal mendapat redaman selama proses penransmisian melalui sebuah kanal, maka sinyal yang diterima pada interval $0 \leq t \leq T$, dapat dinyatakan dengan persamaan :

$$y(t) = x(t) + n(t) \quad (3.4)$$

Secara fisik proses *additive noise* berasal dari komponen elektronik dan beberapa *amplifier* (penguat) dari *receiver* pada suatu sistem komunikasi. Jika *noise* tersebut disebabkan oleh komponen elektronik dan *amplifier* dari *receiver*, maka dikarakteristikan sebagai *thermal noise* (*noise* yang disebabkan oleh suhu dari rangkaian itu sendiri).



Gambar 3.10 Blok Kanal AWGN

Parameter yang digunakan pada Blok AWGN sebagai berikut :

- Initial seed : 61
(*initial seed* adalah nilai acak yang dihasilkan generator)
- Mode : Signal to noise ratio (E_b/N_0)
(Ada beberapa mode, namun yang digunakan adalah E_b/N_0)
- E_b/N_0 (dB) : 1 sampai 10
(Rasio antara energy bit dengan power spectral density noise)
- Number of bits per symbol : 1
(Karena BPSK maka menggunakan 1 bit/symbol)
- Input signal power (watts) : 1
(Power dari simbol pada masukan blok)
- Symbol period (s) : 1/1000
(periode simbol pada kanal AWGN)

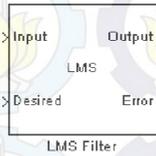
Pada sisi penerima terdapat blok *down sampling*, yang fungsinya untuk mengembalikan sinyal hasil *raised cosine*. Sedangkan demodulator berfungsi untuk membentuk bit informasi seperti sebelum dikirimkan. Akibat penambahan *raised cosine*, sinyal terima mengalami *delay*. Maka dari itu bit kirim perlu di *delay* agar sinyal kirim dan sinyal terima sinkron.

Pengukuran *Bit Error Rate* (BER) untuk sinyal yang termodulasi BPSK dalam kanal *ideal* dapat didekati menggunakan fungsi Q jika diketahui rapat daya derau E_b/N_0 .

$$\bar{P}_e = \text{BER} = Q\left(\sqrt{\frac{2E_b}{N_0}}\right) = \frac{1}{2} \text{erfc}\left(\sqrt{\frac{E_b}{N_0}}\right) \quad (3.5)$$

3.3.5 Pemodelan Algoritma LMS

Pada blok parameter di bawah ini adalah ekualiser LMS *filter* yang nantinya diharapkan dapat mengatasi *intersymbol interference* (ISI) yang disebabkan oleh kanal komunikasi yang mengalami distorsi akibat *delay spread*. Untuk batasan dalam menganalisa sistem pada saat simulasi dan implementasi, panjang filter (orde filter) yang diamati adalah pada saat 4,8 dan 12.



Gambar 3.11 Blok LMS Filter

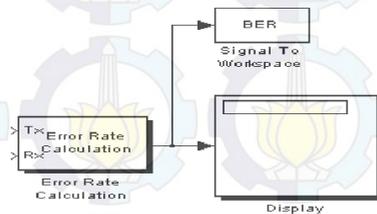
Blok algoritma LMS diperoleh dari *Simulink*, parameter yang digunakan antara lain sebagai berikut :

- Filter length (L) : 8
- Specify step size (μ) : 0.005
- Leakage factor : 1.0
- Initial value of filter weights : 0

Pada Gambar 3.11 inputan yang masuk pada LMS filter ini yaitu berupa informasi yang dikirimkan yang telah mengalami gangguan. Desired merupakan respon yang pengguna inginkan, yang nantinya digunakan untuk mendapatkan nilai kesalahan. Sedangkan error merupakan hasil keluaran sinyal yang salah pada sistem ini.

Nilai BER serta jumlah error akan ditampilkan pada blok *display*. Untuk blok *error calculator*, pada blok ini bertugas untuk menghitung kesalahan bit yang terjadi pada keluaran sistem yang telah dimodelkan. Pada blok *error calculator* terdapat beberapa parameter yang digunakan yaitu antara lain :

- Receive Delay : 0
- Computation Delay : 0
- Computation Mode : Entire frame
- Output data : Port
- Stop simulation
- Target number of errors : $1e5$
- Maximum number of symbols : $1e5$



Gambar 3.12 Blok *display* perhitungan bit error rate

Dari parameter *error rate calculator* disimpulkan bahwa sistem akan berhenti apabila terdapat kesalahan 100.000 bit dengan bit yang telah dikirimkan dari sumber menuju penerima adalah 100.000 bit. Apabila sistem yang digunakan telah berjalan dengan benar, maka pada *display* akan menampilkan nilai keluaran *error* bit. Selain ditampilkan pada *display*, nilai BER juga dapat dilihat pada *workspace* matlab dengan menambahkan *Signal to workspace*.

BER dapat dihitung dengan rumus :

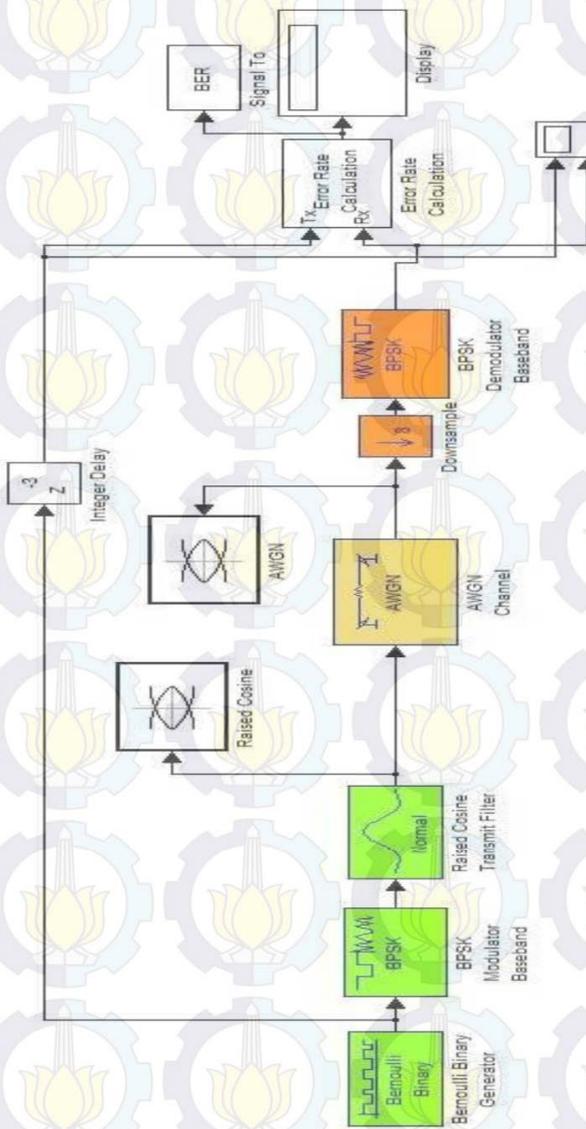
$$\text{BER} = \text{Bt}/\text{Bd} \quad (3.6)$$

Bt= Jumlah bit yang diterima salah
Bd= Jumlah bit yang dikirim

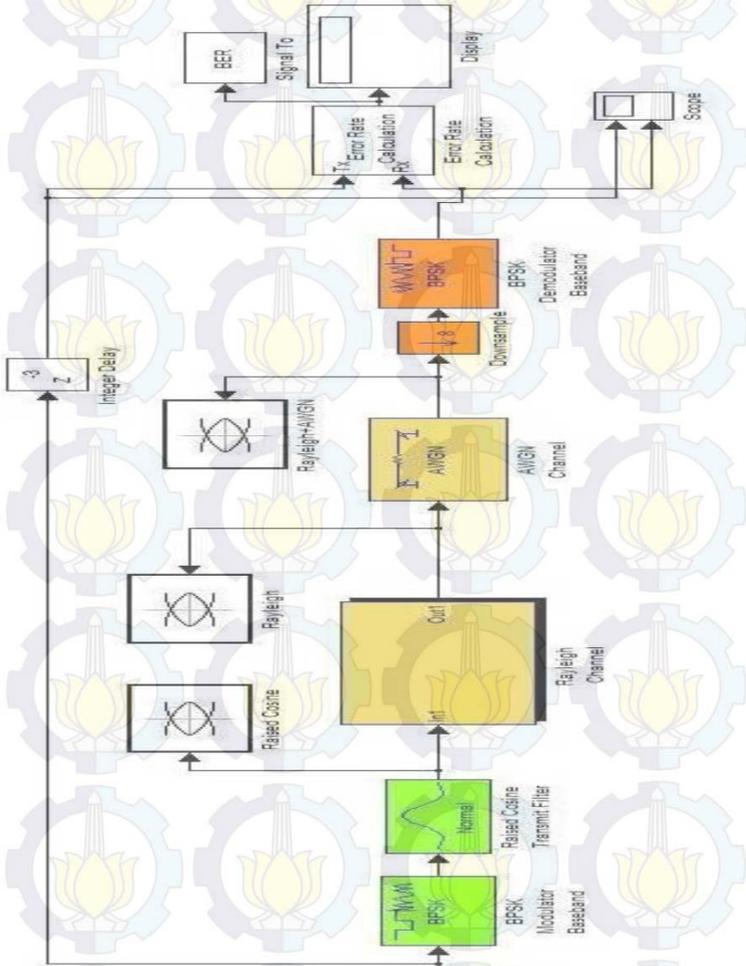
Pada Gambar 3.14 ditunjukkan gambar diagram keseluruhan sistem yang merupakan diagram blok simulasi sistem dengan modulasi BPSK tanpa ekualiser . Blok simulasi sistem pada gambar 3.14, bit sinyal dibangkitkan secara *bernoulli*, kemudian dimodulasikan menggunakan *bpsk* modulator. Penggunaan *raised cosine* untuk membentuk pulsa yang mampu mengatasi pengaruh dari ISI. Terjadinya ISI diakibatkan adanya pengaruh dari kanal *rayleigh* yang dimodelkan dengan 4 lintasan, dimana kanal ini disesuaikan dengan standar kanal *SUI*. Dengan begitu sisi penerima akan mendapatkan bit informasi yang salah. Selain karena kanal *rayleigh*, sumber kesalahan bit juga disebabkan oleh *noise* yang ada pada kanal *AWGN*. Pada gambar 3.13 sistem yang dibuat hampir sama, hanya saja perbedaannya tidak digunakan kanal *Rayleigh*.

Pada sisi penerima terdapat blok *down sampling*, yang fungsinya untuk mengembalikan sinyal hasil *raised cosine*. Sedangkan demodulator berfungsi untuk membentuk bit informasi seperti sebelum dikirimkan. Akibat penambahan *raised cosine*, sinyal terima mengalami *delay*. Maka dari itu bit kirim perlu di *delay* agar sinyal kirim dan sinyal terima sinkron.

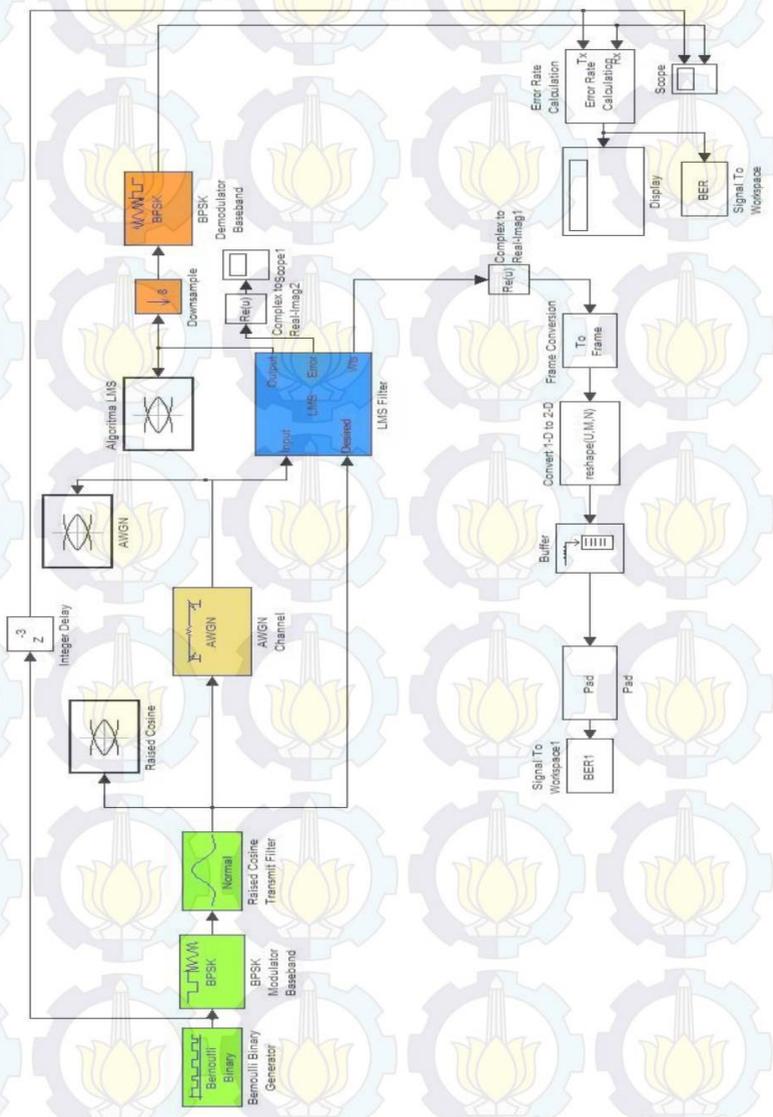
Gambar 3.15 dan 3.16 merupakan gambar sistem yang sudah menggunakan ekualiser LMS. Pada sisi penerima terdapat blok LMS filter yang merupakan ekualiser yang digunakan untuk mengatasi ISI yang terjadi setelah melewati kanal komunikasi tidak ideal yang telah dirancang. Orde *filter* ekualiser LMS yang digunakan adalah 4, 8, dan 12.



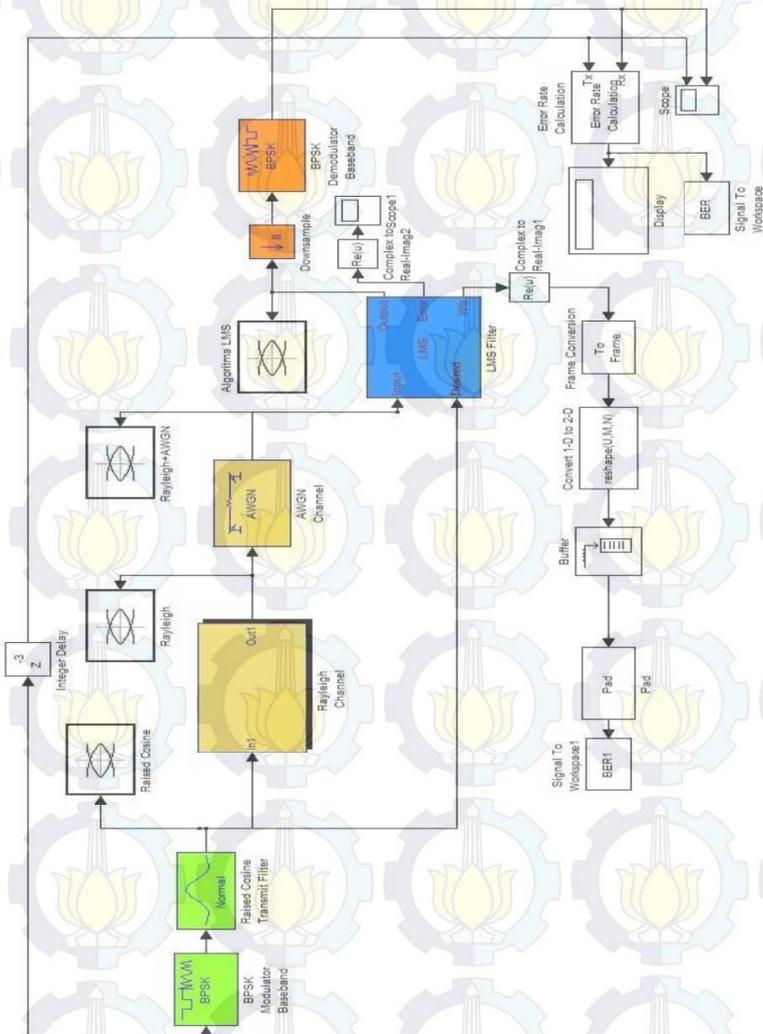
Gambar 3.13 Blok sistem simulasi dengan kanal AWGN tanpa ekualiser LMS



Gambar 3.14 Blok sistem simulasi dengan kanal *Rayleigh* + AWGN tanpa ekuivaler LMS



Gambar 3.15 Blok sistem simulasi dengan kanal AWGN dengan ekualiser LMS

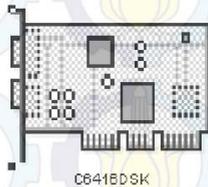


Gambar 3.16 Blok sistem simulasi dengan kanal *Rayleigh* + AWGN dengan ekualiser LMS

Setelah perancangan sistem tercapai dan sesuai dengan yang diinginkan dalam tugas akhir ini, maka hasil simulasi ini ditampilkan dalam bentuk grafik dan melakukan perbandingan pada tiap-tiap sistem. Menyimpulkan pengamatan tanpa menggunakan ekualiser dan setelah menggunakan ekualiser .

3.4 Implementasi Sistem Ekualiser Adaptif

Implementasi sistem dilakukan dengan cara memprogram DSK TMS320C6416T sesuai dengan sistem yang telah dimodelkan di MATLAB Simulink. DSK dapat deprogram dengan menggunakan bahasa C, assembly, atau integrasi matlab simulink. Setelah menyiapkan file simulink untuk diimplementasikan, ada beberapa blok yang harus ditambahkan yang nantinya untuk implementasi DSK TMS320C6416T yaitu blok C6416DSK, yang merupakan blok pendukung utama dalam memprogram DSK TMS320C6416T. Blok tambahan tersedia pada simulink yaitu pada Simulink library browser-target for TI C600 seperti yang ditunjukkan pada gambar di bawah ini

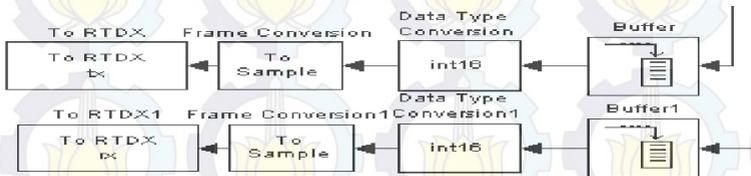


Gambar 3.17 Blok C6416DSK

Implementasi sistem ekualiser adaptif dengan LMS filter ini menggunakan sumber sinyal yang dibangkitkan dari Simulink, mengubah nilai parameter pada AWGN dan LMS filter. Seperti yang telah dirancang disimulasi sistem, sumber sinyal menggunakan blok *Bernoulli Binary Generator*. Performasi sistem tetap dilakukan dengan mengevaluasi nilai BER dan melihat ISI terhadap pola mata.

Pada implementasi pertama digunakan 2 perangkat yaitu komputer (PC) dan DSK TMS320C6416. Pada PC digunakan untuk memprogram file Simulink dan melihat hasil keluaran sistem yang telah diimplementasikan. Apabila pada saat simulasi hasil BER dapat langsung dilihat pada *display*, pada tahap implementasi ini nilai BER diperoleh dengan mengambil data dari RTDX.

Blok RTDX pada implementasi ini digunakan untuk mengambil hasil keluaran dari sistem yang telah diimplementasikan kedalam DSK. Ada 3 blok yang dibutuhkan dalam blok RTDX ini yaitu blok *Data type Convesion*, *Frame Conversion*, dan *To RTDX*. Pada blok RTDX dapat diberi *channel name* secara bebas, dapat dilihat pada Gambar 3.20.



Gambar 3.18 Blok RTDX

Sedangkan untuk parameter yang digunakan pada blok *Data Type Convesion* adalah sebagai berikut.

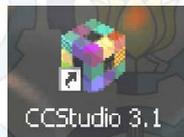
- Output data type mode :int 16
- Input and Output to have equal :Real World Value (RWV)
- Roud integer calculations towar :Floor
- Sample time :-1

Blok RTDX dapat bekerja apabila perangkat RTDX diaktifkan terlebih dahulu dengan program CCS. Pengaktifan blok RTDX dalam CCS adalah dengan cara memilih menu *tools* RTDX pilih *Configuration Control* dan pengaktifan RTDX dapat dilakukan dengan cara memilih *Enable RTDX*. Kemudian pada saat RTDX telah aktif, DSK yang telah diprogram akan mengirim data yang hasil keluaran sistem sehingga data tersebut dapat diolah kedalam komputer menggunakan matlab.

Apabila semua persiapan sudah dilakukan dan selesai dihubungkan kekomputer, maka *file* Simulink yang telah dibuat dapat diimplementasikan pada DSK adalah dengan cara klik *incremental build* yang terdapat pada Simulink. Menu *incremental build* ini berfungsi sebagai pengkomunikasikan Matlab dengan *Code Composer Studio* sehingga *file* Simulink yang telah dibuat dapat menjadi *file project* CCS(*.pj) dimana berisi hasil konversi file simulink kedalam bahasa C dan *assembly*. Selanjutnya CCS akan memprogram DSK TMS320C6461T yang terhubung ke PC menggunakan kabel USB.

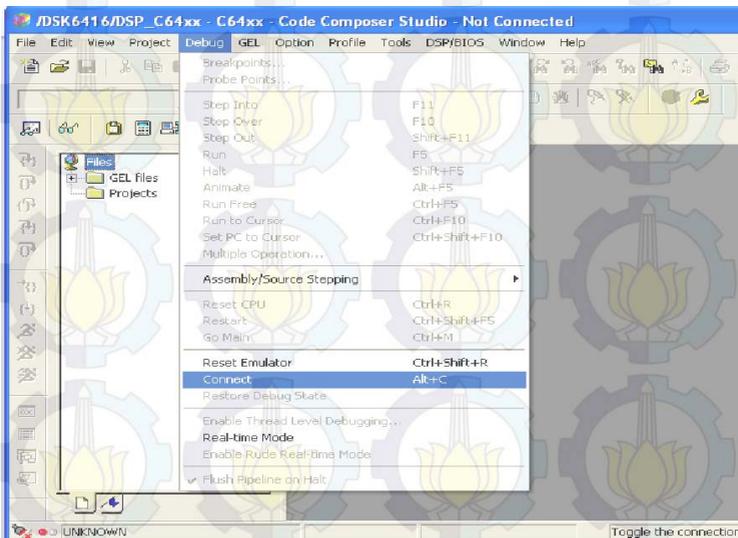
Sebelumnya telah dijelaskan pemodelan sistem implementasi algoritma LMS untuk sistem ekualiser adaptif dalam bentuk diagram blok sistem implementasi ekualiser LMS. Selanjutnya dijelaskan langkah – langkah implementasi sistem pada DSK TMS320C6416T hingga persiapan pengujian seperti dijelaskan berikut ini:

- a. Blok *simulink* matlab yang akan diintegrasikan ke DSK board.
- b. Laptop/PC sudah terhubung dengan perangkat DSK TMS320C6416T.
- c. Membuka *software 6416 DSK CCStudio v3.1*.

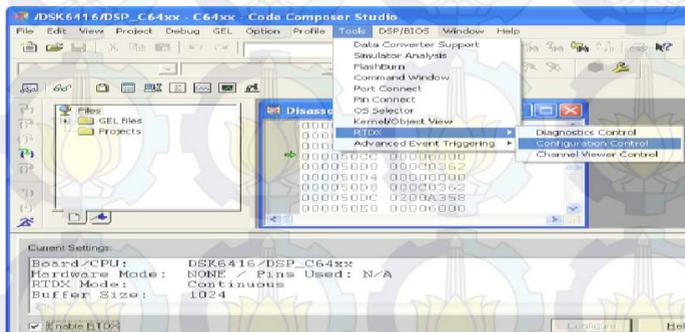


Gambar 3.19 Ikon 6416 DSK CCStudio v3.1

Pertama status CCStudio v3.1 masih “Unknown”, artinya software masih belum terhubung dengan DSK board. Untuk menghubungkan klik “Connect” pada menu debug seperti di bawah.



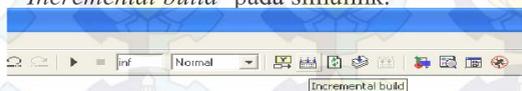
Gambar 3.20 Pengaturan koneksi antara PC dan DSK board



Gambar 3.21 Pengaturan RTDX

Selanjutnya pilih ‘*Continuous*’ pada RTDX mode. Terakhir centang ‘*Enable RTDX*’.

d. Lakukan proses integrasi dengan cara mengklik menu ‘*Incremental build*’ pada simulink.



Gambar 3.22 *Button incremental build*

3.5 Pengujian Sistem

Pada tugas akhir ini, pengambilan nilai BER yang dilakukan dengan mengubah parameter E_b/N_0 yang ada pada kanal AWGN baik dengan menggunakan ekualiser adaptif maupun tanpa menggunakan ekualiser adaptif. Sedangkan parameter-parameter yang diatur pada ekualiser ini yaitu dengan mengubah L dan μ .

Tabel 3.1 Variabel Pengujian Sistem

Step size	Kanal	Panjang Filter (L)
0.005	AWGN	4
		8
		12
	Rayleigh + AWGN	4
		8
		12

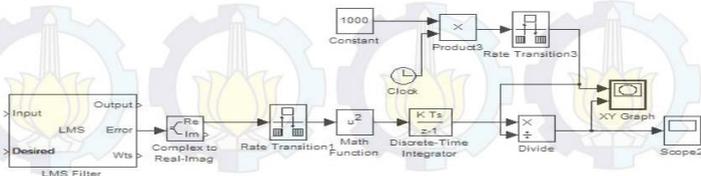
Pada tugas akhir ini, dilakukan pengujian dengan beberapa skenario:

1. Pengujian sistem dengan kanal AWGN pada simulink
2. Pengujian sistem dengan kanal Rayleigh + AWGN pada simulink
3. Pengujian implementasi sistem dengan kanal AWGN
4. Pengujian implementasi sistem dengan kanal Rayleigh + AWGN
5. Pengujian implementasi sistem dengan menggunakan kanal real akustik udara.

Pertama-tama dilakukan perbandingan kinerja sistem secara teori dan simulasi sebelum memakai ekualiser. Ini diperlukan untuk mengetahui apakah sistem sudah dimodelkan dengan benar, jika tidak terjadi perbedaan yang banyak antara BER teori dan simulasi, dapat disimpulkan bahwa sistem yang dimodelkan sudah benar. Untuk menghitung BER pada simulasi sistem tanpa ekualiser dapat dilakukan menggunakan *Bit Error Rate Analysis Tool* yang disediakan Matlab. Cara menggunakannya dengan mengetikkan perintah “*bertool*” di *Matlab Command Window*. Selain menghitung BER simulasi *bertool* ini juga bisa didapatkan pula nilai BER sesuai dengan teorinya. Yang dimaksud BER teori adalah nilai BER dari sistem yang dihitung menggunakan rumus pada persamaan (3.5)

Untuk menghitung BER pada simulasi sistem dengan ekualiser, dilakukan dengan cara mencari terlebih dahulu nilai MSE (*Mean Square Error*) tiap iterasi untuk mengetahui konvergensi sistem. Setelah mengetahui sistem konvergen pada iterasi ke berapa, baru dicari nilai BER dari sistem tersebut yang akan dimulai dari data pada saat sistem sudah konvergen.

Nilai MSE didapatkan dengan cara mengkuadratkan nilai error tiap iterasi lalu dijumlahkan dan dibagi dengan panjang data yang dikirim.



Gambar 3.23 Blok Perhitungan MSE

Simulasi akan berjalan saat menekan tombol “Run” dan akan berhenti ketika bit yang *error* mencapai nilai 10.000 atau jumlah bit yang dibangkitkan mencapai nilai 10.000. Pada blok *scope*, data yang didapat akan disimpan di *workspace* dengan cara mengatur pada blok *scope* dengan mengklik “save data to workspace” dan mengisikan *Variable Name* dengan nama MSE.

Setelah mengetahui grafik konvergensi sistem, maka dicari nilai BER yang dapat dilakukan dengan menambahkan *selector* dan *scope* pada blok *error rate calculation*

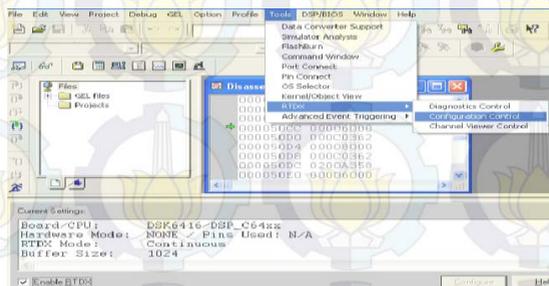


Gambar 3.24 Blok Perhitungan BER

Dengan menggunakan selector dapat dipilih data yang ingin disimpan pada *workspace* adalah nilai kesalahan dan jumlah data yang dikirimkan. Jadi dapat dilihat nilai kesalahan pada setiap iterasi. Untuk mengitung nilai BER dapat digunakan *script* matlab sebagai berikut:

```
n=BERplot(:,2);
BER1=(n(100000)-n(1001))/99000
```

Untuk melakukan pengujian secara implementasi, dapat dilakukan dengan cara menambahkan blok RTDX pada sinyal yang dikirim dan diterima. BER pada sistem akan dihasilkan oleh blok RTDX yang dijalankan pada DSK TMS320C6416T.



Gambar 3.25 Pengaturan RTDX

Sebelum melakukan implementasi sistem, terlebih dahulu melakukan konfigurasi pada RTDX di CCS. Kemudian pilih 'Continuous Mode' pada RTDX mode dan centang 'Enable RTDX'.

3.6 Perangkat Implementasi

Berikut ini adalah merupakan perangkat-perangkat yang digunakan dalam tugas akhir ini. Perangkat tersebut dibagi menjadi dua jenis, yaitu :

3.6.1 Perangkat Keras

a. Laptop

Laptop digunakan untuk melakukan perancangan sistem serta memprogram DSK TMS320C6416.. Menggunakan *Operating System (OS) Windows XP* karena sesuai dengan *software CCS v3.1*.

b. DSK TMS320C6416T

Merupakan perangkat utama yang digunakan untuk implementasi sistem pengolahan sinyal digital secara *real-time*. DSK TMS320C6416T ini dilengkapi dengan kabel power sebagai catu daya dan kabel USB untuk terhubung dengan PC. Cara menjalankan alat ini dengan menghubungkan langsung kabel *power* ke sumber listrik karena tidak mempunyai tombol On/Off. Untuk dapat memprogram alat ini dengan menghubungkan port USB DSK TMS 320C6416T ke USB computer menggunakan kabel USB.



Gambar 3.26 DSK TMS320C6416T

c. **Microphone**

Alat input berupa suara, biasanya komponen ini digunakan untuk merekam sinyal audio baik vokal, akustik *instrument*, atau apapun yang bisa menjadi sumber suara.

d. **Speaker**

Berfungsi untuk mendengarkan suara yang dihasilkan dari suatu sumber suara.

3.6.2 Perangkat Lunak

a. **Matlab R2007a**

Digunakan Matlab versi R2007a untuk merancang sistem *Equalizer* adaptif pada *Simulink*. Selain itu, Matlab versi ini juga dapat diintegrasikan dengan *software CCS v3.1*.

b. **Code Composer Studio (CCS) v3.1**

CCS v3.1 digunakan untuk mengintegrasikan sistem yang telah dibuat yang kemudian diimplementasikan ke dalam DSK TMS320C6416T. *Software* ini termasuk dalam paket penjualan prosesor keluaran *Texas Instrument*.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Fauzi Rahmad, Putri Ginda Utama. 2013. “Analisis Unjuk Kerja Ekualizer Pada Sistem Komunikasi Dengan Algoritma *Least Mean Fourth Based Power Of Two Quantizer (LMF-PTQ)*”. Medan : Universitas Sumatera Utara.
- [2] Garg, Ravi. “*Adaptive Equalization Techniques using Least Mean Square [LMS] algorithm*”, *Electrical Engineering, Term paper*, Sep.12,2009.
- [3] Stojanovic, Milica. 2009. “*Underwater Acoustic Communication Channels: Propagation Models and Statistical Characterization*”. IEEE Communication Magazine, January, 2009.
- [4] Haykin, Simon. 1991. “*Adaptive Filter Theory 2nd Edition*”. Prentice Hall.
- [5] Ramadhan Muchammad, Zulfikar. 2012.” Perancangan Sistem Instrumentasi Untuk Identifikasi dan Analisis Suara Paru-Paru Menggunakan DSP TMS3206416T”. Depok: Universitas Indonesia.
- [6] Xiao, Yang.2010. “*Underwater Acoustic Sensor Networks*. Auerbach Publications”.
- [7] Paul C. Etter, 2013, “*Underwater Acoustic Modeling and Simulation fourth edition*”, Taylor & Francis Group.
- [8] Syafei Wahyul Amien, Titon Dutono, Achmad Ansori, 2003,“*Penggunaan Cyclic Prefix Untuk Estimasi Kanal Adaptif Pada Sistem Modulasi Multicarrier*”
- [9] Zhong Liu, Ning Xiao-ling, 2012, “*Comparison Of Equalization Algorithms for Underwater Acoustic Channels*”, IEEE 2nd International Conference on Computer Science and Network Technology.
- [10] Zhong Liu, XiaoLing Ning, Linsen Zhang, HaiZhu Xu, 2011,“*An Effective Adaptive Equalization Algorithm for Underwater Acoustic Communications*”, IEEE 4th International Workshop on Advanced Computational Intelligence.
- [11] Abdillah Kusuma, Moegiharto Yoedy, 2012. “Analisa Kinerja *Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM)* Berbasis Perangkat Lunak”, Surabaya: Politeknik Elektronika Negeri Surabaya.

BAB IV PENGUJIAN DAN ANALISA SISTEM

Bab ini akan membahas mengenai hasil pengujian simulasi dan implementasi untuk sistem ekualiser adaptif pada komunikasi bawah air menggunakan algoritma *Least Mean Square* (LMS). Hasil pengujian simulasi dan implementasi sistem ini ditampilkan melalui grafik BER vs Eb/No dengan mengubah nilai Eb/No dari blok AWGN.

Pengujian hasil simulasi sistem akan dibandingkan dengan hasil implementasi sistem. Pada simulasi dan implementasi sistem ini akan dilakukan perbandingan yaitu pada variabel yang diubah panjang *filter* (L) dan konstanta *step size* (μ). Penentuan nilai parameter L dan μ dapat dilakukan dengan nilai bervariasi. Pada tugas akhir ini orde *filter* yang diamati yaitu 4,8, dan 12 dengan perubahan konstanta *step size* (μ) yaitu 0,005, 0,0005, 0,00005.

4.1 Perhitungan Kinerja Modulasi BPSK secara Teori dan Simulasi

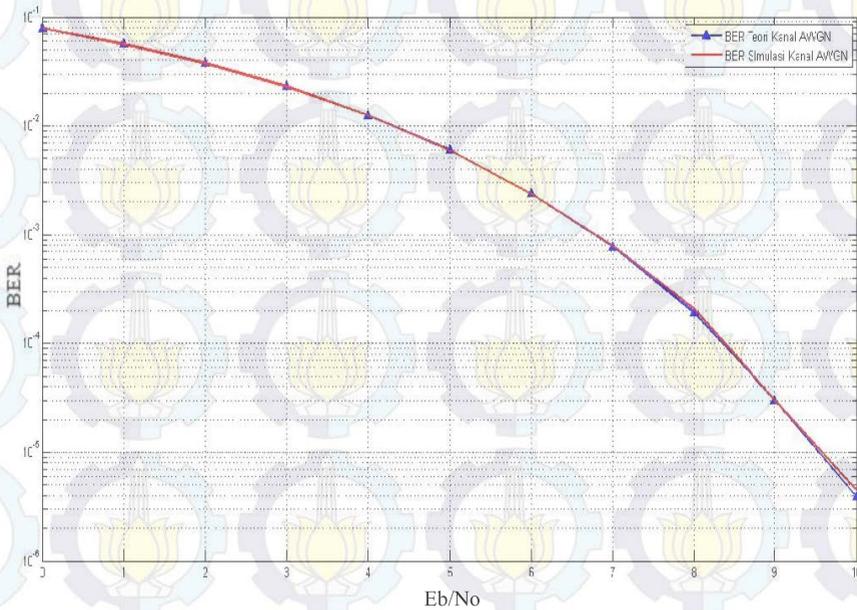
Pada sub bab ini akan diuraikan nilai BER dari BPSK secara teori dan simulasi, menggunakan *tool* yang ada pada matlab. Kemudian data yang diperoleh diamati, dapat dilihat pada tabel tersebut untuk nilai BER antara simulasi dan teori tidak berbeda jauh, yaitu pada saat Eb/No = 0 nilai BER yang diperoleh sekitar 0.078 dan pada saat Eb/No = 10, nilai BER yang diperoleh adalah = 0. Dari pengamatan tabel dapat dilihat bahwa nilai BER yang diperoleh dari 0 db – 10db semakin membaik. Antara simulasi dan teori tidak ada perbedaan yang signifikan.

Berdasarkan gambar grafik BER vs EB/No baik secara teori maupun secara simulasi cenderung menurun. Nilai BER yang diperoleh antara keduanya menunjukkan kinerja dari sistem modulasi yang lebih baik untuk digunakan, sehingga dapat disimpulkan semakin besar nilai EB/No maka semakin baik pula kinerja sistem modulasi BPSK yang membuat kemungkinan bit *error* semakin kecil.

Nilai BER teori kanal AWGN di atas mengacu pada persamaan (3.5) yang terdapat di bab 3. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat tabel 4.1 dan gambar 4.1

Tabel 4.1 Perbandingan BER dan Eb/No BPSK Kanal AWGN

Eb/No	Teori	Simulasi
0	0.0786	0.078612
1	0.05628	0.056419
2	0.0375	0.03763
3	0.02287	0.022911
4	0.0125	0.012528
5	0.00595	0.00593
6	0.00238	0.002373
7	0.00077	0.000786
8	0.00019	0.000206
9	3.00E-05	0.00003
10	3.87E-06	4.40E-06

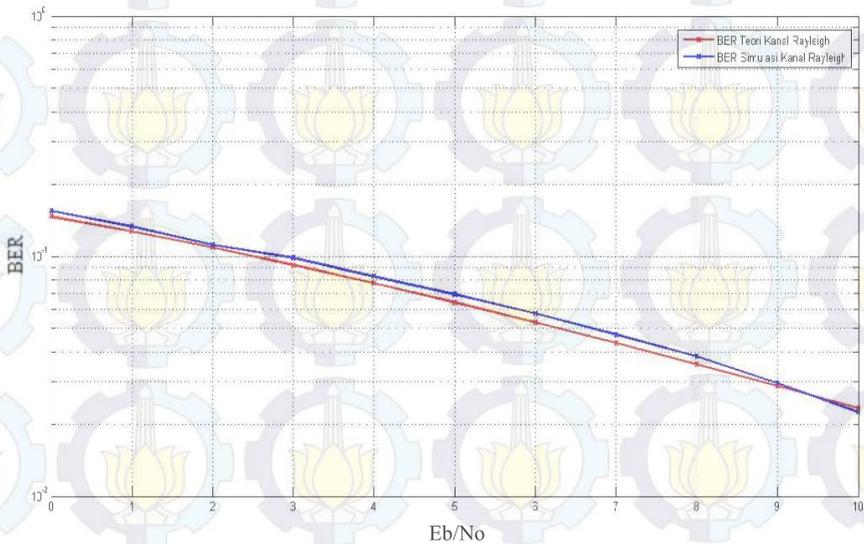


Gambar 4.1 Perbandingan Kinerja BPSK Kanal AWGN secara teori dan BPSK secara simulasi.

Sedangkan untuk nilai BER teori kanal *rayleigh* mengacu pada persamaan (3.3). Dapat dilihat di bawah ini tabel dan kurva dari BER kanal *rayleigh* secara teori dan simulasi.

Tabel 4.2 Perbandingan nilai BER vs Eb/No BPSK Kanal *Rayleigh*

Eb/No	Teori	Simulasi
0	0.14644	0.1542
1	0.12673	0.133
2	0.10848	0.1116
3	0.09191	0.0986
4	0.07713	0.0824
5	0.06418	0.0694
6	0.052998	0.0578
7	0.04347	0.0472
8	0.03545	0.0382
9	0.02878	0.0296
10	0.02326	0.0224



Gambar 4.2 Perbandingan Kinerja BPSK Kanal *Rayleigh* + AWGN secara teori dan BPSK secara simulasi

Hasil BER yang didapat pada tabel 4.1 dan 4.2 di atas akan dibandingkan dengan nilai BER pada sistem yang sudah menggunakan ekualiser. Sehingga dapat diketahui kinerja sistem ekualiser dengan algoritma LMS yang telah dibuat.

4.2 Pengujian Sistem pada Simulink

Pengujian sistem yang dilakukan adalah dengan menambah algoritma LMS. Menjalankan sistem dengan mengubah nilai *step size* (μ) dan perubahan terhadap panjang *filter* (L). Hal ini dilakukan untuk mengetahui seberapa jauh kinerja dari sistem yang telah dirancang. Hasil pengujian ini akan ditampilkan dalam bentuk grafik dan tabel.

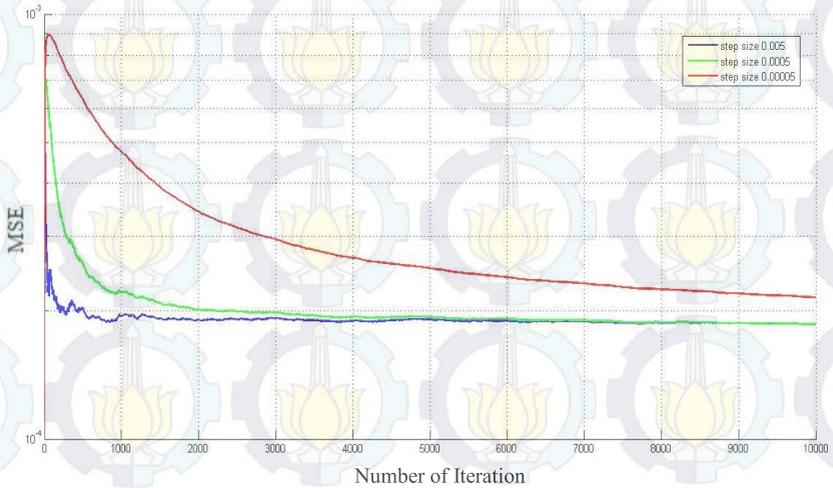
Tujuan dari pengujian ini adalah untuk mengetahui nilai *step size* yang paling baik. Untuk mengetahui nilai *step size* yang baik, dapat ditentukan dengan semakin kecilnya nilai BER. Untuk membandingkan nilai BER mana yang paling kecil kita harus menentukan nilai E_b/N_0 yang akan kita amati, pada pengujian ini kita akan mengamati pada E_b/N_0 0- 10db.

4.2.1 Pengujian Sistem dengan Kanal AWGN pada Simulink

Pengujian simulasi yang pertama dengan menggunakan variabel tetap $L = 4$ dan konstanta yang diubah yaitu μ sebesar 0.005, 0.0005, 0.00005. Jumlah bit yang dikirimkan pada sistem ini dibatasi sebanyak 10.000 bit dan jumlah maksimum *error* sebesar 10.000. Sehingga sistem akan berhenti apabila sudah mencapai jumlah *error* dan jumlah bit yang dikirimkan sehingga didapatkan nilai BER. Pada pengujian kali ini sebelum menghitung nilai BER terlebih dahulu mencari nilai MSE tiap panjang *filter* dan *step size* yang sudah kita tentukan untuk diamati.

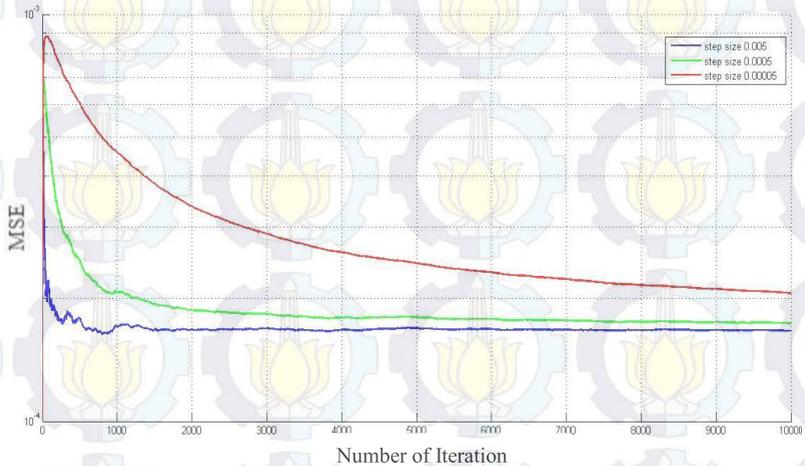
Dengan melihat nilai konvergensi dari grafik MSE tiap iterasi dapat dilihat bahwa sistem konvergen pada iterasi ke berapa. Pada saat sistem sudah konvergen baru dapat dilakukan proses perhitungan BER.

Pada gambar 4.3 terlihat bahwa pada panjang *filter* (L) = 4 dengan nilai *step size* (μ) 0.005, 0.0005, 0.00005 nilai konvergensi paling cepat didapat pada *step size* (μ) 0.005, yaitu pada iterasi ke 1000. Sedangkan *step size* (μ) 0.0005 mencapai konvergen pada iterasi ke 2000 dan *step size* (μ) 0.00005 mencapai konvergen pada iterasi ke 7000. Semakin besar nilai *step size* (μ) maka sistem akan semakin cepat konvergen.



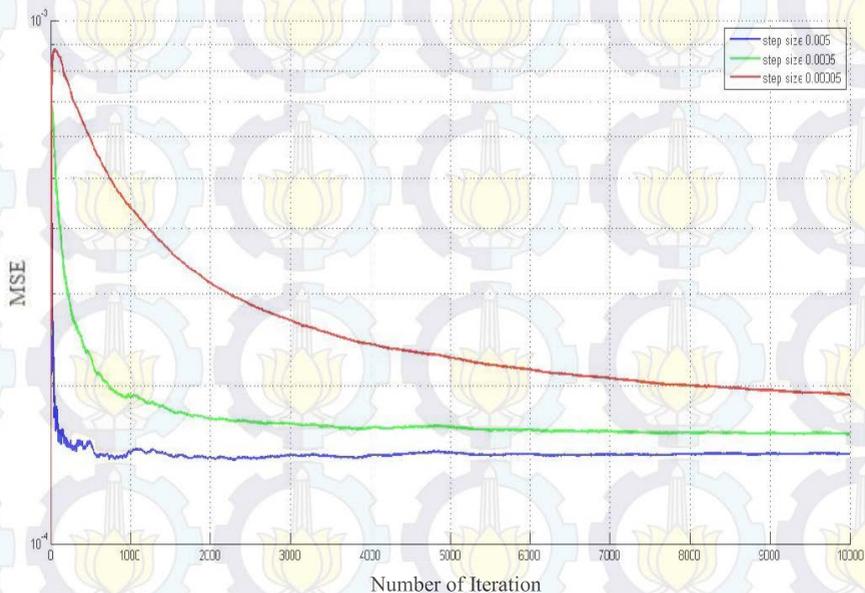
Gambar 4.3 Grafik Konvergensi LMS Kanal AWGN dengan $L = 4$

Pengujian selanjutnya mengubah panjang *filter* menjadi 8 pada algoritma LMS dengan nilai $\mu = 0.005, 0.0005, 0.00005$. Dan dengan cara yang sama dengan panjang *filter* $L=4$ maka didapatkan grafik konvergensi seperti gambar 4.4. Hasil dari grafik tersebut tidak terlalu berbeda dengan panjang *filter* $L=4$ namun terlihat ada perbedaan sedikit pada nilai MSE. Pada panjang *filter* $L=8$ nilai MSE lebih menurun atau lebih kecil.



Gambar 4.4 Grafik Konvergensi LMS Kanal AWGN dengan $L = 8$

Grafik konvergensi pada gambar 4.5 dengan $L=12$ menunjukkan bahwa *step size* 0.005 memiliki konvergensi sistem yang lebih cepat dibanding nilai *step size* 0.0005 dan 0.00005. Semakin besar panjang *filter* dapat dilihat nilai MSE semakin kecil.



Gambar 4.5 Grafik Konvergensi LMS Kanal AWGN dengan $L = 12$

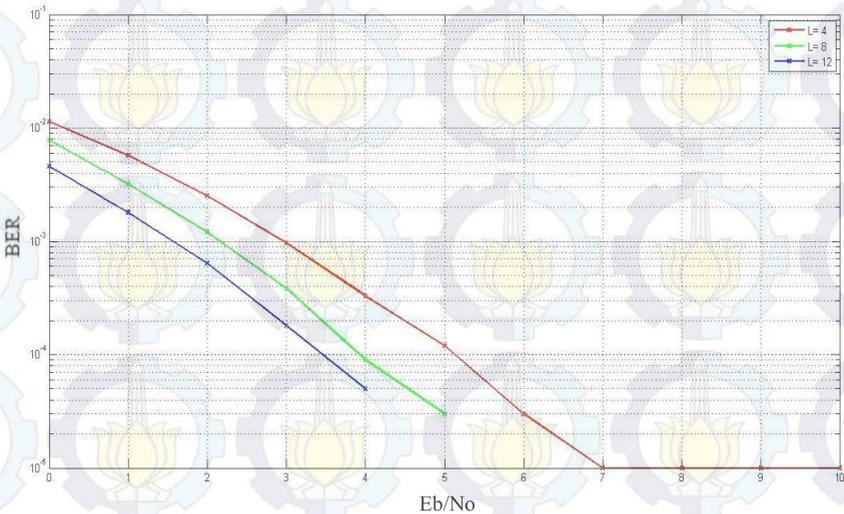
Setelah mengamati grafik konvergensi kanal AWGN dengan panjang filter yang berbeda, dapat dilihat bahwa nilai *step size* paling besar yang memiliki nilai konvergensi paling cepat dan juga memiliki nilai MSE yang lebih kecil. Oleh karena itu pengujian BER sistem digunakan *step size* 0.005 yang akan dilakukan mulai pada iterasi ke 1000 karena pada *step size* 0.005, sistem konvergen pada iterasi ke 1000 seperti yang dapat dilihat pada gambar 4.3, 4.4, dan 4.5 di atas.

Perhitungan BER dilakukan dengan pengacakan sebanyak 3 kali pada *initial seed* : 61, 62, dan 63. Lalu nilai BER dari ke 3 *initial seed* tersebut dirata-rata dan didapatkan nilai BER pada tabel 4.3 di bawah ini

Tabel 4.3 Nilai BER Simulasi Sistem Algoritma LMS menggunakan Kanal AWGN dengan *step size* (μ)= 0.005

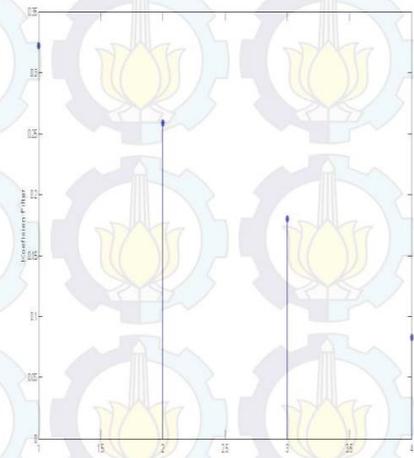
E_b/N_0	L=4	L=8	L=12
0	0.0114	0.0078	0.0046
1	0.0057	0.0032	0.0018
2	0.0025	0.0012	0.00064
3	0.00096	0.00038	0.00018
4	0.00033	0.00009	0.00005
5	0.00012	0.00003	0
6	0.00003	0	0
7	0.00001	0	0
8	0.00001	0	0
9	0.00001	0	0
10	0.00001	0	0

Pada tabel 4.3 dapat dilihat semakin besar nilai E_b/N_0 semakin kecil nilai BER yang terjadi pada sistem. Dan semakin besar nilai panjang *filter*, semakin kecil pula nilai BER.

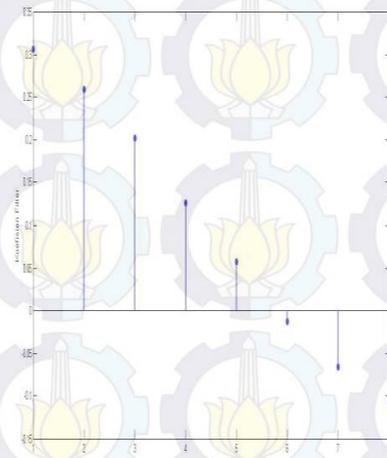


Gambar 4.6 Grafik Nilai BER LMS Kanal AWGN dengan *step size* (μ)=0.005

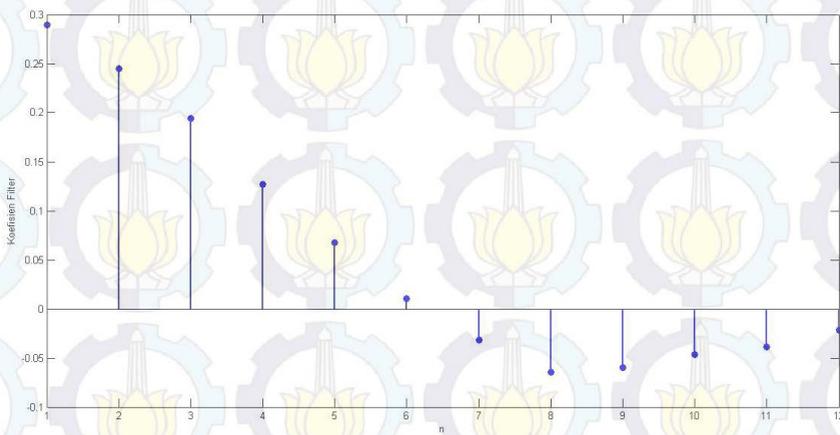
Setelah sistem konvergen, didapatkan faktor pengali atau koefisien *filter* (w) untuk setiap panjang *filter* pada *step size* (μ)=0.005.



(a)



(b)

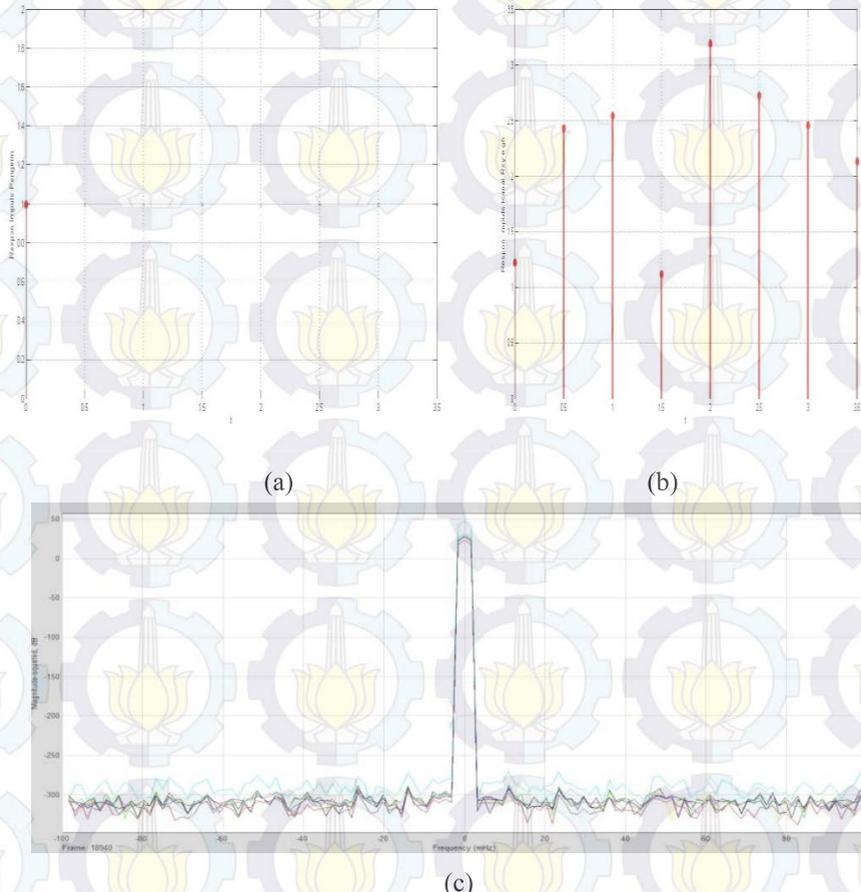


(c)

Gambar 4.7 (a).Koefisien *Filter* pada L=4 (b). Koefisien *Filter* pada L=8 (c).Koefisien *Filter* pada L=12.

4.2.2 Pengujian Sistem dengan Kanal *Rayleigh* + AWGN pada Simulink

Sebelum melakukan pengujian BER diamati terlebih dahulu respon impuls pada Kanal *Rayleigh* yang dapat dilihat dalam domain waktu dan domain frekuensi.



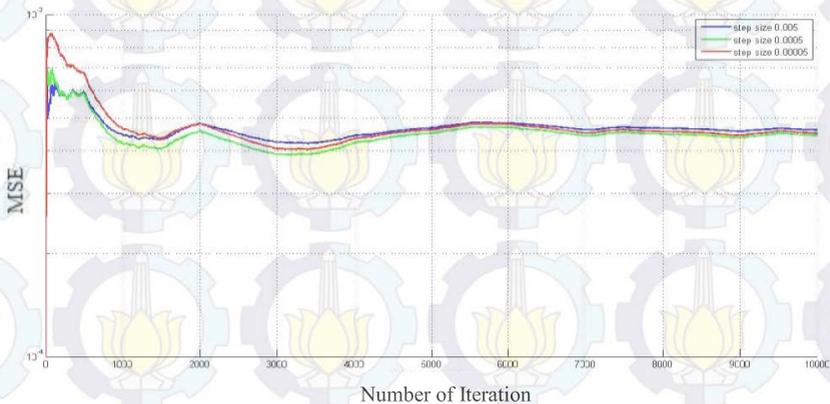
Gambar 4.8 Nilai Respon Impuls (a). Pengirim (b). Domain waktu (c). Domain Frekuensi

Tabel 4.4 Nilai Respon Impuls Kanal *Rayleigh*

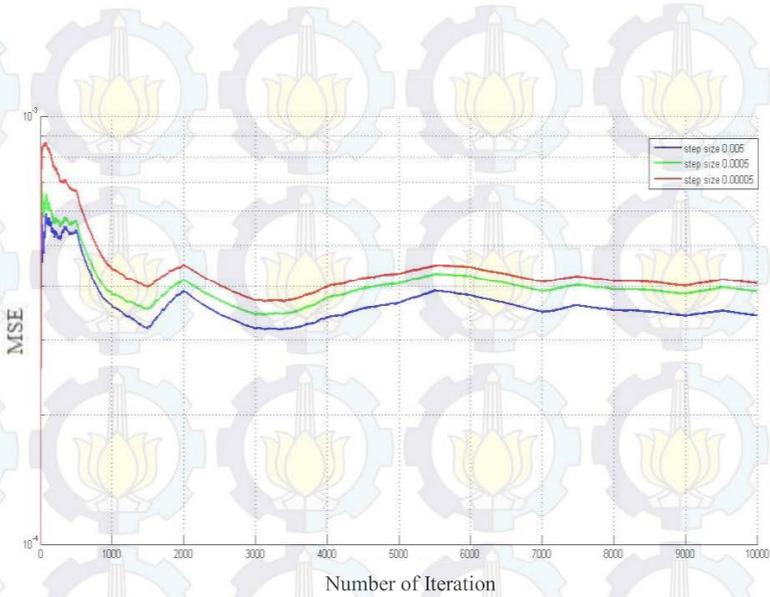
Respon Impuls Kanal Rayleigh		
Pengirim	Domain Waktu	Domain Frekuensi (dB)
1	1.219220994	48
	2.431068871	31.8
	2.537311278	31.8
	1.114546657	29.4
	3.187990666	29.4
	2.724617711	27.8
	2.46036377	27.8
	2.126146995	23.8

Lintasan kanal yang berbeda- beda mengakibatkan kuat sinyal penerima menjadi bervariasi. Pada suatu kanal multipath akan menghasilkan respon impuls yang bervariasi. Pada sistem ini sudah diuji bahwa kanal *Rayleigh* yang didesain mempunyai respon impuls yang bervariasi, sehingga sudah sesuai dengan teorinya dan dapat dilakukan untuk pengujian BER.

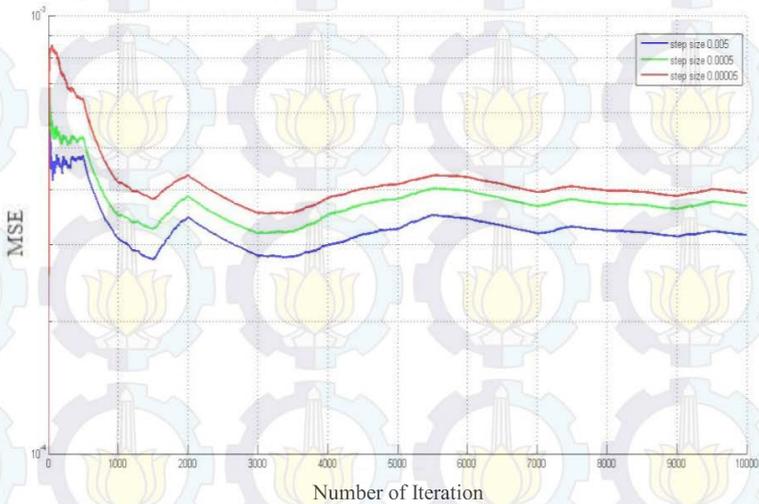
Pengujian dilakukan sama seperti pada kanal AWGN. Dilakukan dengan melihat terlebih dahulu nilai MSE pada sistem untuk mengetahui konvergensi sistem terjadi pada iterasi ke berapa.



Gambar 4.9 Grafik Konvergensi LMS Kanal *Rayleigh* + AWGN dengan $L = 4$



Gambar 4.10 Grafik Konvergensi LMS Kanal *Rayleigh* + AWGN dengan $L = 8$



Gambar 4.11 Grafik Konvergensi LMS Kanal *Rayleigh* + AWGN dengan $L = 12$

Gambar 4.9 dapat dilihat bahwa pada panjang *filter* 4 untuk setiap nilai *step size* memiliki hasil yang tidak jauh berbeda. Sedangkan pada gambar 4.10 dan 4.11 dapat dilihat pada panjang *filter* 8 dan 12 menunjukkan hasil yang signifikan, nilai *step size* yang paling baik adalah 0.005. Pada panjang *filter* 4, 8, dan 12 sistem dengan *step size* 0.005 konvergen pada saat iterasi ke 2000. Untuk mencari nilai BER sistem pada panjang *filter* 4,8, dan 12 akan dihitung mulai dari data ke 2000 sampai ke 100.000.

Pada Kanal *Rayleigh* + AWGN, dapat dilihat pada tabel bahwa panjang *filter* $L=8$ memiliki nilai BER lebih kecil dibandingkan dengan panjang *filter* $L=4$ dan $L=12$. Ini dikarenakan apabila orde *filter* terlalu tinggi ($L=12$) dan terlalu rendah ($L=4$) maka sistem tidak dapat beradaptasi dengan baik.

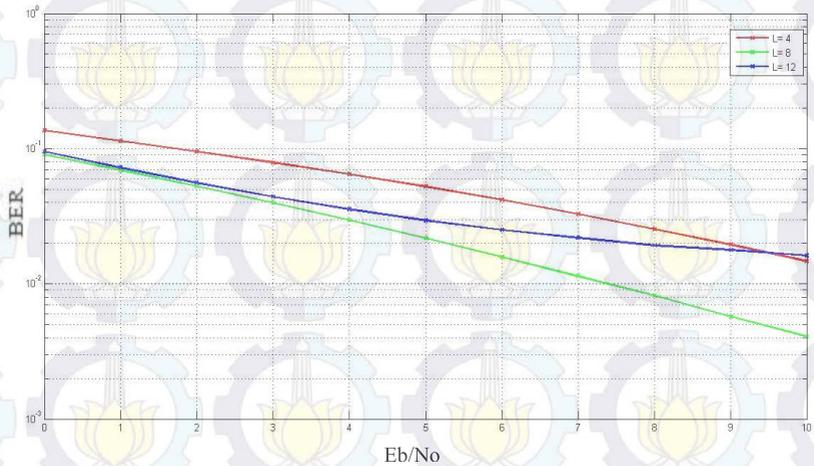
Tabel 4.5 Nilai BER Simulasi Sistem Algoritma LMS menggunakan Kanal *Rayleigh* + AWGN dengan *step size* (μ)= 0.005

Eb/No	L=4	L=8	L=12
0	0.13631	0.09038	0.0954
1	0.11409	0.06926	0.0723
2	0.09503	0.05251	0.05598
3	0.07877	0.03965	0.04404
4	0.06477	0.02947	0.03565
5	0.05244	0.02166	0.02941
6	0.04186	0.01576	0.02497
7	0.03276	0.01138	0.0219
8	0.02539	0.00817	0.01921
9	0.01951	0.00573	0.0178
10	0.01471	0.00406	0.01615

Untuk melihat dengan jelas perbandingan nilai BER pada sistem dengan kanal *Rayleigh* + AWGN pada panjang *filter* $L=4,8,12$ dengan *step size* (μ) = 0.005 dapat dilihat grafik pada gambar 4.12

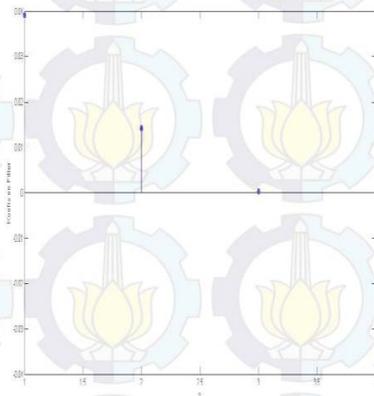
Pada Kanal *Rayleigh* + AWGN, dapat dilihat pada tabel bahwa panjang *filter* $L=8$ memiliki nilai BER lebih kecil dibandingkan dengan

panjang *filter* $L=4$ dan $L=12$. Ini dikarenakan apabila orde *filter* terlalu tinggi ($L=12$) dan terlalu rendah ($L=4$) maka sistem tidak dapat beradaptasi dengan baik.

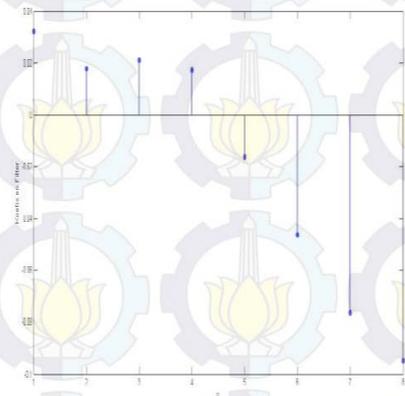


Gambar 4.12 Grafik Nilai BER LMS Kanal *Rayleigh* + AWGN dengan step size (μ)=0.005

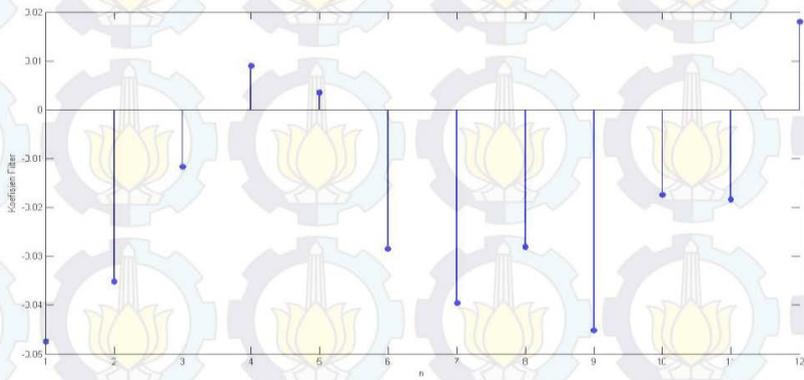
Selanjutnya didapatkan koefisien *filter* atau faktor pengali (w) ketika sistem ekualiser adaptif dengan kanal *Rayleigh* + AWGN ini sudah konvergen.



(a)



(b)



(c)

Gambar 4.13 (a).Koefisien *Filter* pada L=4 (b). Koefisien *Filter* pada L=8 (c).Koefisien *Filter* pada L=12

4.3 Analisis Implementasi dari Kinerja Sistem Ekuwaliser Algoritma LMS

Setelah melakukan pengujian sistem pada simulasi simulink, maka pengujian selanjutnya dilakukan pada sistem yang telah diimplementasikan ke dalam DSK TMS320C6416. Pengujian implementasi sistem pada DSK TMS3206416 menggunakan parameter yang sama pada saat simulasi sistem, agar dapat dibandingkan kinerja sistem saat disimulasikan dan diimplementasikan. Untuk mendapatkan nilai BER diperlukan blok RTDX pada data yang dikirim dan diterima. Jumlah bit yang dikirim adalah sebanyak 100.000 bit.

Pada pengujian ini dilakukan dengan menggunakan variabel tetap $\mu=0.005$ dan panjang *filter* yang diubah – ubah sebesar 4, 8,dan 12. Dimana pengujian sistem ini dilakukan sebanyak 3 kali pengukuran dan dihitung rata-rata dari hasil pengukuran tersebut.

4.3.1 Pengujian Implementasi Sistem dengan Kanal AWGN

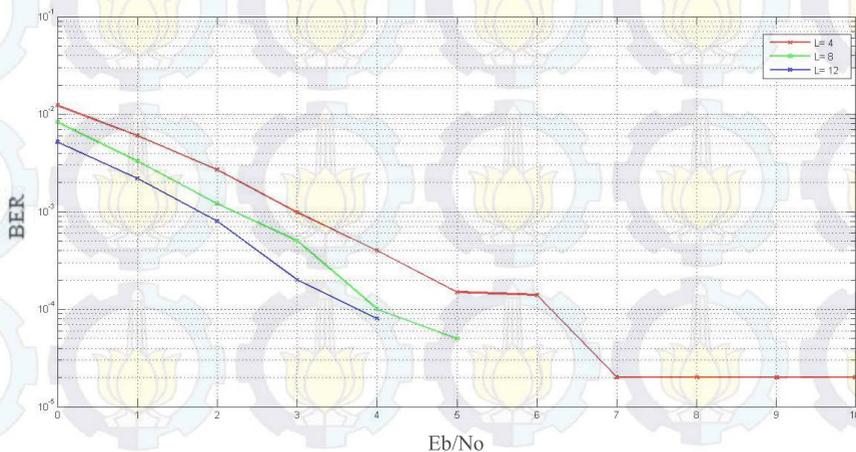
Pada tabel di bawah ini ditunjukkan hasil pengukuran pada panjang *filter* L 4, 8, dan 12 dengan *step size* (μ) 0.005

Dari hasil pengukuran yang dilakukan sebanyak 3 kali diperoleh bahwa dengan menggunakan panjang 12, BER lebih kecil

dibandingkan dengan panjang *filter* 4 dan 8. Hasil BER implementasi tidak jauh berbeda dengan hasil simulasi. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar 4.14

Tabel 4.6 Nilai BER Implementasi Algoritma LMS menggunakan Kanal AWGN dengan *step size* (μ)= 0.005

E_b/N_0	L=4	L=8	L=12
0	0.0115	0.0079	0.0047
1	0.0058	0.0033	0.0019
2	0.0026	0.0013	0.00074
3	0.00106	0.00048	0.00028
4	0.00043	0.00019	0.00015
5	0.00022	0.00013	0
6	0.00013	0	0
7	0.00011	0	0
8	0.00011	0	0
9	0.00011	0	0
10	0.00011	0	0



Gambar 4.14 Grafik Nilai BER Implementasi LMS Kanal AWGN dengan *step size* (μ)=0.005

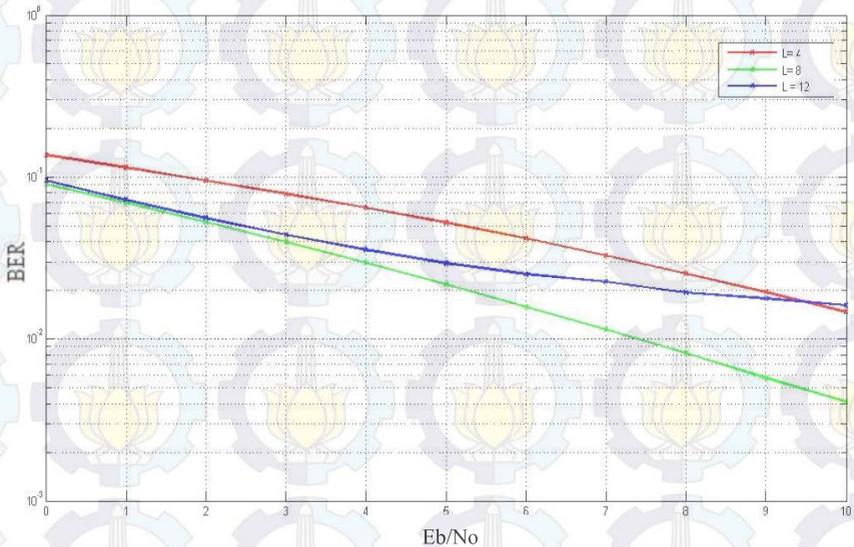
4.3.2 Pengujian Implementasi Sistem dengan Kanal Rayleigh + AWGN

Pengujian pada sistem ini dilakukan dengan cara yang sama seperti sistem yang hanya menggunakan kanal AWGN. Dengan melihat BER pada panjang *filter* 4, 8, dan 12 dengan *step size* (μ)=0.005

Tabel 4.7 Nilai BER Implementasi Algoritma LMS menggunakan Kanal *Rayleigh* + AWGN dengan *step size* (μ)= 0.005

Eb/No	L=4	L=8	L=12
0	0,136834	0,090404	0,095314
1	0,114634	0,069276	0,072266
2	0,095318	0,052522	0,055956
3	0,078912	0,039676	0,044108
4	0,064724	0,029502	0,035642
5	0,05239	0,021682	0,029394
6	0,04174	0,015782	0,025126
7	0,032716	0,011408	0,022526
8	0,025372	0,008202	0,019382
9	0,019532	0,00575	0,017762
10	0,01472	0,004096	0,016134

Hasil implementasi sistem dengan kanal *Rayleigh* + AWGN hampir sama dengan hasil simulasi. Dengan nilai BER paling kecil didapat pada saat panjang *filter* 8. Untuk lebih jelas dapat dilihat pada gambar 4.15



Gambar 4.15 Grafik Nilai BER Implementasi LMS Kanal *Rayleigh* + AWGN dengan step size (μ)=0.005

4.3.3 Pengujian Implementasi Sistem dengan Kanal *Real*

Pengujian pada sistem ini dilakukan dengan model simulink pada DSK sebagai pengirim dan PC sebagai penerima. Pada proses analisa didapatkan bahwa data konvergen setelah bit ke 44.100, sehingga nilai BER dihitung pada bit ke 44.100 sampai dengan bit ke 100.000. Dengan jarak pengirim (speaker) dan penerima (microphone) sejauh 3cm dan sample time 1/44100.

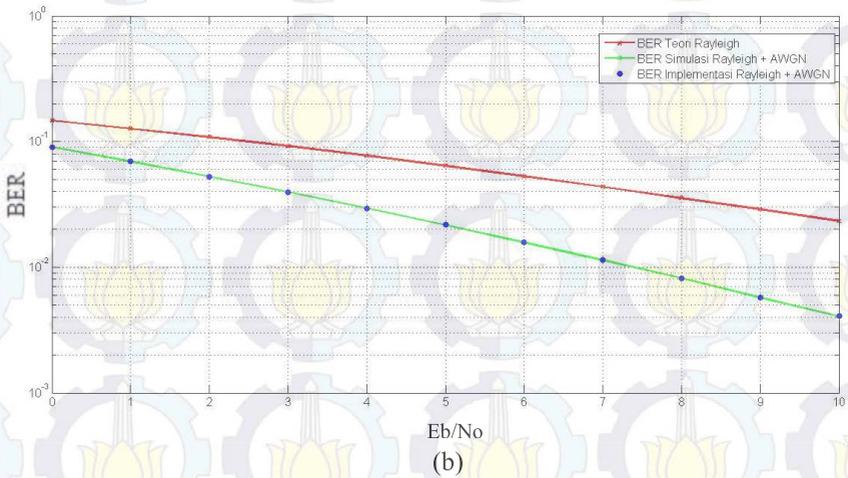
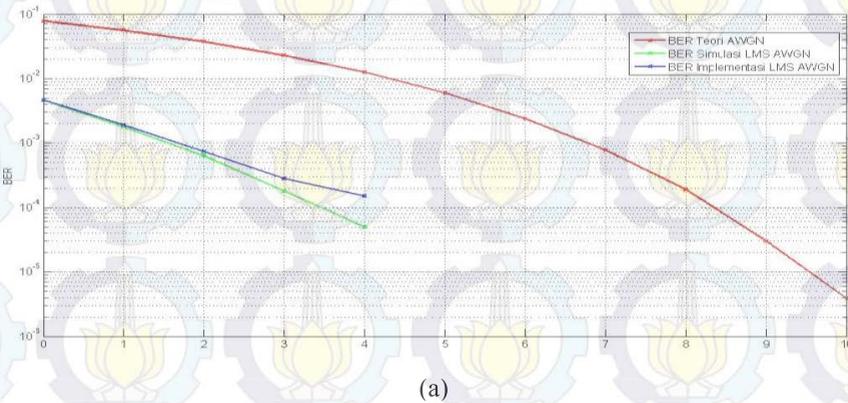
Tabel 4.8 Nilai BER Implementasi Algoritma LMS menggunakan Kanal *Real* dengan step size (μ)= 0.005

Tanpa Ekuwaliser	L=4	L=8	L=12
0.00014	0.00005	0.00012	0.00019

Dari tabel di atas dapat dilihat bahwa pada kanal *real*, panjang *filter* yang paling baik =4. Semakin besar nilai panjang *filter*, nilai BER pun semakin besar.

4.4 Perbandingan Kinerja Sistem Ekualiser Algoritma LMS Berdasarkan Hasil Simulasi dan Implementasi

Pada sub bab ini akan dilihat perbandingan grafik BER vs E_b/N_0 sistem ekualiser adaptif algoritma LMS dengan kanal AWGN dan kanal *Rayleigh* + AWGN baik simulasi maupun implementasi.



Gambar 4.15 Grafik perbandingan kinerja sistem tanpa ekualiser dan dengan ekualiser (a) Kanal AWGN (b) Kanal *Rayleigh* + AWGN

Pada gambar grafik di atas dapat dilihat bahwa sistem ekualiser adaptif dengan 2 bentuk kanal berbeda dapat mengatasi ISI baik secara simulasi maupun implementasi. Pada sistem yang hanya menggunakan kanal AWGN BER terbaik didapat pada panjang *filter* 12 dan *step size* 0.005 sedangkan pada sistem dengan kanal *Rayleigh* + AWGN didapat bahwa BER paling baik didapat pada saat panjang *filter* 8 dan *step size* 0.005, hal ini dikarenakan pada bentuk kanal *Rayleigh* + AWGN dengan orde *filter* 12 memerlukan waktu perhitungan yang lebih lama, dan mengakibatkan BER akan semakin membesar.

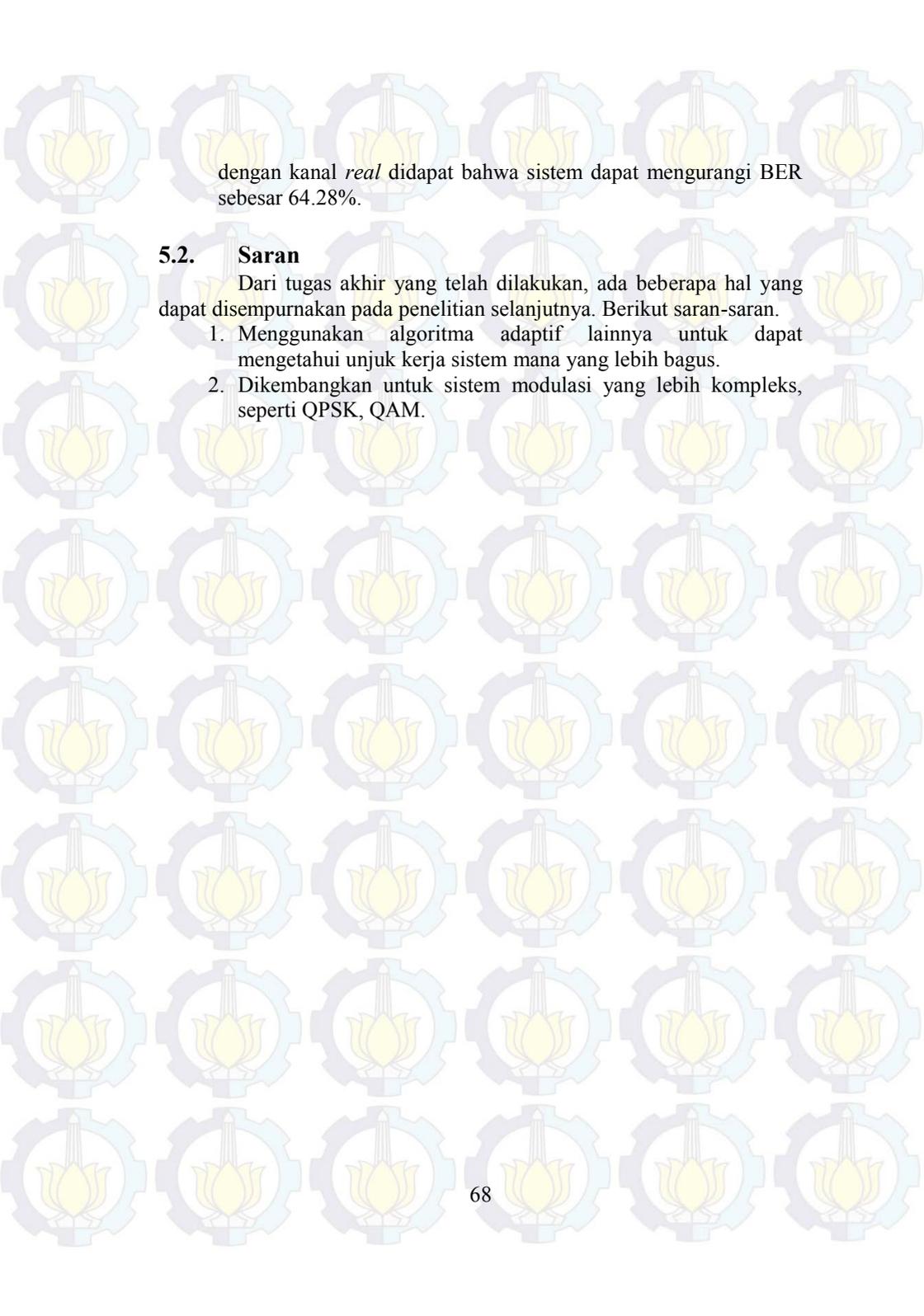
Sesuai dengan teori bahwa variabel yang berperan penting pada sistem ekualiser adaptif ini adalah nilai panjang *filter* dan *step size*. Apabila nilai *step size* semakin besar, akan semakin cepat konvergen namun hasil yang dihasilkan tidak sebaik jika nilai *step size* kecil. Tetapi jika nilai *step size* kecil akan dibutuhkan waktu yang jauh lebih lama untuk mencapai konvergen.

BAB V PENUTUP

5.1. Kesimpulan

Pada Tugas akhir ini diuji nilai BER pada kanal AWGN, Kanal Rayleigh + AWGN dan Kanal real akustik udara dengan ekualiser beralgoritma LMS yang dilakukan dengan pengujian secara simulasi menggunakan simulink dan implementasi menggunakan TMS320C6416. Berdasarkan dari hasil proses simulasi, implementasi, pengujian dan analisis dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Ekualiser adaptif dengan algoritma LMS pada sistem mampu dalam mengurangi distorsi akibat kanal pada sinyal informasi, khususnya untuk sistem dengan karakteristik kanal yang tidak ideal.
2. Pada sistem komunikasi bawah air dengan kanal AWGN tanpa ekualiser adaptif dan dengan menggunakan ekualiser adaptif algoritma LMS dalam pengujian 100.000 bit. Pada saat E_b/N_0 yang sama yaitu 3 dB, tanpa menggunakan ekualiser algoritma LMS didapat nilai $BER = 2.29 \times 10^{-2}$ sedangkan dengan menggunakan ekualiser LMS nilai $BER = 1.8 \times 10^{-4}$, sehingga terjadi pengurangan nilai BER sebesar $= 2.272 \times 10^{-2}$ atau sebesar 99.21%.
3. Pada sistem komunikasi bawah air dengan kanal Rayleigh + AWGN tanpa ekualiser adaptif dan dengan menggunakan ekualiser adaptif algoritma LMS dalam pengujian 100.000 bit. Pada saat E_b/N_0 yang sama yaitu 5 dB, tanpa menggunakan ekualiser algoritma LMS didapat nilai $BER = 6.94 \times 10^{-2}$ sedangkan dengan menggunakan ekualiser LMS nilai $BER = 1.57 \times 10^{-2}$, sehingga terjadi pengurangan nilai BER sebesar $= 5.37 \times 10^{-2}$ atau sebesar 77.37%.
4. Berdasarkan dari pengujian yang telah dilakukan, nilai BER dari hasil implementasi sistem komunikasi bawah air menggunakan ekualiser adaptif algoritma LMS pada DSK TMS320C6416T hampir sesuai dengan hasil simulasi pada Matlab Simulink walaupun terdapat sedikit selisih terhadap nilai BER yang diperoleh pada simulasi. Sedangkan untuk implementasi pengirim



dengan kanal *real* didapat bahwa sistem dapat mengurangi BER sebesar 64.28%.

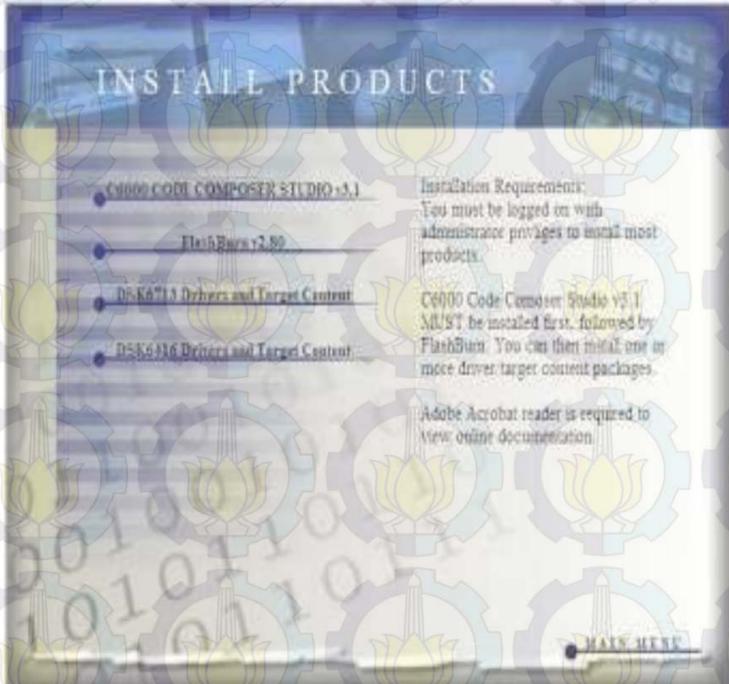
5.2. Saran

Dari tugas akhir yang telah dilakukan, ada beberapa hal yang dapat disempurnakan pada penelitian selanjutnya. Berikut saran-saran.

1. Menggunakan algoritma adaptif lainnya untuk dapat mengetahui unjuk kerja sistem mana yang lebih bagus.
2. Dikembangkan untuk sistem modulasi yang lebih kompleks, seperti QPSK, QAM.

LAMPIRAN

Perangkat Lunak yang digunakan untuk memprogram DSK TMS320C6416T adalah *Code Composer Studio* yang saat ini menggunakan versi 3.1. CCS v3.1 hanya berjalan di *Operating System Windows XP*. Pada tampilan awal instalasi terdapat beberapa pilihan instalasi seperti pada Gambar di bawah ini

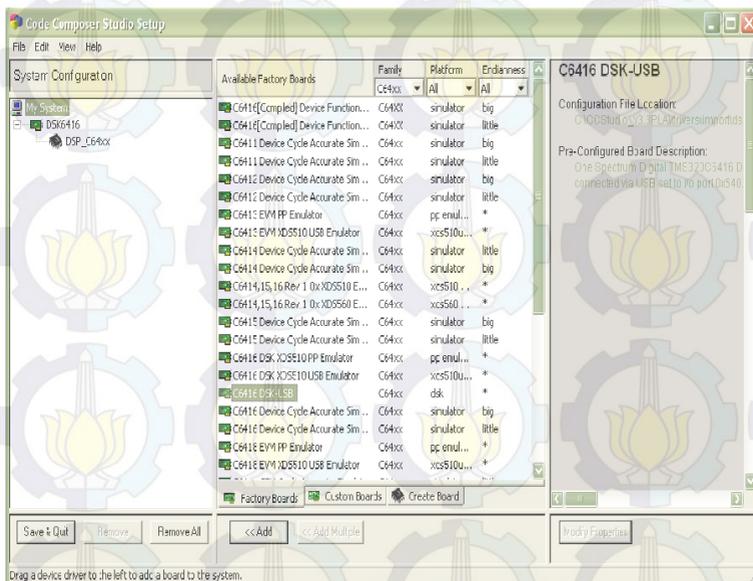


Tampilan Instalasi *TMS320C6000 DSK Tools*

Pertama, *install C600 Code Composer Studio v3.1* sebagai aplikasi CCS pada PC. Selanjutnya *install FlashBurn v2.80* dan terakhir *install DSK6416 Drivers and Target Content* sesuai dengan DSK TMS 320C6000 yang digunakan.

Selanjutnya apabila proses instalasi selesai, diperlukan proses pengenalan prosesor ke PC. Oleh karena itu, langkah selanjutnya yaitu

membuka aplikasi setup CCStudio v3.1, kemudian pilih C6416 DSK pada bagian *Available Factory Boards* dan klik *Add*.



Tampilan pilihan prosesor yang digunakan

Proses instalasi *driver* DSK TMS3206416 dengan cara menghubungkan DSK dengan PC terlebih dahulu melalui port USB. Pada saat PC meminta *driver* dari komponen yang terhubung ke USB, pilih direktori *drive* CD agar PC mencari dan menginstall *driver* DSK secara otomatis.

Dengan software 6416 DSK Diagnostic Utility v.3.1 akan muncul status Diagnostic awal "IDLE". Untuk mendiagnosa status koneksi USB dari PC dengan *DSK board*, *Emulation*, *DSP*, *External Memory*, *Flash*, *Codec*, *LED*, dan *Dip switch*. Ketika muncul status "PASS" klik tombol *STOP* seperti Gambar 3.4 kemudian tutup aplikasi tersebut.



Tampilan CCS Diagnostic Utility v3.1

Simulink

Simulink adalah graphical extension Matlab untuk memodelkan dan mensimulasikan sebuah system. Dalam Simulink, sistem digambarkan sebagai sebuah block diagram, diantaranya *transfer function*, *summing junction*, didalamnya terdapat pula virtual input dan output device seperti *function generator* dan *oscilloscope*. File yang telah dibuat akan disimpan kedalam ekstensi file **.mdl* dimana file dengan tipe ekstensi dapat diintegrasikan kedalam Code Composer Studio. Terdapat beberapa langkah yang harus dilakukan agar file dapat diintegrasikan kedalam Code Composer Studio seperti pengaturan *configuration parameters*, *solver*, dan *real-time workshop*.

Beberapa konfigurasi yang telah dilakukan menjadikan file *Simulink* siap untuk diintegrasikan kedalam Code Composer Studio. Dengan adanya matlab *Simulink* ini dapat memudahkan untuk membuat atau membangun sebuah sistem yang dibutuhkan dan dapat diintegrasikan kedalam Code Composer Studio sehingga sistem yang telah dibuat dapat diterjemahkan oleh DSK TMS320C6x.

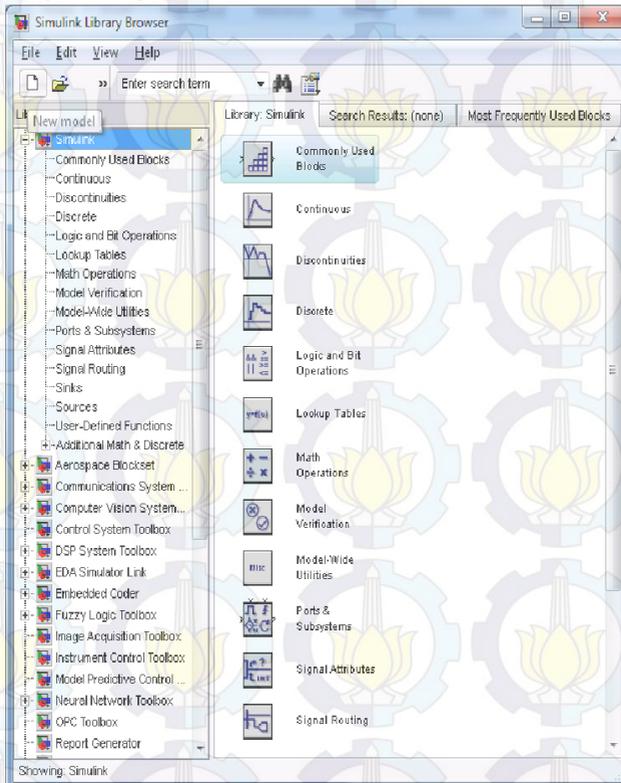
Untuk memulai *Simulink*, pertama-tama dilakukan dengan menjalankan *software* Matlab terlebih dahulu lalu mengetikkan "*Simulink*" pada *command window* atau dapat juga dengan meng-klik *icon Simulink* pada *toolbar*. Selanjutnya muncul *window "Simulink Library Browser"* yang berisi berbagai macam blockset untuk membuat pemodelan dasar suatu sistem.

Elemen dasar dari Simulink adalah block dan lines, Block digunakan untuk mengenerate, modify, combine, output, dan display signals. Lines digunakan untuk mentransfer sinyal dari satu block ke block lainnya

Dalam membuat pemodelan sistem baru hanya dengan klik *icon "Create A New Model"*, kemudian muncul *window* dengan lembar kosong. Lembar ini yang nantinya digunakan untuk meletakkan objek dari blok-blok sistem yang akan dimodelkan.

Lembar ini yang nantinya digunakan untuk meletakkan objek dari blok-blok sistem yang akan dimodelkan. Caranya, pilih blok yang diinginkan dari *Simulink Library* kemudian di-*drag* ke *window* kosong tersebut. Selanjutnya, hubungkan blok-blok tersebut dengan menarik output dari suatu blok ke input dari blok lain hingga muncul anak panah. Setelah pemodelan sistem sudah dibentuk, dapat dilakukan simulasinya

dengan menentukan waktu simulasi pada kotak *toolbar* lalu klik *icon run*.



Tampilan Simulink *Library*

Lembar ini yang nantinya digunakan untuk meletakkan objek dari blok-blok sistem yang akan dimodelkan. Caranya, pilih blok yang diinginkan dari *Simulink Library* kemudian di-*drag* ke *window* kosong tersebut. Selanjutnya, hubungkan blok-blok tersebut dengan menarik output dari suatu blok ke input dari blok lain hingga muncul anak panah. Setelah pemodelan sistem sudah dibentuk, dapat dilakukan simulasinya dengan menentukan waktu simulasi pada kotak *toolbar* lalu klik *icon run*. Hasil dari simulasi tersebut dapat dilihat pada sebuah *scope*,

display, *vector scope*, *workspace* dan sebagainya yang terdapat pada blockset “*sink*”, tergantung dengan output yang dihasilkan blok tersebut

Diagram Pola Mata

Spesifikasi sinyal digital dapat dilihat pada *scope eye pattern*, yang memiliki pola menyerupai mata (*eye pattern*) manusia. Pola ini terbentuk akibat terjadi ulasan berkali-kali terhadap data digital, dengan laju bit yang tinggi. Dengan *eye pattern*, tampilan bit per bit tidak dapat terlihat, namun spesifikasi atau parameter suatu sinyal digital dapat diketahui.

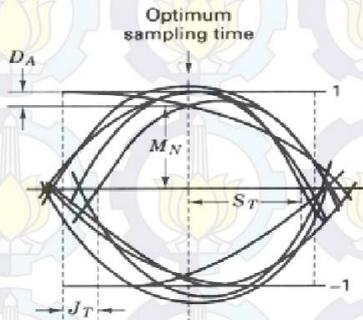


Diagram Pola Mata

Untuk range amplitud yang disimbolkan oleh D_A merupakan ukuran besarnya distorsi yang disebabkan oleh ISI, perbedaan waktu yang memotong sumbu nol yang disimbolkan J_T merupakan ukuran Jitter. Ukuran besarnya noise margin disimbolkan oleh M_N dan sensitivitas waktu error disimbolkan oleh S_T seperti pada gambar apabila mata tertutup, maka ISI meningkat dan jika terbuka, ISI menurun.

Pada Simulasi didapatkan hasil dari diagram pola mata setelah data melewati kanal Rayleigh + AWGN dan sebelum melewati kanal. Dan juga dapat dilihat diagram pola mata setelah data keluar dari ekualiser

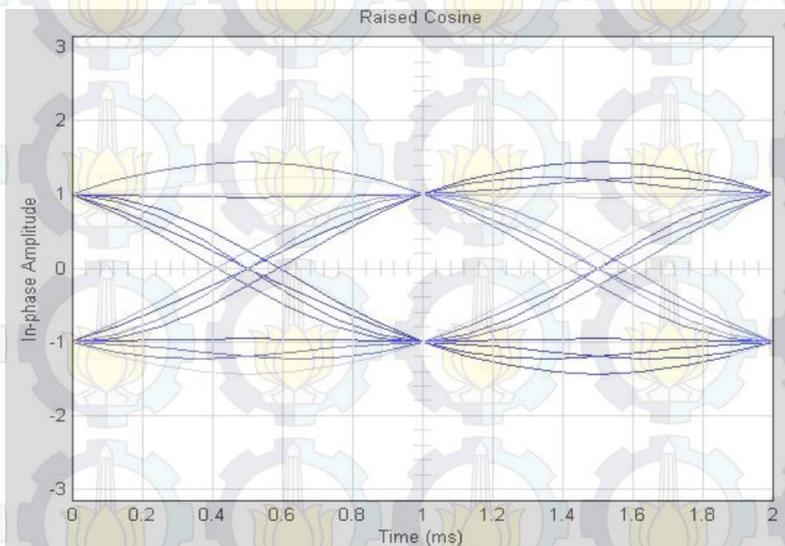


Diagram Pola Mata Keluaran dari Filter Raised Cosine

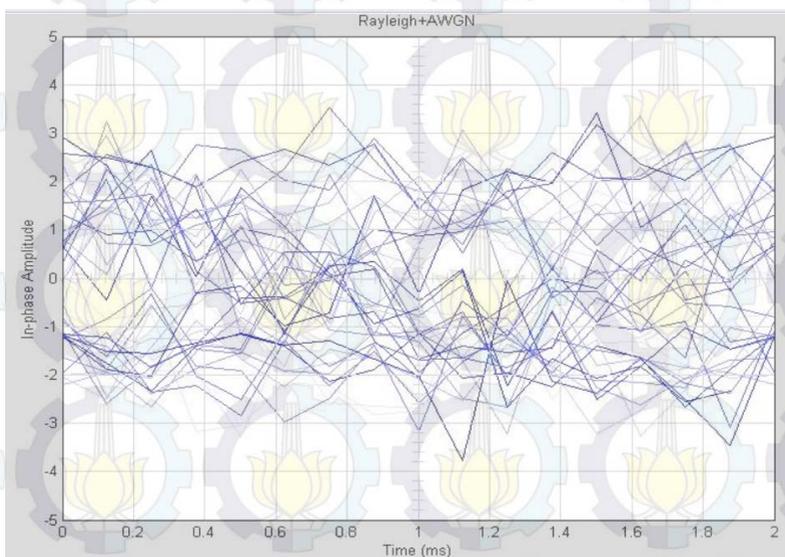


Diagram Pola Mata Keluaran dari Kanal Rayleigh + AWGN

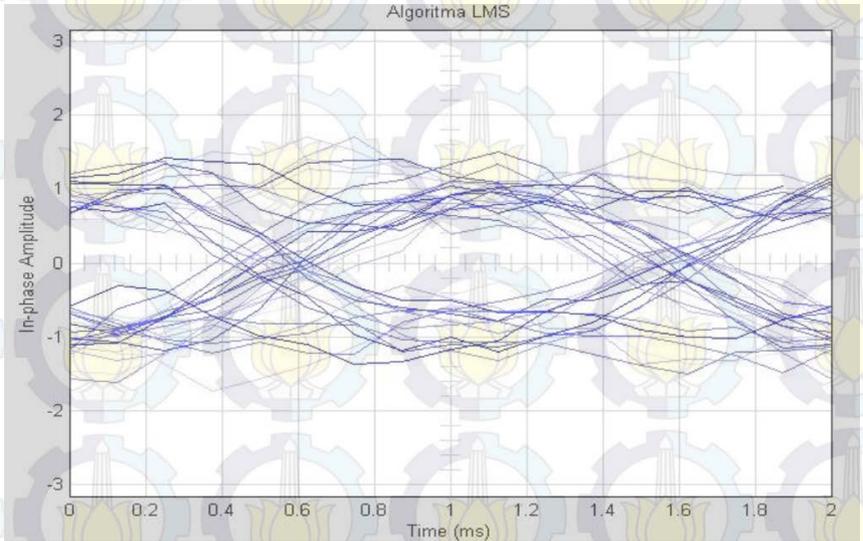


Diagram Pola Mata Keluaran dari Ekuwaliser LMS