



**ITS**  
Institut  
Teknologi  
Sepuluh Nopember

**TUGAS AKHIR - TE 091399**

**IMPLEMENTASI MIMO STBC ALAMOUTI MENGGUNAKAN  
DSK TMS320C6416T**

**Naldo Baskara Armand  
NRP 2211106051**

**Dosen Pembimbing  
Dr. Ir. Suwadi, MT  
Dr. Ir. Titiek Suryani, MT**

**JURUSAN TEKNIK ELEKTRO  
Fakultas Teknologi Industri  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2014**



**ITS**  
Institut  
Teknologi  
Sepuluh Nopember

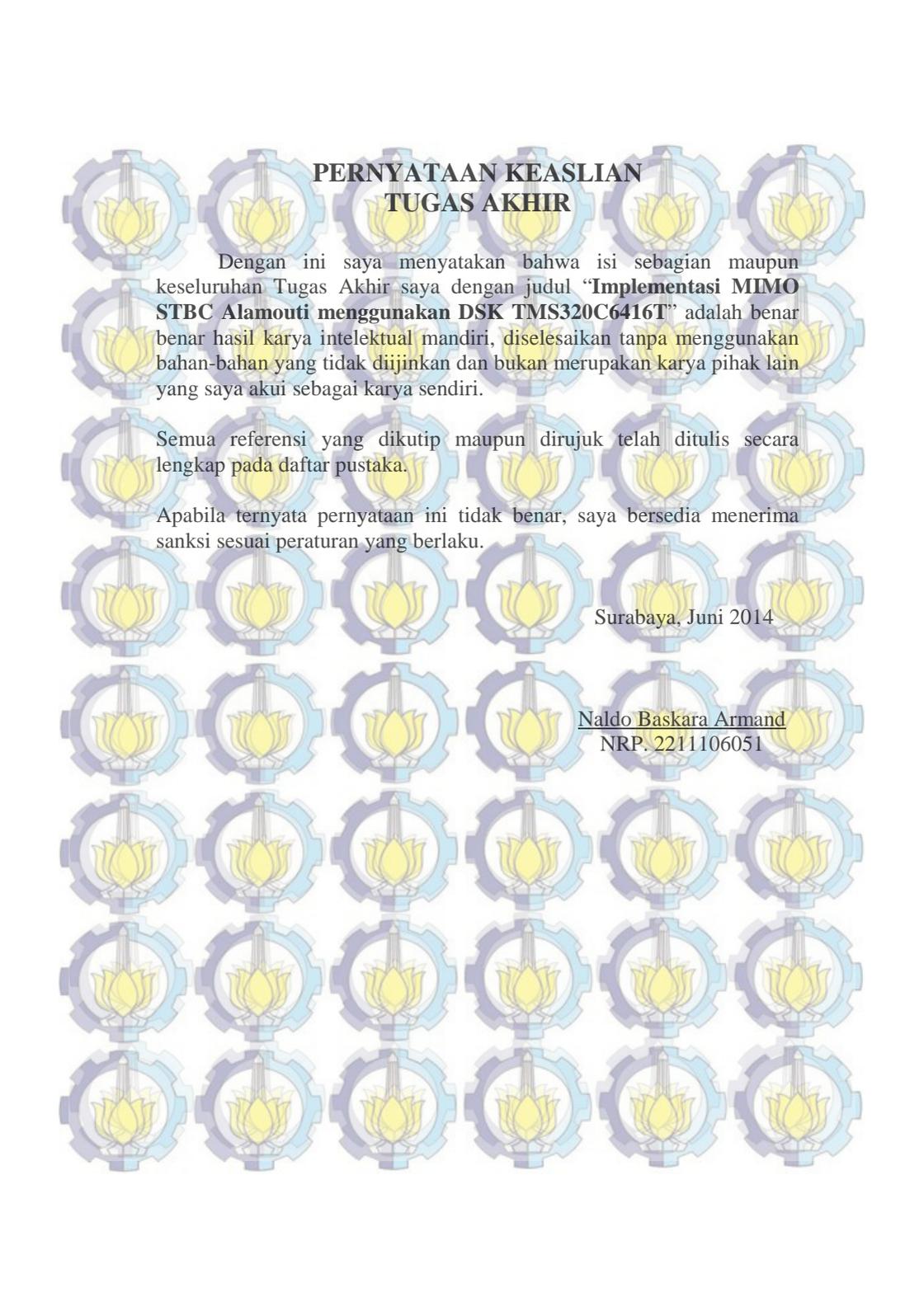
**FINAL PROJECT - TE 091399**

**IMPLEMENTATION OF MIMO STBC ALAMOUTI USING  
DSK TMS320C6416T**

**Naldo Baskara Armand  
NRP 2211106051**

**Supervisor  
Dr. Ir. Suwadi, MT  
Dr. Ir. Titiek Suryani, MT**

**ELECTRICAL ENGINEERING DEPARTMENT  
Faculty of Industrial Technology  
Sepuluh Nopember Institute of Technology  
Surabaya 2014**



## PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Dengan ini saya menyatakan bahwa isi sebagian maupun keseluruhan Tugas Akhir saya dengan judul **“Implementasi MIMO STBC Alamouti menggunakan DSK TMS320C6416T”** adalah benar benar hasil karya intelektual mandiri, diselesaikan tanpa menggunakan bahan-bahan yang tidak diijinkan dan bukan merupakan karya pihak lain yang saya akui sebagai karya sendiri.

Semua referensi yang dikutip maupun dirujuk telah ditulis secara lengkap pada daftar pustaka.

Apabila ternyata pernyataan ini tidak benar, saya bersedia menerima sanksi sesuai peraturan yang berlaku.

Surabaya, Juni 2014

Naldo Baskara Armand  
NRP. 2211106051

**IMPLEMENTASI MIMO STBC ALAMOUTI  
MENGUNAKAN DSK TMS320C6416T**

**TUGAS AKHIR**

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

**Menyetujui :**

**Dosen Pembimbing I,**



**Dr. Ir. Suwadi, MT**  
**NIP. 19680818 1993031002**

**Dosen Pembimbing II,**



**Dr. Ir. Titiek Suryani, MT**  
**NIP. 19641130 1989032 001**



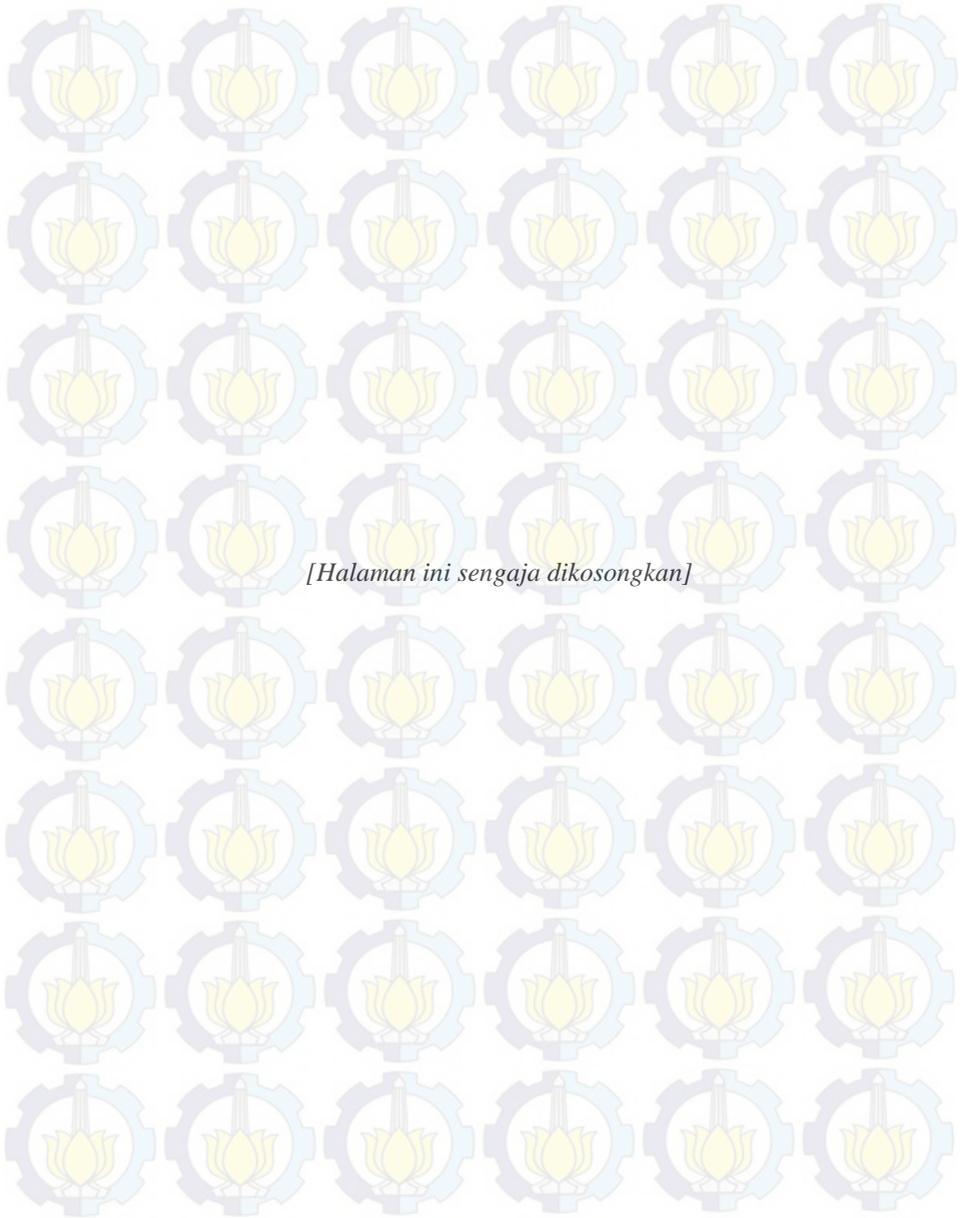
## ABSTRAK

Media komunikasi nirkabel sering digunakan tetapi banyak memiliki gangguan. Salah satu gangguan terbesar terjadi pada area *urban* atau perkotaan adalah *multipath fading*. Dampak dari *multipath fading* dapat menurunkan kinerja dari sistem komunikasi nirkabel tersebut. Banyak penelitian dilakukan untuk mengurangi dampak dari *multipath fading*, salah satunya yaitu dengan menggunakan teknik diversitas.

MIMO STBC Alamouti merupakan teknik transmisi diversitas yang tidak terlalu rumit bila dibandingkan dengan lainnya. Pada Tugas akhir ini dibuat sistem komunikasi yang menggunakan teknik MIMO yang terdiri pemancar yang menggunakan pengkodean Alamouti dan di penerima menggunakan teknik MRC, dimana modulasi yang digunakan adalah BPSK. Sistem ini diimplementasikan menggunakan perangkat DSP Starter Kit TMS320C6416T dan diuji ketahanan sistem terhadap kanal *flat*, *slow rayleigh fading* dan AWGN.

Analisa meliputi nilai BER hasil pengujian yang diperoleh dengan mengubah parameter  $E_b/N_0$  pada kanal AWGN. Hasil pengujian simulasi dan implementasi ditampilkan dalam bentuk grafik BER terhadap variasi  $E_b/N_0$  dengan mengirimkan 100.000 bit. Hasil pengimplementasian ke dalam DSK TMS320C6416T bahwa sistem MIMO Alamouti memiliki nilai BER yang lebih baik dari MISO dan SISO. Pada BER  $3 \times 10^{-3}$  MIMO dapat memiliki nilai  $E_b/N_0$  lebih baik 13db dibandingkan dengan SISO dan lebih baik 6db dibandingkan dengan MISO. Dari hasil tersebut dapat disimpulkan bahwa MIMO Alamouti memiliki kinerja yang lebih baik dalam menghadapi *fading*.

**Kata Kunci:** MIMO STBC Alamouti, MRC, *Rayleigh fading*, DSK TMS320C6416T



*[Halaman ini sengaja dikosongkan]*

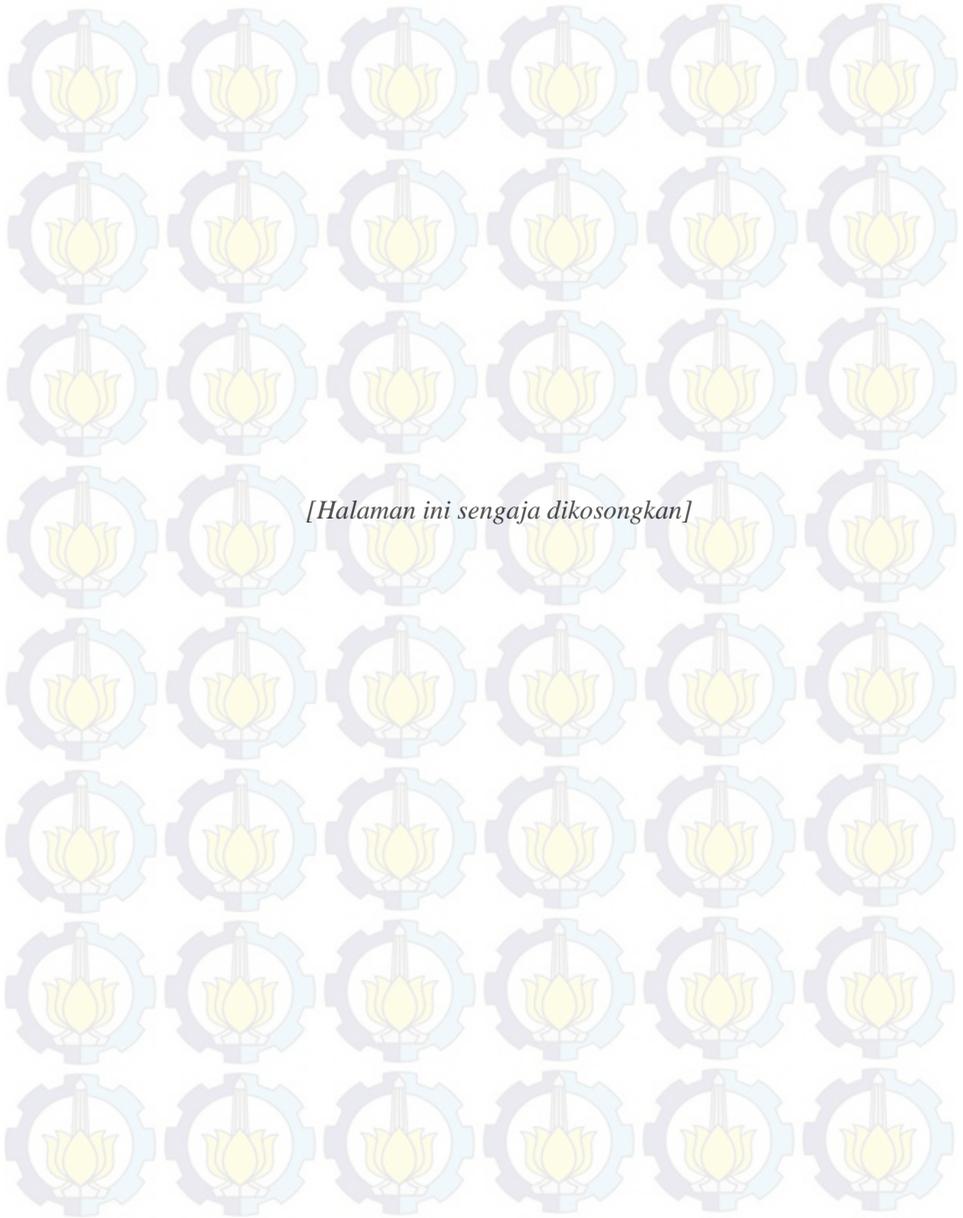
## ABSTRACT

Wireless communication media is generally used but has certain impairments. One of those which mostly happened within urban area or city area are multipath fading. Effect from multipath fading could degrade the performance of wireless communication system. There are several research had been done to reduce the effect of multipath fading and one of them is by using diversity technique.

MIMO STBC Alamouti is a diversity transmission technique which is quite simple compared to others. In this final project, a communication system is made using a MIMO technique, consist of transmitter with Alamouti coding and receiver with MRC technique while using BPSK modulation. This system was implemented using a hardware DSP Starter Kit TMS320C6416T and was tested against flat, slow rayleigh fading and AWGN channel.

Analysis is consisting of BER value from experiment result which acquired by varying  $E_b/N_0$  parameter on AWGN channel. Experiment results of simulation and implementation are shown on BER v.s.  $E_b/N_0$  graph by sending 100.000 bits. Results of implementation on DSK TMS320C6416T shows that MIMO Alamouti system has superior BER value in contrast to MISO and SISO. With BER  $3 \times 10^{-3}$  MIMO can reach value  $E_b/N_0$  13 dB better than SISO and 6 dB better than MISO. From previously mentioned result, the conclusion is that MIMO Alamouti has better performance against fading.

**Keywords:** MIMO STBC Alamouti, MRC, Rayleigh fading, DSK TMS320C6416T



*[Halaman ini sengaja dikosongkan]*

## KATA PENGANTAR

Alhamdulillahirabbil'aalamiin, segala puji syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT atas segala rahmat dan hidayah yang telah diberikanNya, sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul :

" IMPLEMENTASI *MIMO ALAMOUTI 2X2* MENGGUNAKAN DSK TMS320C6416T "

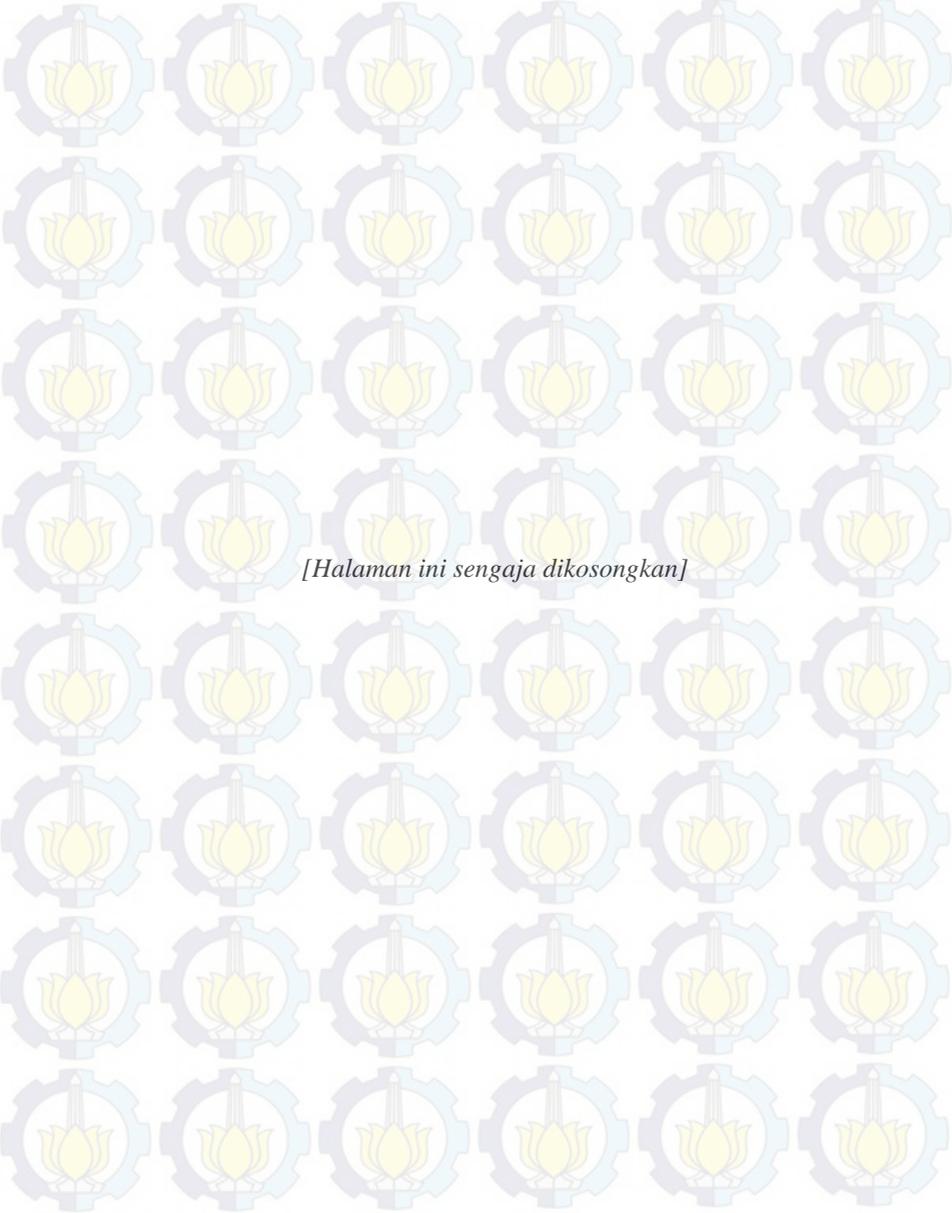
Tugas akhir ini dibuat untuk memenuhi persyaratan mendapatkan gelar Strata I pada jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

Penulis menyadari bahwa buku ini jauh dari sempurna, oleh sebab itu saran dan kritik yang bersifat membangun senantiasa dinantikan. Harapan penulis adalah semoga apa yang telah dituangkan dalam buku ini dapat bermanfaat bagi penulis dan rekan-rekan mahasiswa khususnya serta para pembaca pada umumnya. Penulis juga berharap agar tugas akhir ini dapat dikembangkan lebih lanjut sehingga dapat digunakan sebaik-baiknya untuk mendukung perkembangan ilmu pengetahuan.

Akhirnya tak lupa penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada semua pihak yang telah memberikan bantuan dan dukungan hingga terselesaikannya tugas akhir ini.

Surabaya, Juni 2014

Penulis



## TABLE OF CONTENTS

<b>TITLE</b>		
<b>ORIGINALITY STATEMENT OF FINAL PROJECT</b> .....		<b>i</b>
<b>APPROVAL SHEET</b> .....		<b>iii</b>
<b>ABSTRACT(id)</b> .....		<b>v</b>
<b>ABSTRACT(en)</b> .....		<b>vii</b>
<b>PREFACE</b> .....		<b>ix</b>
<b>LIST OF CONTENT</b> .....		<b>xi</b>
<b>ILLUSTRATION</b> .....		<b>xv</b>
<b>TABLES</b> .....		<b>xvii</b>
<b>CHAPTER I INTRODUCTION</b> .....		<b>1</b>
1.1 Background.....		1
1.2 Problems Formulation.....		2
1.3 Problem Limitation .....		2
1.4 Objective.....		2
1.5 Research Methodology .....		3
1.6 Systematic of Writing.....		3
1.7 Relevance.....		4
<b>CHAPTER II BASIC THEORY</b> .....		<b>5</b>
2.1 BPSK Digital Modulation.....		5
2.2 MIMO.....		6
2.2.1 Recieved Diversity with Maximal Ratio Recieve Combining ( MRRC ).....		7
2.2.2 Transmit Diversity with Alamouti Coding Method.....		9
2.2.2.1 STBC Alamouti for MISO 2X1 .....		10
2.2.2.2 STBC Alamouti for MISO 2X2.....		12
2.3 Fading.....		15
2.3.1 Large scale fading.....		15
2.3.2 Small scale fading .....		15
2.3.2.1 Flat Fading .....		17
2.3.2.2 Frequency selective fading .....		18
2.3.2.3 Fast Fading .....		19
2.3.2.2 Slow fading.....		20

2.4	Rayleigh .....	19
2.5	DSK TMS320C6416T.....	23
2.6	Code Composer Studio .....	25
2.7	Matlab Simulink .....	26

**CHAPTER III DESIGN AND IMPLEMENTATION SYSTEM ..... 29**

3.1	Flow of System Design .....	30
3.2	Software Preparation.....	31
3.2.1	Code Composer Studio ver 3.3 Installation.....	32
3.2.2	Integration Code Composer ver 3.3 to Simulink.....	34
3.3	Modeling System.....	37
3.3.1	SISO Simulation.....	38
3.3.2	MISO Simulation .....	44
3.2.3	MIMO Alamouti 2X2 Simulation .....	52
3.4	Implementation System using DSK TMS320C6416T .....	57
3.5	Method of Testing System.....	59
3.6	Testing of Scenario.....	60
3.6.1	SISO.....	60
3.6.2	MISO.....	61
3.6.3	MIMO.....	62

**BAB IV TESTING AND ANALYSIS SYSTEM..... 65**

4.1	SISO, MISO and MIMO System Performance Calculation in Theory .....	65
4.2	Testing of Simulation SISO, MISO dan MIMO System.....	66
4.3	Testing of Implementation SISO, MISO dan MIMO .....	70
4.4	Overall Analysis.....	73

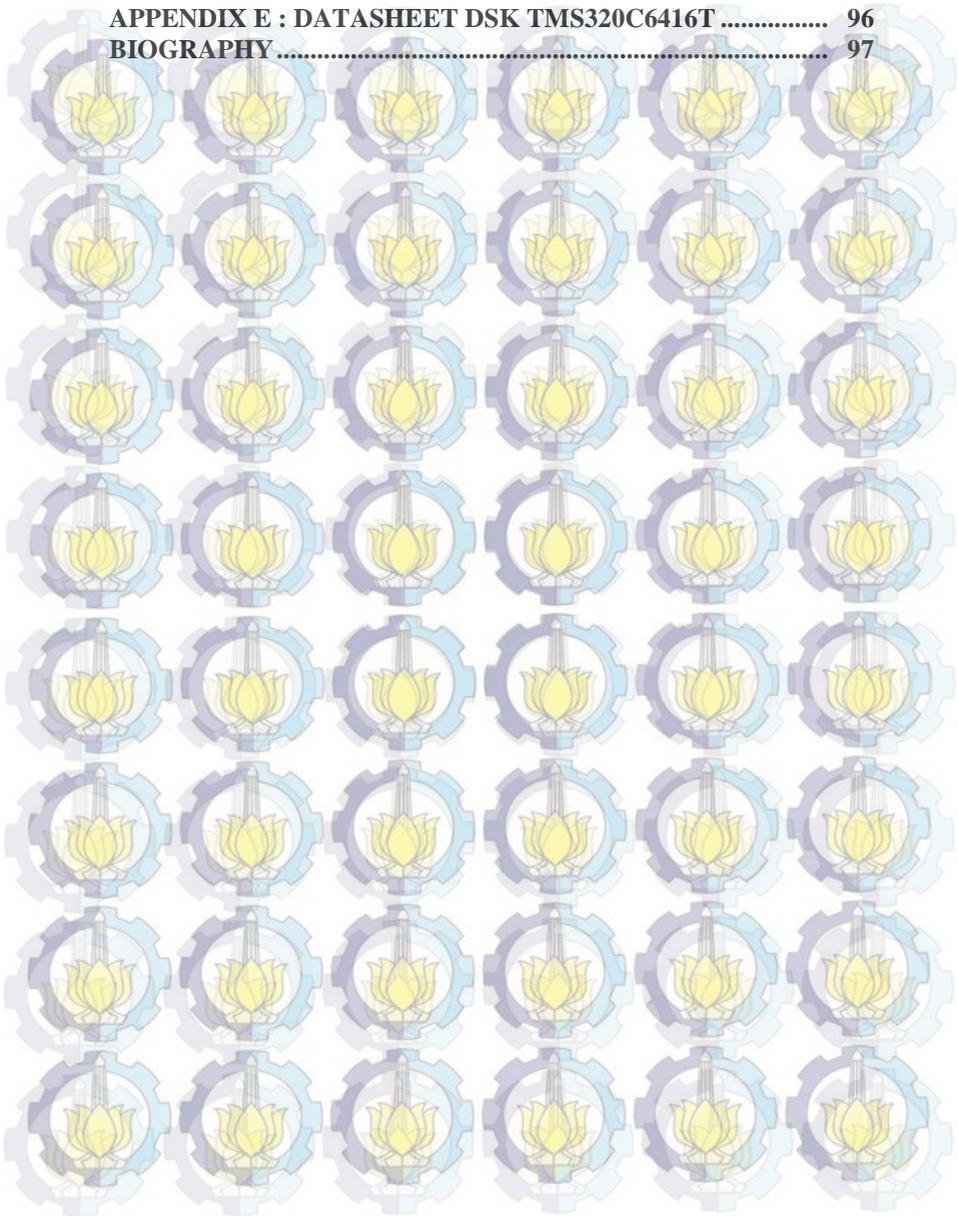
**CHAPTER V CLOSING ..... 77**

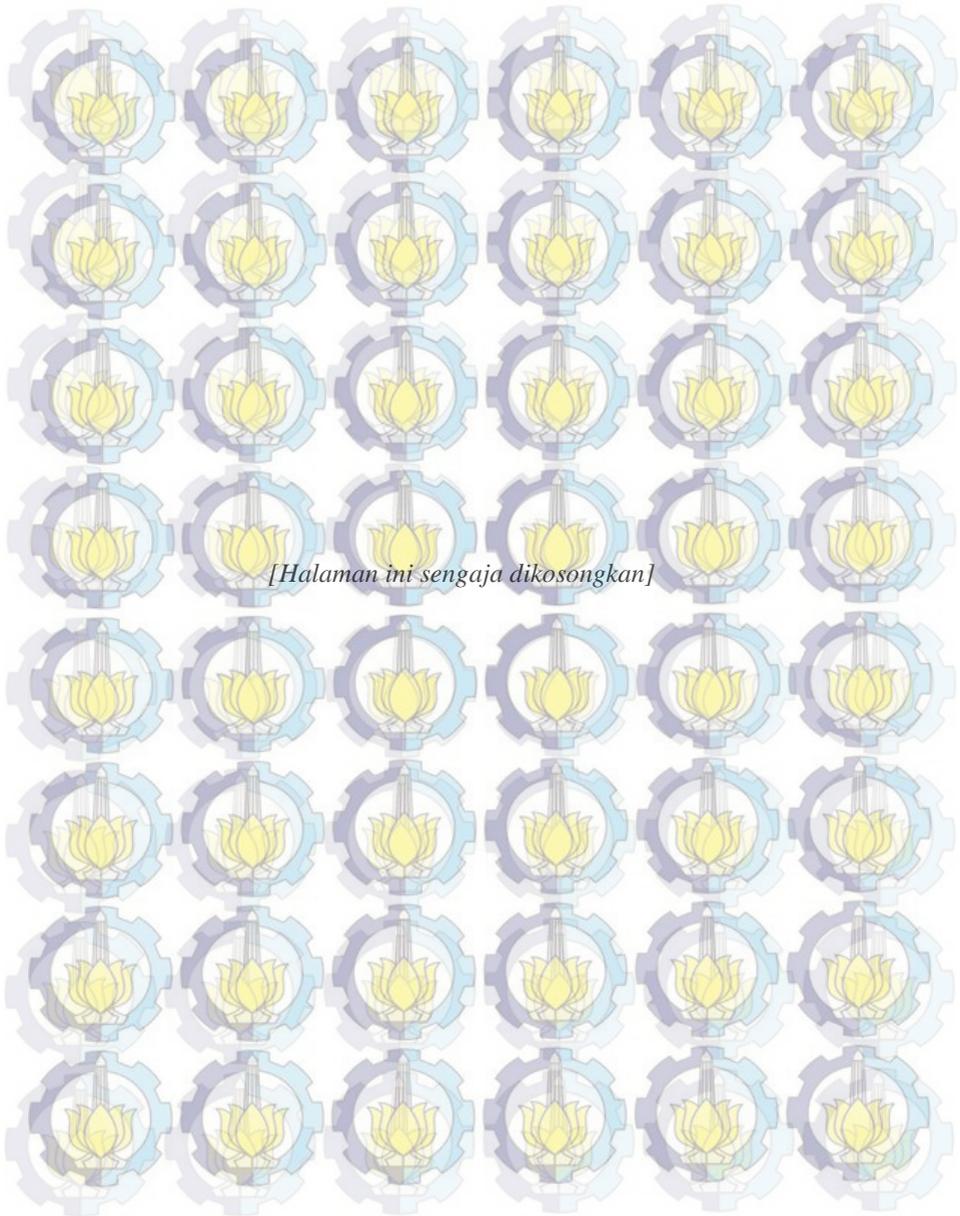
5.1	Conclusion.....	77
5.2	Advice .....	77

**REFERENCES ..... 79**

<b>APPENDIX A</b>	<b>: FINAL PROJECT PROPOSAL .....</b>	<b>81</b>
<b>APPENDIX B</b>	<b>: SHEETS MONITORING OF TA .....</b>	<b>88</b>
<b>APPENDIX C</b>	<b>: TABLES OF TESTING RESULT .....</b>	<b>89</b>
<b>APPENDIX D</b>	<b>: LISTING PROGRAM MATLAB IN RTDX TESTING.....</b>	<b>95</b>

**APPENDIX E : DATASHEET DSK TMS320C6416T ..... 96**  
**BIOGRAPHY ..... 97**



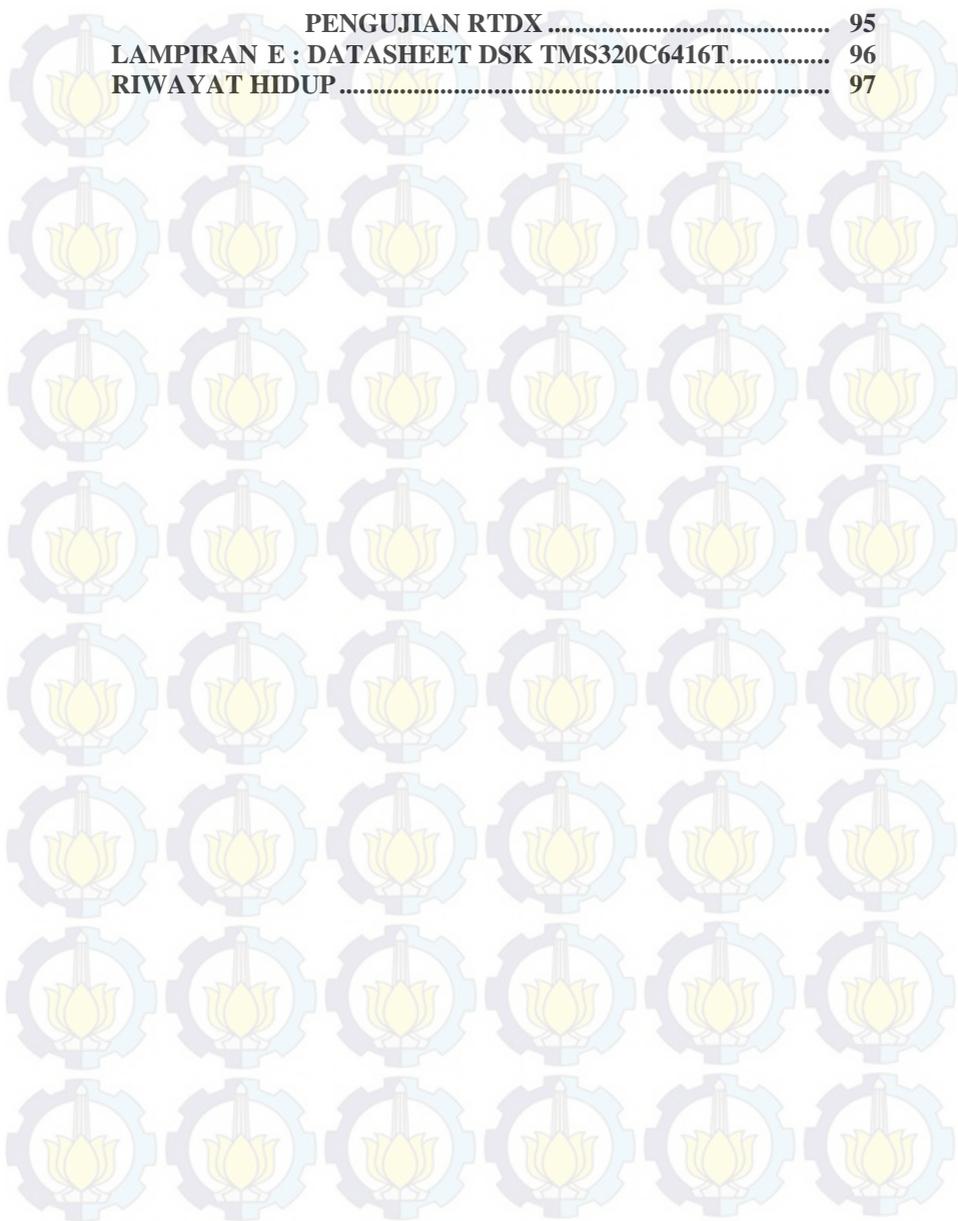


## DAFTAR ISI

<b>HALAMAN JUDUL</b>	<b>i</b>
<b>LEMBAR KEASLIAN</b> .....	<b>i</b>
<b>LEMBAR PENGESAHAN</b> .....	<b>iii</b>
<b>ABSTRAK</b> .....	<b>v</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>vii</b>
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	<b>ix</b>
<b>DAFTAR ISI</b> .....	<b>xi</b>
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	<b>xv</b>
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	<b>xvii</b>
<b>BAB I PENDAHULUAN</b> .....	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Perumusan Masalah .....	2
1.3 Batasan Masalah .....	2
1.4 Tujuan .....	2
1.5 Metodologi .....	3
1.6 Sistematika Penulisan .....	3
1.7 Relevansi dan Manfaat .....	4
<b>BAB II TEORI PENUNJANG</b> .....	<b>5</b>
2.1 Modulasi BPSK( <i>Binary Phase Shift Keying</i> ) .....	5
2.2 MIMO .....	6
2.2.1 Recieved Diversity dengan Maximal Ratio Recieve Combining ( MRRC ) .....	7
2.2.2 Transmit diversity dengan metode pengkodean Alamouti .....	9
2.2.2.1 STBC Alamouti pada MISO 2X1 .....	10
2.2.2.2 STBC Alamouti pada MISO 2X2 .....	12
2.3 <i>Fading</i> .....	15
2.3.1 Fading skala besar (Large scale fading) .....	15
2.3.2 Fading skala kecil ( Small scale fading ) .....	15
2.3.2.1 <i>Flat Fading</i> .....	17
2.3.2.2 <i>Frequency selective fading</i> .....	18
2.3.2.3 <i>Fast Fading</i> .....	19
2.3.2.2 <i>Slow fading</i> .....	20

2.4	Rayleigh .....	19
2.5	DSK TMS320C6416T .....	23
2.6	Code Composer Studio .....	25
2.7	Matlab Simulink .....	26
<b>BAB III PERANCANGAN DAN IMPLEMENTASI SISTEM ..</b>		<b>29</b>
3.1	Alur Perancangan Sistem .....	30
3.2	Persiapan Perangkat Lunak .....	31
3.2.1	Instalasi <i>Code Composer Studio ver 3.3</i> .....	32
3.2.2	Integrasi Code Composer ver 3.3 ke Simulink.....	34
3.3	Pemodelan Sistem .....	37
3.3.1	Simulasi SISO .....	38
3.3.2	Simulasi MISO .....	44
3.2.3	Simulasi MIMO Alamouti 2X2.....	52
3.4	Implementasi Sistem Menggunakan DSK TMS320C6416T.	57
3.5	Metode Pengujian Sistem .....	59
3.6	Skenario Pengujian.....	60
3.6.1	SISO .....	60
3.6.2	MISO .....	61
3.6.3	MIMO.....	62
<b>BAB IV HASIL PENGUJIAN .....</b>		<b>65</b>
4.1	Perhitungan Kinerja SISO, MISO dan MIMO secara Teori..	65
4.2	Pengujian Sistem SISO, MISO dan MIMO secara simulasi..	66
4.3	Pengujian Sistem SISO, MISO dan MIMO secara Implementasi .....	70
4.4	Analisa Sistem Keseluruhan .....	73
<b>BAB V PENUTUP .....</b>		<b>77</b>
5.1	Kesimpulan.....	77
5.2	Saran.....	77
<b>DAFTAR PUSTAKA.....</b>		<b>79</b>
<b>LAMPIRAN A : PROPOSAL TUGAS AKHIR .....</b>		<b>81</b>
<b>LAMPIRAN B : MONITORING KEGIATAN TUGAS AKHIR .....</b>		<b>88</b>
<b>LAMPIRAN C : TABEL HASIL PENGUJIAN .....</b>		<b>89</b>
<b>LAMPIRAN D : LISTING PROGRAM MATLAB PADA</b>		

<b>PENGUJIAN RTDX .....</b>	<b>95</b>
<b>LAMPIRAN E : DATASHEET DSK TMS320C6416T.....</b>	<b>96</b>
<b>RIWAYAT HIDUP .....</b>	<b>97</b>





*[Halaman ini sengaja dikosongkan]*

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Diagram konstelasi BPSK .....	6
Gambar 2.2	Macam – macam konfigurasi antena .....	6
Gambar 2.3	Metode MRC dengan satu antena pemancar dan penerima .....	8
Gambar 2.4	Metode Alamouti dengan dua antena pemancar dan Satu antena penerima.....	10
Gambar 2.5	Metode Alamouti dengan dua antena pemancar dan dua antena penerima .....	13
Gambar 2.6	Tipe Fading skala kecil.....	16
Gambar 2.7	Karakteristik <i>flat fading</i> .....	17
Gambar 2.8	Karakteristik <i>frekuensi selective fading</i> .....	19
Gambar 2.9	Diagram blok DSK TMS320C6416T .....	24
Gambar 2.10	DSK TMS320C6416T.....	25
Gambar 2.11	Tampilan <i>Code Composer Studio v3.3</i> .....	26
Gambar 2.12	Simulink <i>Matlab 2008a</i> .....	27
Gambar 3.1	Diagram skema metodologi.....	29
Gambar 3.2	Skema Pengujian dan Analisa Sistem.....	31
Gambar 3.3	SD Driver CCS V3.3 .....	32
Gambar 3.4	Code Composer Studio V3.3 Platinum.....	33
Gambar 3.5	CCS V3.3 Setup.....	34
Gambar 3.6	Pengaturan Solver Options .....	34
Gambar 3.7	Pengaturan <i>Simulation and Code Generation</i> .....	35
Gambar 3.8	Pengaturan <i>System Target File</i> .....	35
Gambar 3.9	Pengaturan <i>Build Process</i> .....	36
Gambar 3.10	Pengaturan Sistem <i>Stack Size</i> .....	36
Gambar 3.11	Blok bernoulli binary generator.....	38
Gambar 3.12	Blok simulink <i>BPSK Modulator Baseband</i> .....	39
Gambar 3.13	Blok simulink <i>Rate Transition</i> .....	39
Gambar 3.14	blok simulasi kanal <i>rayleigh</i> .....	40
Gambar 3.15	blok simulasi <i>gaussian noise generator</i> .....	41
Gambar 3.16	AWGN channel .....	41
Gambar 3.17	Blok simulink Integrate and dump dan BPSK Demodulator .....	42
Gambar 3.18	Blok <i>Error Rate Calculation</i> .....	42
Gambar 3.19	Blok simulasi SISO .....	43
Gambar 3.20	blok simulink <i>deinterlacer</i> .....	44

Gambar 3.21	Skema simulasi pengkodean Alamouti .....	45
Gambar 3.22	Blok simulasi Transmitter MISO .....	47
Gambar 3.23	Blok simulasi Kanal pada MISO.....	48
Gambar 3.24	Blok simulink <i>puncture</i> dan setting parameternya .....	49
Gambar 3.25	Blok simulasi Reciever MISO.....	50
Gambar 3.26	Blok simulasi MISO Alamouti 2X1 .....	51
Gambar 3.27	Blok simulasi Kanal MIMO 2X2 .....	52
Gambar 3.28	blok simulink MRC MIMO 2X2.....	54
Gambar 3.29	Blok simulink <i>Reciever</i> .....	55
Gambar 3.30	Blok simulasi MIMO Alamouti 2X2.....	56
Gambar 3.31	Blok <i>Target Preferences : C6416DSK</i> .....	57
Gambar 3.32	Blok Simulink MIMO RTDX .....	58
Gambar 4.1	Grafik BER SISO,MISO dan MIMO secara teori.....	67
Gambar 4.2	Grafik BER SISO, MISO dan MIMO secara simulasi .....	70
Gambar 4.3	Grafik BER SISO, MISO dan MIMO secara implementasi pada DSK TMS320C6416 .....	73
Gambar 4.4	Grafik BER SISO, MISO dan MIMO secara teori, simulasi dan implementasi .....	74

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Pengkodean dan <i>transmission sequence</i> satu antena penerima .....	11
Tabel 2.2	Tabel Pengujian BER MIMO Secara simulasi .....	14
Tabel 2.3	Notasi sinyal terima di antena penerima .....	14
Tabel 4.1	Hasil Perhitungan BER SISO, MISO dan MIMO secara Teori.....	66
Tabel 4.2	Hasil Pengujian BER MIMO secara Simulasi. ....	68
Tabel 4.3	Hasil pengujian BER SISO, MISO dan MIMO secara Simulasi. ....	69
Tabel 4.4	Hasil Pengujian MIMO secara Implementasi .....	63
Tabel 4.5	Hasil Pengujian BER SISO, MISO dan MIMO secara implementasi .....	71
Tabel 4.6	Hasil Pengujian BER SISO, MISO dan MIMO secara implementasi .....	72



*[Halaman ini sengaja dikosongkan]*

# BAB I PENDAHULUAN

## 1.1 Latar Belakang

Saat ini dunia komunikasi banyak menggunakan media komunikasi nirkabel. Media komunikasi ini banyak memiliki gangguan, salah satunya gangguan terbesar dalam kasus area urban atau perkotaan adalah multipath fading. Dampak dari multipath fading dapat menurunkan kinerja dari sistem komunikasi nirkabel tersebut. Banyak penelitian dilakukan untuk mengurangi dampak dari multipath fading, salah satu yaitu dengan menggunakan MIMO.

MIMO menggunakan antena lebih dari satu pada sisi *transmitter* dan *receiver*. MIMO menerapkan teknik diversitas. Teknik diversitas merupakan suatu teknik pengiriman sinyal informasi melalui beberapa lintasan yang berbeda, sehingga saat salah satu lintasan yang mendapatkan redaman yang besar sinyal informasi lintasan yang lainnya masih ada. Hal tersebut membuat sinyal informasi masih bisa di rekonstruksi disisi penerimanya. Teknik diversitas dapat diterapkan pada sisi pemancar atau penerima. STBC Alamouti merupakan teknik diversitas disisi pemancar. MIMO dengan STBC Alamouti merupakan pengkodean sinyal terhadap antena yang sederhana dibandingkan Space Time Code lainnya.

Untuk mengimplementasikan MIMO STBC Alamouti dapat dilakukan dengan melakukan pemrograman ke dalam board DSP DSK TMS 320C6416T yang merupakan perangkat yang dapat melakukan pemrosesan sinyal digital, speech, hingga image processing. Perangkat Board DSP DSK TMS320C6416T merupakan perangkat DSP memiliki kemampuan terbaik diantara keluarga C6000 DSP Platform, dimana memiliki kapasitas memori yang lebih tinggi dan memiliki beberapa perangkat tambahan yang terdapat didalamnya. Pemrograman untuk mengimplementasikannya menggunakan simulink untuk pemodelannya dan CCS untuk memasukan program ke DSK TMS320C6416T. Pada sistem MIMO ini akan dilakukan pengujian kinerja BER MIMO STBC Alamouti terhadap perubahan SNR pada kanal Rayleigh.

## 1.2 Rumusan Masalah

Permasalahan yang dijadikan objek penelitian Tugas Akhir ini adalah :

- Bagaimana prinsip kerja dari MIMO alamouti dan pemodelan sistem yang sesuai.
- Bagaimana kinerja BER dari MIMO alamouti pada kanal rayleigh.
- Bagaimana cara mengimplementasikan MIMO Alamouti dengan menggunakan DSK TMS320C6416T

## 1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah yang akan dibahas dalam Tugas Akhir ini adalah :

- Pemodelan sistem menggunakan Matlab simulink 2008a.
- Pemodelan sistem komunikasi MIMO 2x2 Alamouti, MISO 2x1 Alamouti, dan SISO.
- Sistem modulasi dan demodulasi yang digunakan adalah *Binary Phase Shift Keying* (BPSK).
- Kanal mengalami gangguan berupa *fading* dan *Additive Gaussian Noise* (AWGN)
- Kanal yang digunakan bersifat *flat* dan *slow fading*.
- Fading terdistribusi rayleigh.
- Derau terdistribusi gaussian
- Satu buah perangkat DSK TMS320C6416T
- *Interface* pemodelan sistem pada satu buah DSK TMS320C6416T menggunakan *software Code Composer Studio* v3.3.
- Membandingkan dan menganalisa Kinerja BER MIMO, MISO dan SISO dengan menggunakan DSK TMS320C6416T.

## 1.4 Tujuan

Adapun tujuan dan kegunaan dari dilakukannya Tugas Akhir ini yaitu:

1. Mensimulasikan SISO, MISO dan MIMO Alamouti 2x2 pada *Simulink Matlab*
2. Mengimplementasikan SISO, MISO dan MIMO Alamouti 2x2 ke dalam DSK TMS320C6416T.

3. Mengevaluasi kinerja SISO, MISO dan MIMO Alamouti 2x2 pada kanal *slow, flat rayleigh fading*.

## 1.5 Metodologi

Metodologi yang digunakan dalam penyusunan Tugas Akhir ini sebagai berikut :

1. Studi literatur dan diskusi, yaitu studi yang dilakukan dengan mengumpulkan dan mempelajari berbagai buku teks maupun jurnal ilmiah yang bersangkutan dengan Tugas Akhir ini serta berdiskusi dengan dosen pembimbing.
2. Tahap perancangan dan implementasi, pada tahap ini dilakukan perancangan MIMO Alamouti 2x2 serta integrasi antara *software* dan *hardware* sehingga sistem yang telah dibuat dapat diimplementasikan ke dalam DSK TMS320C6416T.
3. Tahap pengujian sistem dan analisa, pada tahapan ini sistem yang sudah dirancang akan diimplementasikan ke dalam DSK TMS320C6416T.
4. Pembuatan laporan, adapun laporan yang dibuat berupa buku Tugas Akhir yang telah sesuai dengan format yang berlaku.

## 1.6 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan pada Tugas Akhir ini dibagi menjadi beberapa bab dengan rincian :

BAB I : PENDAHULUAN

Menguraikan latar belakang, perumusan masalah, batasan masalah, tujuan dan manfaat yang berkaitan dengan pengerjaan dan penyusunan Tugas Akhir ini.

BAB II : TEORI PENUNJANG

Pada bab ini dikemukakan berbagai macam dasar teori yang berhubungan dengan permasalahan yang dibahas, antara lain meliputi teori BPSK, MIMO, *fading*, rayleigh,

BAB III : PEMODELAN DAN IMPLEMENTASI SISTEM

Berisi tentang tahap-tahap perancangan sistem Simulasi dan implementasi MIMO alamouti 2x2, MISO dan SISO.

BAB IV : PENGUJIAN DAN ANALISA SISTEM

Bab ini membahas mengenai pengujian dari sistem yang telah diimplementasikan dan analisa data berdasarkan parameter yang ditetapkan.

## BAB V : PENUTUP

Berisi tentang kesimpulan dan saran yang diperoleh dalam Tugas Akhir ini.

### 1.7 Relevansi atau Manfaat

Dalam Tugas Akhir ini diharapkan dapat menghasilkan suatu sistem pemancar dan penerima MIMO Alamouti  $2 \times 2$  yang diimplementasikan pada DSK TMS320C6416T sehingga nantinya DSK tersebut dapat digunakan penelitian berikutnya.

## BAB II TEORI PENUNJANG

### 2.1 Modulasi *Binary Phase Shift Keying* (BPSK)

Modulasi adalah proses perubahan sinyal informasi menjadi suatu gelombang sinusoida. Pada modulasi digital, gelombang sinusoida pada waktu  $T$  digunakan sebagai acuan sebuah simbol digital. Gelombang sinusoida terdapat 3 parameter yang membedakan antara gelombang sinusoida lainnya: amplitudo, frekuensi dan fase .

Teknik modulasi BPSK merupakan teknik modulasi yang menggunakan perbedaan fase pada sinyal informasinya. Pada modulasi BPSK hanya mengirimkan satu bit untuk satu simbol. Dimana modulasi BPSK mengubah data biner yang terdiri atas bit '0' dan '1' menjadi dua simbol yang saling antipodal yaitu simbol '-1' dan '1'. Modulasi BPSK memiliki frekuensi pembawa yang sama namun terdapat perbedaan fase  $180^0$  antara simbol yang dikirimkan. Sinyal BPSK dapat didefinisikan sebagai berikut [3] :

biner 1:

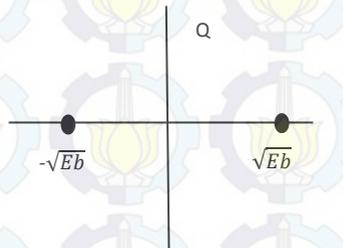
$$S_{BPSK}(t) = \sqrt{\frac{2E_b}{T_b}} \cos(2\pi f_c t + \theta_c) \quad 0 \leq t \leq T_b \quad \dots (2.1)$$

biner 0 :

$$\begin{aligned} S_{BPSK}(t) &= \sqrt{\frac{2E_b}{T_b}} \cos(2\pi f_c t + \pi + \theta_c) & 0 \leq t \leq T_b \\ &= -\sqrt{\frac{2E_b}{T_b}} \cos(2\pi f_c t + \theta_c) & \dots (2.2) \end{aligned}$$

Dimana  $E_b = \frac{1}{2} A_c^2 T_b$  merupakan energi per bit,  $A_c$  adalah amplitudo dari sinyal pembawa atau *carrier*,  $T_b$  merupakan durasi bit,  $f_c$  adalah frekuensi *carrier* dalam hertz, dan  $\theta_c$  adalah fase dari sinyal pembawa atau *carrier*. Bentuk konstelasi sinyal BPSK dapat dilihat pada gambar 2.1. Data biner yang dibangkitkan dapat dinotasikan sebagai  $m_1$  dan  $m_2$ , dimana data biner tersebut dianggap  $m(t)$ , dan memungkinkan memiliki bentuk salah satu dari dua bentuk pulsa tersebut. Sehingga sinyal yang ditransmisikan dapat direpresentasikan sebagai berikut [3] :

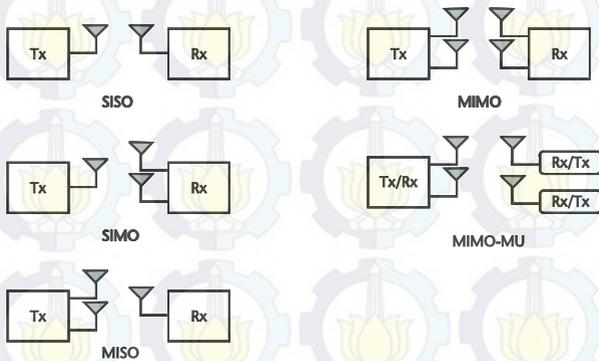
$$S_{BPSK}(t) = m(t) \sqrt{\frac{2Eb}{Tb}} \cos(2\pi f_c t + \theta_c) \quad \dots(2.3)$$



**Gambar 2.1** Diagram konstelasi BPSK

## 2.2 MIMO

Ilustrasi pengaturan jumlah antena dapat dibagi menjadi SISO, SIMO, MISO, MIMO dan MIMO-*multi user*. SISO adalah konfigurasi *wireless* yang sering dijumpai yaitu konfigurasi satu antena pengirim dan penerima. SIMO merupakan konfigurasi antena dengan satu antena pengirim dan dua antena dipenerima. MISO merupakan kebalikan dari konfigurasi SIMO, dimana konfigurasi ini memiliki dua antena pengirim dan satu antena penerima. MIMO adalah konfigurasi dengan memiliki dua antena atau lebih di pengirim dan dipenerima. MIMO-*multi user* hampir sama dengan MIMO yang membedakannya setiap *base station* bisa menjadi pengirim dan jadi penerima. Ilustrasi tersebut dapat dilihat pada gambar 2.2[4].



**Gambar 2.2.** Macam - macam konfigurasi Antena

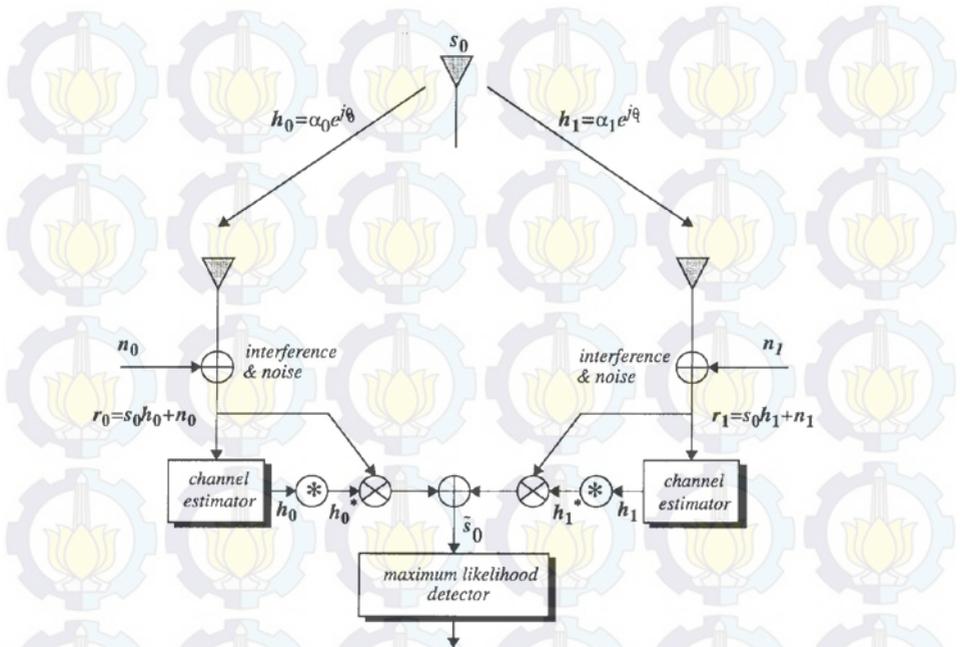
*Multipath fading* merupakan masalah penting dalam telekomunikasi. Pada kanal *fading*, sinyal akan mengalami penurunan daya. Ketika sinyal mengalami penurunan yang sangat besar, ini menurunkan nilai BER. Cara untuk mengurangi masalah fading dilakukan diversitas. *Spatial diversity* merupakan teknik diversitas yang paling efektif mengatasi masalah *multipath fading*. *Spatial diversity* dibagi menjadi *transmit diversity* dan *receive diversity*. Teknik transmit diversitas memperkenalkan reduksi yang dilakukan pada transmitter, yang dapat dimanfaatkan untuk teknik pemrosesan sinyal yang sesuai pada penerima. Umumnya teknik ini memerlukan kanal informasi yang lengkap pada transmitter. Salah satu teknik transmit diversitas adalah skema pengkodean Alamouti. Sedangkan untuk *receive diversity* menggunakan teknik *Maximum Ratio Combining* yang meningkatkan kualitas sinyal[4].

### 2.2.1. *Received Diversity dengan Maximal Ratio Combining (MRC)*

MRC merupakan suatu teknik diversitas yang berada dipenerima. Teknik ini sering disebut dengan *receive diversity*. MRC merupakan teknik diversitas yang paling sederhana yang dapat meningkatkan kualitas sinyal dalam menghadapi masalah fading. Dalam MRC sinyal – sinyal yang diterima dari beberapa antena diukur menurut SNR-nya masing – masing dan kemudian dijumlahkan. Disini setiap sinyal yang diterima disamakan terlebih dahulu fasenya sebelum dijumlahkan. MRC biasanya sering direpresentasikan pada konfigurasi antena SIMO (*single input multiple output*). Pada MRC memiliki dua tahap skema yaitu *combining* menjumlahkan beberapa sinyal yang diterima. Sedangkan *Maximum likelihood decision rule* untuk menentukan sinyal apa yang diterima.

Pada gambar 2.3 terlihat  $S_0$  dikirim dari antena pemancar nol ke antena penerima nol dan satu. Dimana pada gambar kanal dimodelkan bentuk kompleks terdistorsi yang terdiri dari repon magnitud dan respon fase. Antara antena pemancar nol dan antena penerima nol ada kanal yang notasikan dengan  $h_0$ , sedangkan pada antena pemancar nol dengan antena penerima satu ada kanal yang dinotasikan dengan  $h_1$ . Berikut ini adalah persamaan pada kanal [1].

$$\begin{aligned} h_0 &= \alpha_0 e^{j\theta_0} \\ h_1 &= \alpha_1 e^{j\theta_1} \end{aligned} \quad \dots (2.4)$$



**Gambar 2.3** Metode MRC dengan satu antena pemancar dan dua antena penerima[1]

Dimana sinyal yang diterima merupakan pada kedua antena penerima merupakan perkalian sinyal dengan kanal dan ditambahkan noise. Dimana persamaan pada antena penerima dapat dilihat pada persamaan (2.5)[1].

$$\begin{aligned} r_0 &= h_0 s_0 + n_0 \\ r_1 &= h_1 s_0 + n_1 \end{aligned} \quad \dots (2.5)$$

Dimana  $n_0$  dan  $n_1$  adalah representasi dari derau. Diasumsikan  $n_0$  dan  $n_1$  terdistribusi *Gaussian*, penentuan sinyal diterima pada penerima dapat ditentukan dengan menggunakan *maximum likelihood decision* dengan menggunakan persamaan (2.6)[1].

$$d^2(r_0, h_0 s_i) + d^2(r_1, h_1 s_i) \leq d^2(r_0, h_0 s_k) + d^2(r_1, h_1 s_k) \quad \dots (2.6)$$

Dimana  $d^2(x, y)$  adalah *squared Euclidean distance* antara sinyal  $x$  dan  $y$  yang dapat dihitung dengan persamaan (2.7)[1]

$$d^2(x, y) = (x - y)(x^* - y^*) \quad \dots (2.7)$$

pada skema *combining* sinyal yang diterima pertama kali dikalikan kanal yang dikonjuget, dimana kondisi kanal didapat dari kanal estimator. Setelah itu dijumlahkan kedua sinyal yang diterima. Persamaan tersebut dapat dilihat pada persamaan (2.8)[1].

$$\begin{aligned} \bar{s}_0 &= h_0^* r_0 + h_1^* r_1 \\ &= h_0^* (h_0 s_0 + n_0) + h_1^* (h_1 s_0 + n_1) \\ &= (\alpha_0^2 + \alpha_1^2) s_0 + h_0^* n_0 + h_1^* n_1 \end{aligned} \quad \dots (2.8)$$

Setelah melewati skema *combining*, masuk *maximum likelihood detector* dimana sinyal yang diterima dideteksi. Dimana persamaan untuk pengambilan keputusan didapat dengan cara mensubstitusi persamaan (2.6), (2.7) dan (2.8), maka didapat persamaan (2.9)[1].

$$\begin{aligned} (\alpha_0^2 + \alpha_1^2 - 1) |s_i|^2 + d^2(\bar{s}_0, s_i) \\ \leq (\alpha_0^2 + \alpha_1^2 - 1) |s_k|^2 + d^2(\bar{s}_0, s_k), \quad \forall i \neq k \end{aligned} \quad \dots (2.9)$$

Untuk sinyal PSK sama dengan energi konstelasi  $|s_i|^2 = |s_k|^2 = E_s$ , maka untuk sinyal PSK, persamaan dari pengambilan keputusan dapat disederhanakan menjadi persamaan (2.10)[1].

$$d^2(\bar{s}_0, s_i) \leq d^2(\bar{s}_0, s_k), \quad \forall i \neq k \quad \dots (2.10)$$

*Maximal ratio combiner* dapat merekonstruksi sinyal  $\bar{s}_0$ , sehingga *maximum likelihood detector* mungkin menghasilkan  $\bar{s}_0$  yang merupakan estimasi *maximum likelihood* dari  $s_0$ [1].

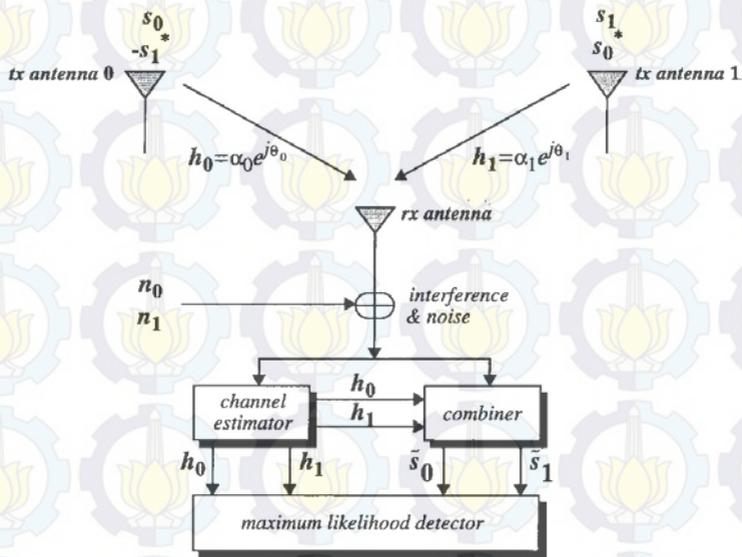
### 2.2.2. *Transmit diversity* dengan metode pengkodean Alamouti

Alamouti merupakan salah satu teknik *transmit diversity*, teknik diversitas yang melakukan pengkodean ruang dan waktu atau sering disebut dengan *Space Time Block Kode* (STBC). Dimana Alamouti merupakan pengkodean yang paling sederhana dibanding pengkodean yang lainnya. Pengkodean yang dilakukan pertama kali simbol pertama dan kedua dikirimkan pada antena yang berbeda, lalu periode berikutnya

simbol tersebut dikirim terbalik, dikonjugasi dan salah satu diberi minus. Namun teknik ini dapat meningkatkan kinerja sistem, dengan menambahkan dua antenna atau lebih. Metode ini mampu meningkatkan performansi BER, *data rate* atau kapasitas dari sistem komunikasi nirkabel dengan tanpa penambahan *bandwidth*. Teknik ini memiliki skema satu antenna atau antenna jamak pada sisi penerima [1].

### 2.2.2.1. STBC Alamouti pada MISO 2X1.

Pada skema MISO menggunakan dua antenna pada pengirim dan satu antenna penerima. Ilustrasi tersebut dapat dilihat pada gambar 2.4.



**Gambar 2.4** Metode Alamouti dengan dua antenna pemancar dan satu antenna penerima[1]

Pada skema ini hanya menggunakan teknik transmit diversitas saja. Pada skema ini memiliki tiga tahapan, yaitu :

- *Encoding* dan *transmisi sequence* dari sinyal informasi yang akan dikirimkan.
- Skema *combining* pada penerima.
- *Decision rule* untuk *maximum likelihood* detector.

Pada tahapan pertama, dua sinyal akan ditransmisikan pada dua antenna yang berbeda pada waktu yang bersamaan. Sinyal yang akan dikirimkan pada antenna nol dinotasikan sebagai  $s_0$  dan pada antenna satu dinotasikan sebagai  $s_1$ . Pada periode simbol berikutnya simbol pada kedua antenna ditukar, dikonjugasi (\*) dan diberi tanda minus pada salah satu simbolnya. Jadi antenna nol memiliki simbol  $-s_1^*$  dan antenna satu memiliki simbol  $s_0^*$ . Berikut ini tabel dari pengkodean simbol yang dapat dilihat pada Tabel 2.1[1].

**Tabel 2.1** Pengkodean dan *transmission sequence* satu antenna penerima

	Antena 0	Antena 1
waktu $t$	$s_0$	$s_1$
Waktu $t+T$	$-s_1^*$	$s_0^*$

Kanal pada waktu  $t$  dimodelkan dengan *complex multiplicative distortion* dan dinotasikan dengan  $h_0(t)$  untuk di antenna pemancar nol dan  $h_1(t)$  untuk di antenna pemancar satu. Diasumsikan *fading* bersifat konstan antara dua simbol yang berurutan. Sehingga dapat dibuat persamaan 2.11[1].

$$\begin{aligned} h_0(t) = h_0(t+T) = h_0 &= \alpha_0 e^{j\theta_0} \\ h_1(t) = h_1(t+T) = h_1 &= \alpha_1 e^{j\theta_1} \end{aligned} \quad \dots (2.11)$$

dimana  $T$  adalah durasi simbol. Sinyal yang diterima dapat dibuat seperti persamaan (2.12)[1].

$$\begin{aligned} r_0 = r_t &= h_0 s_0 + h_1 s_1 + n_0 \\ r_1 = r_{(t+T)} &= -h_0 s_1^* + h_1 s_0^* + n_1 \end{aligned} \quad \dots (2.12)$$

dimana  $r_0$  dan  $r_1$  adalah sinyal yang diterima pada waktu  $t$  dan  $t+T$ , dan  $n_0$  dan  $n_1$  adalah derau yang diterima yang bernilainya bersifat kompleks.

Pada tahapan kedua dilakukan skema *combining*. *Combiner* pada gambar 2.4 menggabungkan dua buah sinyal yang diterima menjadi sinyal yang dikirimkan ke *maximum likelihood detector*. Dimana persamaan dua buah sinyal yang diterima dapat dilihat pada persamaan 2.13[1].

$$\begin{aligned}\bar{s}_0 &= h_0^* r_0 + h_1 r_1^* \\ \bar{s}_1 &= h_1^* r_0 - h_0 r_1^*\end{aligned} \quad \dots (2.13)$$

Dimana skema *combining* ini berbeda dengan skema *MRC*. Substitusi persamaan (2.11) dan (2.12) ke (2.13), sehingga mendapatkan persamaan 2.14[1].

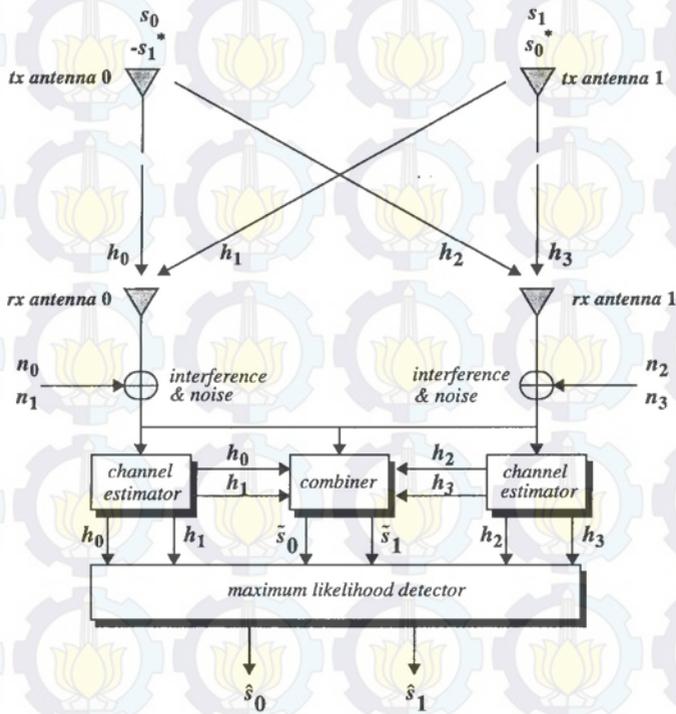
$$\begin{aligned}\bar{s}_0 &= (\alpha_0^2 + \alpha_1^2) s_0 + h_0^* n_0 + h_1 n_0^* \\ \bar{s}_1 &= (\alpha_0^2 + \alpha_1^2) s_1 - h_0^* n_1 + h_1 n_1^*\end{aligned} \quad \dots (2.14)$$

Pada tahap ketiga dilakukan *maximum likelihood decision rule*. Kombinasi sinyal dikirim ke *maximum likelihood detector*, yang mana untuk setiap sinyal  $s_0$  dan  $s_1$  diestimasi menggunakan *decision rule* seperti pada persamaan 2.9 dan 2.10[1].

#### 2.2.2.2. *STBC Alamouti pada MIMO 2X2*.

Metode Alamouti dapat diaplikasikan untuk mendapatkan orde diversitas yang lebih tinggi, dengan konsekuensi penambahan antena pada si penerima. Pada kasus ini, memungkinkan membuat diversitas orde sebesar  $2M$  dengan dua antena pengirim dan  $M$  dipenerima. Sebagai ilustrasi, akan dibahas pada kasus dengan dua antena pengirim dan penerima. Ilustrasi tersebut dapat dilihat pada gambar 2.5. Tahapan yang dilakukan hampir mirip dengan *MISO*.

Pada tahap pertama, *encoding* dan *transmission sequence* sama dengan Alamouti  $2 \times 1$ . Sedangkan untuk kanal yang dilewati berbeda, pada kasus ini kanal yang dilewati sebanyak empat jalur kanal. Dan pada sisi penerima mendapatkan empat sinyal yang diterima dengan menggunakan dua antena penerima.



**Gambar 2.5** Metode Alamouti dengan dua antenna pemancar dan dua antenna penerima[1]

Setiap antenna pemancar dengan antenna penerima memiliki satu pemodelan kanal. Dimana antar kanal berbeda saling independen dan tidak berubah dalam periode berikutnya. Dimana notasi kanal pada antenna pengirim nol yang diterima antenna penerima nol akan dinotasikan dengan  $h_0, h_1$  untuk antenna pemancar satu dengan antenna penerima nol,  $h_2$  untuk antenna pemancar satu dengan antenna penerima satu, dan  $h_3$  untuk antenna pemancar satu dengan antenna penerima satu. Berikut ini adalah tabel kanal antara antenna pemancar dan penerima[1].

**Tabel 2.2** Kanal antara antenna pemancar dan penerima

	Rx Antena 0	Rx Antena 1
Tx Antena 0	$h_0$	$h_2$
Tx Antena 1	$h_1$	$h_3$

Untuk sinyal yang diterima pada antenna penerima akan berbeda saat periode berikutnya. Antena nol pada waktu  $t$  menerima sinyal dengan notasi  $r_0$ , untuk  $t + T$  menerima  $r_1$ . Dan pada antenna satu waktu  $t$  menerima  $r_2$ , untuk  $t+T$  menerima  $r_2$ . Berikut ini tabel notasi sinyal yang diterima di antenna penerima[1].

**Tabel 2.3** Notasi sinyal terima di antenna penerima

	Rx Antena 0	Rx Antena 1
Waktu $t$	$r_0$	$r_2$
Waktu $t + T$	$r_1$	$r_3$

Dari Tabel 2.1, 2.2 dan 2.3, didapatkan persamaan sinyal yang diterima. Persamaan tersebut dapat dilihat pada persamaan 2.15[1].

$$\begin{aligned}
 r_0 &= h_0 s_0 + h_1 s_1 + n_0 \\
 r_1 &= -h_0 s_1^* + h_1 s_0^* + n_1 \\
 r_2 &= r_{(t+T)} = h_2 s_0 + h_3 s_1 + n_2 \\
 r_3 &= r_{(t+T)} = -h_2 s_1^* + h_3 s_0^* + n_3 \quad \dots (2.15)
 \end{aligned}$$

$n_0, n_1, n_2$ , dan  $n_3$  adalah noise AWGN yang diakibatkan karena *thermal noise combiner* pada gambar 2.5 menggabungkan empat buah sinyal yang diterima menjadi dua sinyal  $S_0$  dan  $S_1$ . Persamaan dua buah sinyal tersebut dapat dilihat pada persamaan 2.16[1].

$$\begin{aligned}
 \bar{s}_0 &= h_0^* r_0 + h_1 r_1^* + h_2^* r_2 + h_3 r_3^* \\
 \bar{s}_1 &= h_1^* r_0 - h_0 r_1^* + h_3^* r_2 - h_2 r_3^* \quad \dots (2.16)
 \end{aligned}$$

Setelah melewati *combiner* kemudian sinyal dikirim ke *maximum likelihood detector*. Dimana setiap sinyal ditentukan sinyal apa yang diterima dengan menggunakan *decision rules* seperti persamaan 2.9 dan 2.10[1].

## 2.3 Fading

Mekanisme propagasi gelombang elektromagnetik bermacam – macam, tetapi terdapat 3 mekanisme dasar yang mempengaruhi propagasi yaitu *reflection*, *diffraction* dan *scattering*. *Reflection* terjadi ketika gelombang elektromagnetik memantul dari benda-benda yang dimensinya lebih besar dibandingkan dengan panjang gelombang ditransmisikan. *Diffraction* terjadi ketika antara pemancar dan penerima terdapat penghalang, sehingga gelombang yang dipropagasikan membelok disekitar penghalang yang dimensinya kecil. *Scattering* terjadi ketika gelombang yang dipropagasikan melewati penghalang yang dimensinya lebih kecil dari pada panjang gelombang yang ditransmisikan[7].

Karakteristik dalam saluran nirkabel adalah fenomena variasi dari amplitudo sinyal dari waktu ke waktu atau frekuensi, yang disebut *Fading*. *Fading* mungkin disebabkan karena propagasi melewati banyak jalur atau disebut dengan *multipath fading*, atau *shadowing* dari penghalang yang mempengaruhi propagasi gelombang, yang disebut dengan *shadowing fading*. Feneomena *fading* dapat diklasifikasi menjadi dua tipe yaitu *large scale fading* dan *small scale fading*.

### 2.3.1. Fading skala besar (*Large scale fading*)

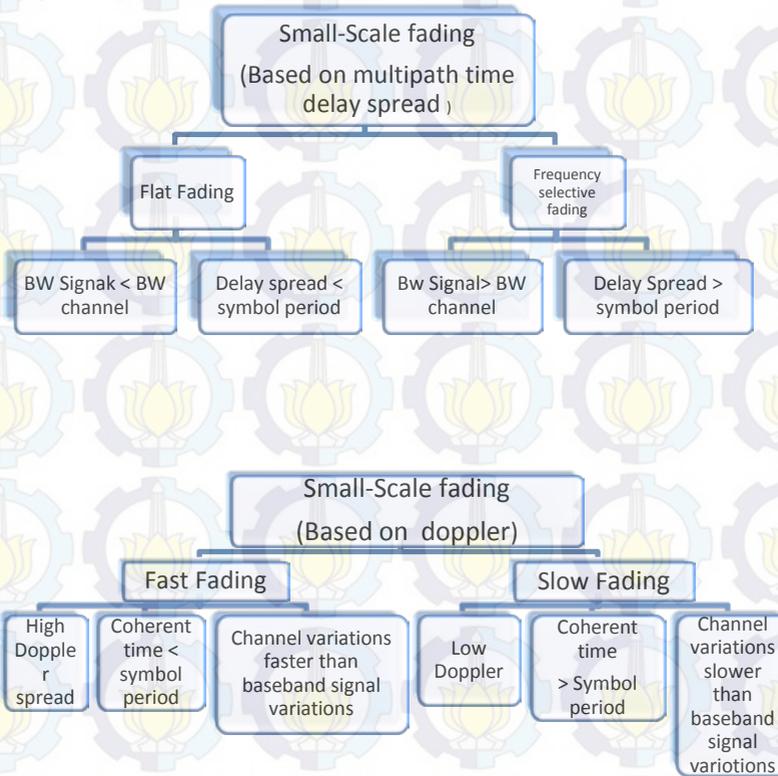
Fading skala besar sering terjadi pada komunikasi bergerak dalam jarak yang besar. Fading skala besar disebabkan *path loss* dari sinyal sebagai fungsi dari jarak dan *shadowing* oleh objek yang besar seperti bangunan, tumbuhan dan gangguan permukaan. *Shadowing* adalah proses fading yang lambat ditandai dengan variasi median *path loss* antara transmitter dan reciever di lokasi yang tetap. Dengan kata lain fading skala besar ditandai dengan rata – rata *path loss* dan *shadowing*[7].

### 2.3.2. Fading skala kecil (*Small scale fading*)

Fading skala kecil digunakan untuk menggambarkan perubahan yang cepat dari amplitudo, fase, dan waktu tunda *multipath* dari sebuah sinyal radio selama periode waktu yang singkat atau jarak perjalanan, jadi efek dari fading skala besar dapat diabaikan. Fading disebabkan oleh sejumlah sinyal yang datang dari titik penerimaan melalui jalur yang berbeda, sehingga menimbulkan konstruktif (penguatan) penjumlahan vektor dari sinyal atau destruktif (pelemahan) pengurangan vektor dari sebuah sinyal, tergantung pada fase dan nilai

amplitudo sinyalnya. sinyal yang berbeda selain sinyalnya disebut gelombang *multipath*.

Fading sekali kecil ini pada umumnya menghasilkan distribusi *Rayleigh fading*. Untuk mencegah terjadinya fading, menggunakan teknik *microscopic diversity* yang memanfaatkan perubahan sinyal yang cepat tersebut. Teknik ini disebut juga dengan *space diversity* atau diversitas antena karena menggunakan antena jamak.

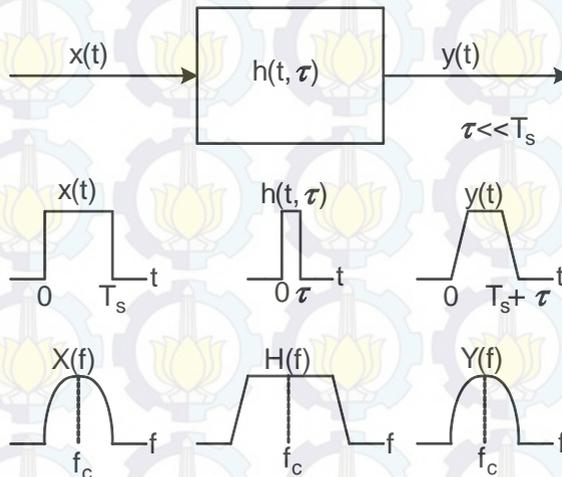


**Gambar 2.6** Tipe fading sekala kecil

Berdasarkan hubungan antara parameter sinyal (seperti bandwidth, periode simbol dan lain – lainnya) dan parameter kanal (seperti *ms delay spread* dan *doppler spread*), perbedaan sinyal yang ditransmisikan akan mengalami tipe fading yang berbeda – beda. Ada beberapa tipe dari fading skala kecil dilihat dari *multipath time delay spread* dan *doppler spread*, berdasarkan *multipath time delay spread* terbagi atas *flat fading* dan *frequency selective fading*, untuk *doppler spread* terbagi atas *fast fading* dan *slow fading*. Tipe fading skala kecil dapat dilihat pada gambar 2.6[5].

### 2.3.2.1. Flat fading

Saat kanal radio *mobile* memiliki penguatan konstan dan respon fasenya linier terhadap bandwidth yang lebih besar dari sinyal yang ditransmisikan, maka sinyal yang diterima dapat dikatakan mengalami *flat fading*. Pada *flat fading*, struktur *multipath* dari kanal memiliki bentuk sedemikian rupa sehingga karakteristik spektral yang ditransmisikan tidak mengalami perubahan pada sisi penerima. Namun, perubahan sinyal diterima, dikarenakan fluktuasi gain dari kanal yang disebabkan oleh *multipath*. Karakteristik dari kanal *flat fading* di gambarkan pada gambar 2.7[5].



Gambar 2.7 karakteristik *flat fading*[5]

Karakteristik dari kanal *flat fading* yang dilihat pada gambar 2.7 bahwa jika penguatan kanal berubah terhadap waktu, sinyal yang diterima akan mengalami perubahan pada amplitudonya. Dari waktu ke waktu, sinyal yang diterima  $r(t)$  terdapat variasi pada *gain* sedangkan spektrum sinyal yang ditransmisikan tidak berubah. Kanal *flat fading* diketahui sebagai *amplitude varying channels* atau kanal variasi amplitudo dan kadang disebut sebagai *narrowband channels* atau kanal pita sempit, karena *bandwith* dari sinyal yang ditransmisikan lebih besar dari *bandwidth* kanal. Pada umumnya distribusi amplitudo pada *flat fading* mengikuti distribusi *Rayleigh*. Model kanal *Rayleigh flat fading* dapat diasumsikan bahwa amplitudo dari kanal bervariasi terhadap waktu sesuai dengan distribusi *Rayleigh*. Dapat disimpulkan bahwa sinyal yang mengalami *flat fading* memiliki kriteria seperti persamaan 2.17[5].

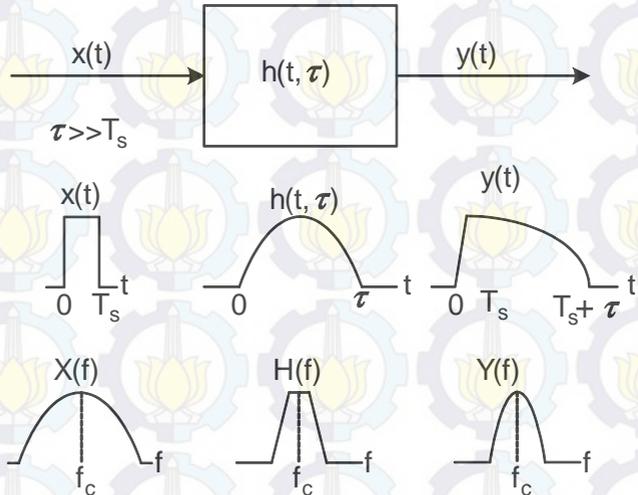
$$B_s \ll B_c \quad \text{dan} \quad T_s \gg \sigma_t$$

... (2.17)

Dimana  $T_s$  adalah periode simbol (*reciprocal bandwidth*) dan  $B_s$  adalah *bandwidth*,  $\sigma_t$  adalah *delay spread* dan  $B_c$  adalah *bandwidth* koheren.

### 2.3.2.2. Frequency selective fading

Saat kanal memiliki penguatan yang konstan dan respon fasenya linear terhadap *bandwidth* yang lebih kecil daripada *bandwidth* sinyal yang ditransmisikan, maka sinyal yang diterima dapat dikatakan mengalami *frequency selective fading*. Dapat dikatakan *frequency selective fading* kebalikan dari *flat fading*. Dalam kondisi ini respon *impulse* kanal memiliki *multipath delay spread* yang mana memiliki *bandwidth* yang lebih besar dari yang gelombang dikirimkan. Ketika itu terjadi, sinyal yang diterima terdiri dari berbagai macam gelombang transmisi yang mengalami pelemahan dan penundaan waktu dan karenanya sinyal yang diterima mengalami distorsi. *Frequency selective fading* terjadi karena mengalami dispersi waktu dari simbol yang dikirimkan didalam kanal. Sehingga kanal menyebabkan ISI. Dilihat pada domain frekuensi, komponen frekuensi tertentu pada spektrum sinyal yang diterima memiliki *gain* yang lebih besar dari yang lainnya. Karakteristik dari kanal *frequency selective fading* dapat dilihat pada gambar 2.8[5]



**Gambar 2.8** karakteristik *frequency selective fading* [5]

Pada *Frequency selective fading*, spectrum dari sinyal yang ditransmisikan memiliki bandwidth yang lebih besar dari bandwidth koherennya  $B_c$  dari kanal. Dilihat di domain frekuensi, kanal menjadi *frekuensi selective*, dimana gainnya berbeda pada komponen frekuensi yang berbeda. *Frequency selective fading* disebabkan oleh penundaan jalur jamak yang mendekati atau melebihi periode simbol dari simbol yang ditransmisikan. Kanal *frequency selective fading* dikenal juga sebagai kanal pita lebar karena *bandwidth* dari sinyal  $s(t)$  lebih lebar dari *bandwidth* dari respon impuls kanal. Dapat disimpulkan sinyal dikatakan *frequency selective fading* jika [5]:

$$B_s > B_c \text{ dan } T_s < \sigma_t \quad \dots(2.18)$$

### 2.3.2.3. Fast fading

Bergantung pada seberapa cepat sinyal baseband yang ditransmisikan berubah dibandingkan dengan laju perubahan pada kanal, sebuah kanal dapat diklasifikasikan menjadi kanal *fast fading* atau *slow fading*. Pada kanal *fast fading*, respon impuls kanal berubah dengan cepat dalam durasi simbol. Dengan kata lain, waktu koheren dari sebuah kanal lebih kecil dibandingkan periode simbol dari sinyal yang

ditransmisikan. Ini disebabkan dispersi frekuensi (atau disebut juga *time selective fading*) disebabkan oleh *doppler spreading*, yang mana menyebabkan sinyal terdistorsi. Jadi sinyal dikatakan mengalami *fast fading* jika [5]:

$$T_s > T_C \text{ dan } B_s < B_D \quad \dots (2.19)$$

Ketika sebuah kanal mengalami *fast* atau *slow fading* kanal, hal tersebut tidak menentukan kanal tersebut mengalami *flat fading* atau *frequency selective fading* pada kondisi nyata. *Fast fading* hanya berurusan dengan kecepatan dari perubahan kanal karena pergerakan. Pada kasus dari kanal *flat fading*, respon impuls menjadi fungsi delta (tidak ada waktu tunda). Karenanya, *flat fading*, *fast fading* kanal dimana amplitudo berubah lebih cepat daripada laju perubahan sinyal baseband yang ditransmisikan. Pada kasus dari kanal *frequency selective fading* dan *fast fading*, amplitudo, fase dan penundaan waktu adalah salah satu dari komponen *multipath* berubah lebih cepat daripada laju dari perubahan sinyal yang ditransmisikan. Pada prakteknya, *fast fading* hanya terjadi untuk kecepatan data yang sangat rendah[5].

#### 2.3.2.4. Slow fading

Pada kanal *slow fading*, respon impuls kanal berubah lambat dibandingkan sinyal baseband yang ditransmisikan. Pada kasus ini, kanal dapat diasumsikan statis selama satu atau beberapa interval bandwidth. Pada frekuensi domain, penyebaran *doppler spread* dari kanal lebih sedikit dibandingkan *bandwidth* dari sinyal baseband. Sinyal dikatakan mengalami *slow fading* jika[5]:

$$T_s \ll T_C \text{ dan } B_s \gg B_D \quad \dots (2.20)$$

Terlihat bahwa kecepatan dari sebuah *mobile* atau *handset* (atau kecepatan benda di kanal) dan sinyal baseband menentukan suatu sinyal mengalami *fast fading* atau *slow fading*.

### 2.4 Rayleigh

Secara umum, propagasi pada kanal *wireless* di dalam ruangan atau di luar ruangan dapat dibagi menjadi LOS ( *Line-of-Sight* ) dan NLOS ( *Non Line-of-Sight* ). Dimana pada LOS sinyal diterima

mengikuti PDF ( *probability density function* ) dari distribusi *Rician*, sedangkan pada NLOS sinyal yang diterima mengikuti PDF dari distribusi *Rayleigh*. Setiap sinyal yang diterima pada propagasi kanal nirkabel dapat dianggap sebagai penjumlahan sinyal yang diterima dari jumlah penghamburan atau *scattering* yang terbatas. Dengan teorema sentral limit, sinyal yang diterima direpresentasikan dari variabel acak *Gaussian*. Dimana kanal *Rayleigh* dapat direpresentasikan dari bilangan kompleks dari variabel acak *Gaussian*,  $X_1 + jY_2$ . Dimana  $X_1$  dan  $Y_2$  adalah variabel acak *Gaussian* yang terdistribusi independen dan identik dengan variabel *mean* bernilai nol dan variansi. Dimana persamaan distribusi *Rayleigh* memiliki PDF sebagai berikut[5] :

$$p(r) = \begin{cases} \frac{r}{\sigma^2} e^{-\frac{r^2}{2\sigma^2}} & (0 \leq r \leq \infty) \\ 0 & (r < 0) \end{cases} \quad \dots (2.21)$$

Dimana  $\sigma$  adalah nilai rms dari tegangan sinyal yang diterima sebelum di *envelope detection*, dan  $\sigma^2$  adalah waktu rata-rata daya dari sinyal yang diterima sebelum di *envelope detection*.

Untuk menghitung probabilitas error pada BPSK pada kanal *flat*, *slow Rayleigh* fading dapat menggunakan persamaan sebagai berikut[3]:

$$P_b = \int_0^{\infty} P_b(\gamma_b) p_b(\gamma_b) d\gamma_b \quad \dots (2.22)$$

Dimana BER dari BPSK adalah  $Q\sqrt{\frac{2E_b}{N_o}}$ , sedangkan BER pada BPSK tersebut sebagai fungsi dari probabilitas nilai SNR yang diterima ( $\gamma_b$ ) yang dapat ditulis dengan persamaan sebagai berikut [3]:

$$P_b(\gamma_b) = Q(\sqrt{2\gamma_b}) \quad \dots(2.23)$$

Dimana

$$\gamma_b = \alpha^2 \frac{E_b}{N_o} \quad \dots(2.24)$$

Persamaan 2.23 sebagai kondisi probabilitas error dimana kondisi  $\alpha$  tetap. Untuk memperoleh probabilitas error ketika  $\alpha$  memiliki nilai yang acak. Dimana  $\alpha$  adalah antenuasi yang didistribusi secara *Rayleigh fading*. Sedangkan  $\alpha^2$  terdistribusi secara *chi - square*, sehingga konsekuensinya

$\gamma_b$  juga *chi-square*. Dimana persamaan tersebut dapat dilihat pada persamaan 2.25[3].

$$P_b(\gamma_b) = 1/\bar{\gamma}_c e^{-\gamma_b/\bar{\gamma}_c} \quad \gamma_b \geq 0 \quad \dots(2.25)$$

Dimana

$$\bar{\gamma}_c = \frac{E_b}{N_o} E|\alpha^2| \quad \dots(2.26)$$

$\bar{\gamma}_c$  adalah rata – rata SNR pada kanal dan  $E(\alpha^2)$  adalah nilai rata – rata  $\alpha^2$  atau  $2\sigma^2$ . Persamaan 2.22 yang disubstitusikan dengan persamaan 2.23 dan 2.25. hasil persamaan 2.22 yang telah di integralkan didapatkan persamaan sebagai berikut[3]:

$$P_b = \frac{1}{2} \left( 1 - \sqrt{\frac{\bar{\gamma}_c}{1+\bar{\gamma}_c}} \right) \quad \dots(2.27)$$

Persamaan 2.27 adalah rumus probabilitas error pada kanal *slow, flat Rayleigh fading* pada SISO. Sedangkan untuk probabilitas error pada teknik antenna diversitas hampir sama dengan rumus SISO yang membedakan SNR rata – rata dan probabilitas *chi-square*. Untuk rumus probabilitas  $P_b(\gamma_b)$  sama dengan pada persamaan 2.22, sedangkan untuk persamaan SNR *per bit* ( $\gamma_b$ ) dapat dilihat pada persamaan 2.28[3].

$$\begin{aligned} \gamma_b &= \frac{E}{N_o} \sum_{k=1}^L \alpha_k^2 \\ &= \sum_{k=1}^L \gamma_k \end{aligned} \quad \dots(2.28)$$

Dimana  $\gamma_k = \frac{E|\alpha_k^2|}{N_o}$  adalah SNR pada k kanal.

Rata – rata SNR pada tiap kanal dapat diasumsikan identik pada setiap kanalnya, sehingga didapat rata – rata SNR ( $\bar{\gamma}_c$ ) yang dapat dilihat pada persamaan 2.29[3].

$$\bar{\gamma}_c = \frac{E_b}{N_o} E|\alpha_k^2| \quad \dots(2.29)$$

Sedangkan untuk persamaan distribusi *chi-square*-nya dapat dilihat pada persamaan 2.30[3].

$$p(\gamma_b) = \frac{1}{(L-1)! \bar{\gamma}_c} \gamma_b^{L-1} e^{-\gamma_b/\bar{\gamma}_c} \quad \dots(2.30)$$

Dimana nilai L adalah jumlah kanal yang dilewati. Untuk mendapatkan probabilitas error dengan cara persamaan 2.22 disubstitusikan dengan persamaan 2.23 dan persamaan 2.30. sehingga hasil integral dari persamaan probabilitas error pada kanal *slow flat Rayleigh fading* pada teknik diversitas antenna dapat dilihat pada persamaan 2.31[3].

$$P_b = \left[ \frac{1}{2} (1 - \mu) \right]^L \prod_{k=0}^{L-1} \binom{L-1+k}{k} \left[ \frac{1}{2} (1 - \mu) \right]^k \quad \dots(2.31)$$

Dimana

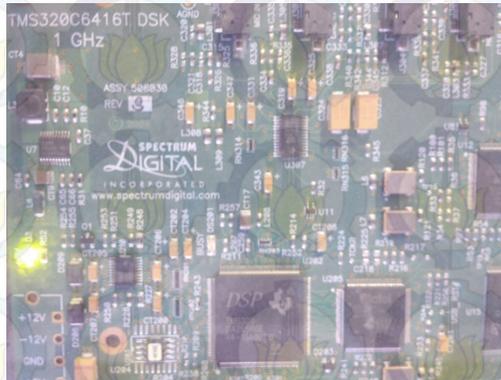
$$\mu = \sqrt{\frac{\bar{\gamma}_c}{1+\bar{\gamma}_c}} \quad \dots(2.32)$$

## 2.5 DSK TMS320C6416T

TMS320C6416 diciptakan oleh Texas Instrument yang digunakan untuk aplikasi pengolahan sinyal digital secara real time. Dimana Terdiri dari sebuah papan sirkuit kecil berisi DSP TMS320C6416 fixed-point dan interface rangkaian analog (codec) TLV320AIC23 yang terhubung ke PC melalui port USB. Software pada PC yaitu Code Composer Studio (CCS) yang memungkinkan file ditulis dalam bahasa C atau bahasa assembly kemudian dapat dikompilasi untuk dijalankan ke dalam DSK[8].

*Digital signal Processor* ( DSP ) adalah sebuah mikrosesor, dimana arsitekur dan instruksinya diatur pada DSP yang optimasikan untuk pemrosesan sinyal digital secara real time. DSP digunakan dalam berbagai aplikasi dari komunikasi, speech control dan image processing. Biasanya terdapat di telepon selular, fax/modem, disk drives, radio, printer, alat bantu dengar, pemutar MP3, HDTV, kamera digital, dan sebagainya. Berbagai teknologi telah menggunakan proses real-time, fiber optic untuk aplikasi VHF cocok menggunakan DSP karena masih dalam jangkauan audio frekuensi. Aplikasi umum yang menggunakan DSP ini yaitu untuk frekuensi 0-96 kHz. Frekuensi tersebut merupakan standar dalam sistem telekomunikasi untuk sample speech di 8 kHz (satu sampel setiap 0,125 ms). Sistem audio umumnya menggunakan





**Gambar 2.10** DSK TMS320C6416T

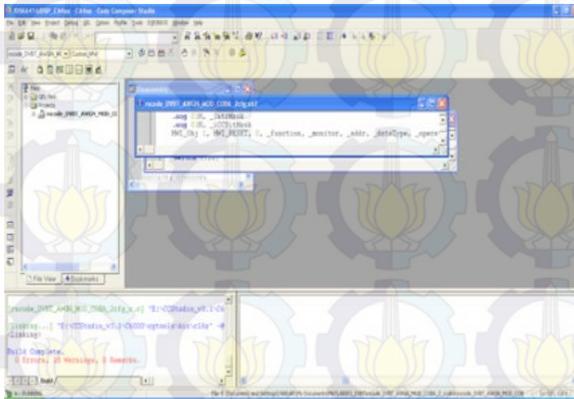
## 2.6 Code Composer Studio

*Code composer studio* ( CCS ) adalah perangkat lunak yang digunakan untuk membantu menterjemahkan suatu bahasa program ke dalam bahasa program yang digunakan pada DSK TMS. CCS dapat melakukan *real-time debugging*. Pada CCS mempunyai C compiler mengkompilasi program dalam bahasa C, sedangkan untuk menghasilkan file *assembly* menggunakan ekstensi *\*.asm*. *Assembler* memproses file *\*.asm* untuk menghasilkan file bahasa *assembler* atau bahasa mesin dengan ekstensi *\*.obj*. Berikutnya pada linker berfungsi untuk menggabungkan file-file menjadi executable file dengan ekstensi *\*.out*. File yang telah di eksekusi telah masuk ke dalam prosesor C6416. Untuk menghubungkan PC dengan port DSK digunakan USB agar file tersebut dapat di program ke dalam DSK dengan bantuan CCS.

Matlab terdapat beberapa fungsi yang dapat menghubungkan PC dengan DSK TMS320C6x melalui CCS. Matlab dan CCS dapat membangun dan memvalidasi hasil perancangan pengolahan sinyal digital dimana menghasilkan kode yang akan dijalankan oleh DSK TMS320C6x. CCS terdapat fitur untuk *editing*, *building*, *debugging*, *code profiling* dan *project management*. CCS mengintegrasikan simulasi yang dibuat di simulink Matlab dan mengkonversikan kedalam bahasa C dan *assembly* sehingga dapat terbaca oleh DSK TMS320C6x.

Dimana DSK TMS320C6416 memiliki berbagai versi, versi yang sering digunakan pada DSK TMS320C6416 adalah CCS v3.1 dan v3.3.

Dimana yang membedakan versinya hanya untuk kompatibilitas suatu program saja. Untuk versi 3.1 dapat menggunakan Matlab Simulink 2007a sampai 2007b dan 3.3 untuk 2008a sampai terbaru. Matlab simulink digunakan sebagai program pemodelan sistem sebelum dimasukan ke dalam DSK TMS.



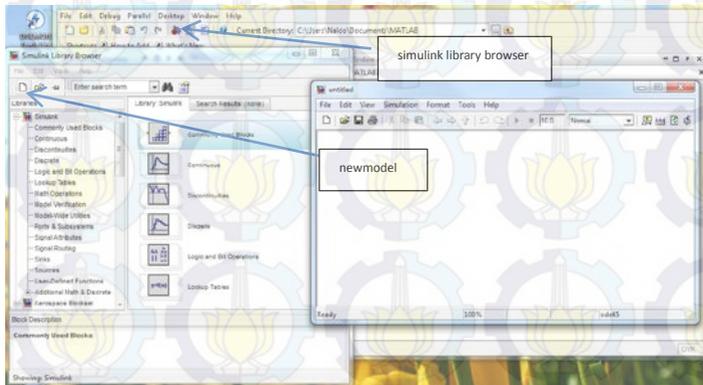
**Gambar 2.11** Tampilan Code Composer Studio v3.3

## 2.7 Matlab Simulink

Matlab adalah perangkat lunak berbasis pengolahan matriks. Di dalam Matlab terdapat program simulink. Simulink adalah suatu program grafis yang dapat memodelkan, mensimulasikan serta menganalisa sistem multidomain. *Simulink* juga mampu untuk menggunakan *auto code generation*, *countinuous test*, dan verifikasi embedded sistem. Antarmukanya berupa blok – blok yang digunakan untuk memodelkan suatu sistem dalam bentuk blok digram. Dimana blok – blok tersebut didalamnya dapat diatur suatu parameter yang digunakan untuk membuat suatu sistem dalam bentuk blok diagram. Simulink banyak digunakan dalam teori kontrol dan pemrosesan sinyal digital dalam bentuk multidomain.

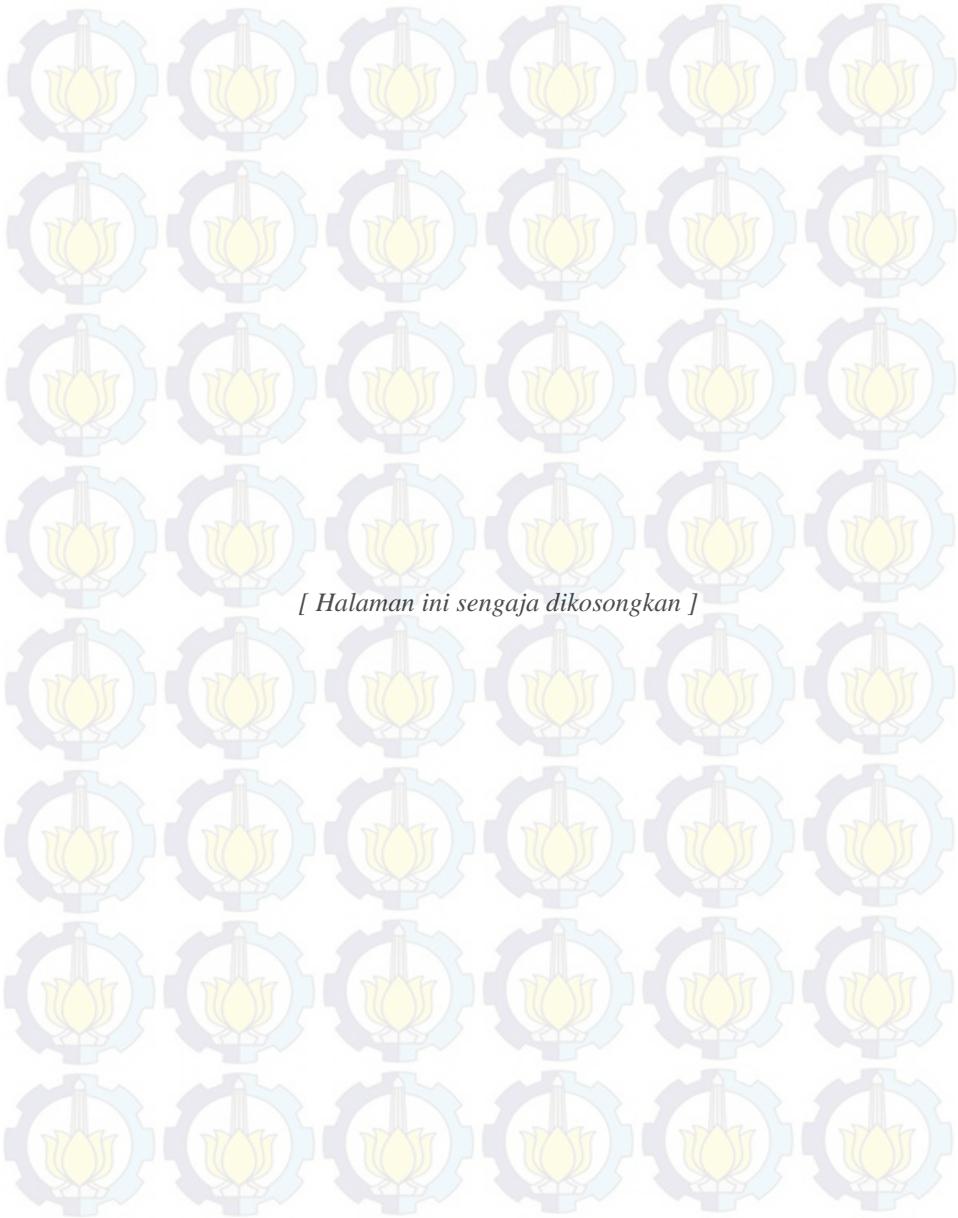
Awal penggunaan simulink pada matlab dapat dimulai dengan mengklik *toolbar simulink library browser*. Dimana didalam *simulink library browser* terdapat blok – blok yang digunakan untuk membuat suatu model sistem. Untuk menampilkan halaman yang digunakan dalam membuat suatu model sistem dapat mengklik *toolbar newmodel*.

Penyimpanan file pada *simulink* akan disimpan dalam bentuk ekstensi file mdl. Dimana file – file mdl pada simulink memiliki tidak bisa sembarang dibuka pada suatu matlab simulink, biasanya harus dibuka sesuai dengan versi matlab simulink saat pembuatannya. Jika ingin dibuka dalam versi matlab tertentu maka harus di save sesuai dengan format matlab simulink yang diinginkan.



**Gambar 2.11** Simulink Matlab 2008a

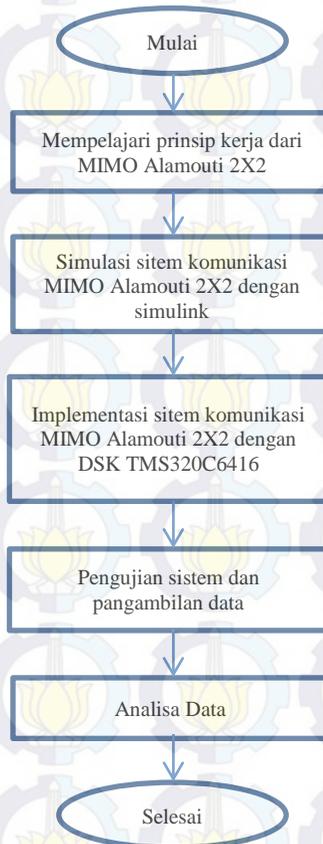
Simulink hanya suatu program yang digunakan untuk pemodelan sistemnya saja. Untuk memasukan suatu sistem program ke dalam DSK TMS dibutuhkan suatu program lagi yaitu *code composer studio*. Dimana pengaturan antara *Simulink* dan CCS agar dapat memasukan program ke dalam papan DSK TMS akan dibahas pada bab selanjutnya.



*[ Halaman ini sengaja dikosongkan ]*

### BAB III PERANCANGAN DAN IMPLEMENTASI SISTEM

Bab ini membahas tentang proses pembuatan model simulasi dan implementasi MIMO 2X2 dengan menggunakan DSK TMS320C6416. Dimana akan dijelaskan mengenai *flow chart*, perangkat, blok – blok simulasi dan serta metodologi pengujian dan pengerjaan Tugas Akhir.



**Gambar 3.1** Skema Metodologi

Pada gambar 3.1 ada beberapa tahapan yang perlu dilakukan untuk melakukan implementasi MIMO Alamouti 2X2. Yang pertama dilakukan belajar dasar – dasar konsep dari mimo alamouti dengan tujuan mendapatkan model simulasi. Setelah itu melakukan simulasi agar mempermudah proses saat pengimplementasiannya. setelah implementasi dilakukan perlu diadakan pengujian dan pengambilan data untuk dianalisa agar mengetahui tingkat keberhasilan dari penelitian Tugas Akhir ini.

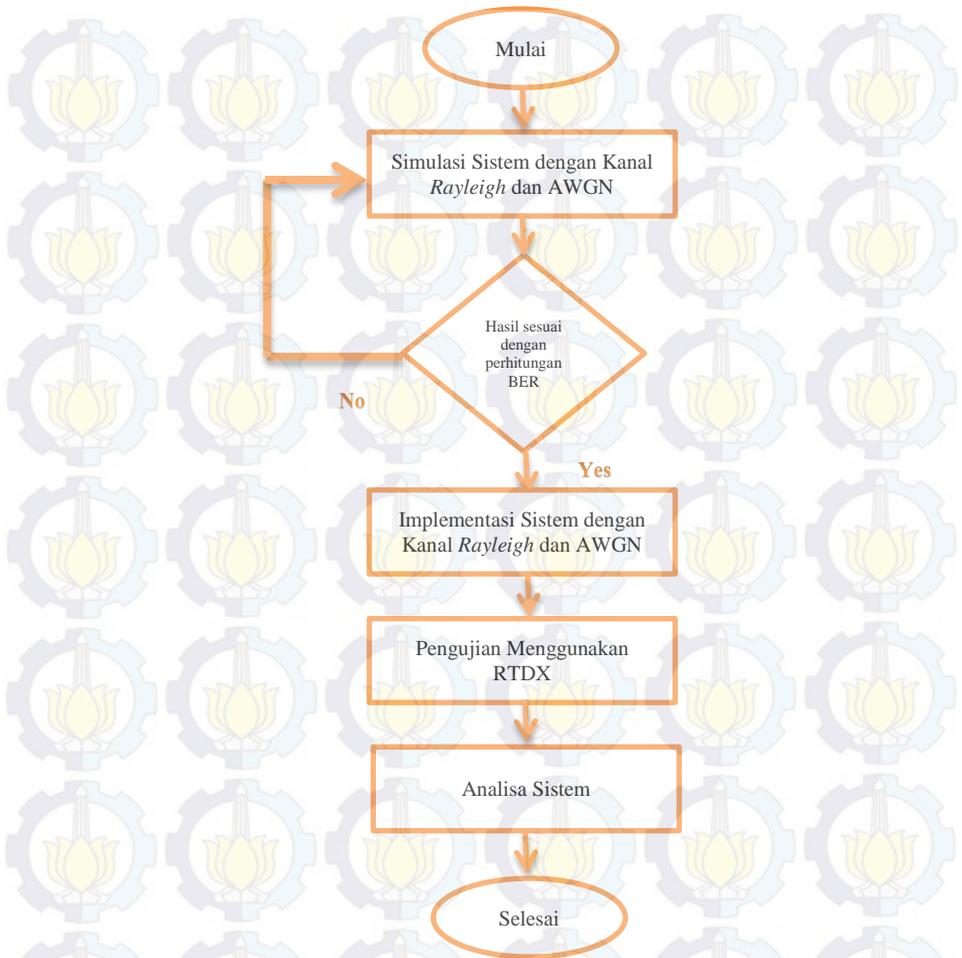
### 3.1. Alur Perancangan Sistem

Untuk memudahkan dalam membuat perancangan sistem, dibuat diagram alir yang bertujuan agar proses penelitian lebih terstruktur dan mengacu pada tujuan penelitian yang ingin dicapai. Alur perencanaan sistem dan analisa pada Tugas Akhir ini terdapat pada Gambar 3.1 di atas.

Bila diamati, tiap kegiatan yang dilakukan pada Tugas Akhir ini bersifat terkait dan berurutan. Jadi jika suatu tahap belum dipenuhi, maka tahap yang berikutnya belum bisa untuk dilaksanakan. Selain diagram sistem secara keseluruhan, di sini juga dibuat diagram alir dari tahap implementasi sistem. Dapat dilihat pada Gambar 3.2.

Sinyal input digital yang dibangkitkan dari dalam Matlab Simulink, bit yang dihasilkan dapat dibuat secara acak dari *Bernoulli Binary Generator*. Sinyal ini akan mengalami pengkodean Alamouti sebelum dilakukannya modulasi BPSK. Pengkodean Alamouti hanya dilakukan pada MISO dan MIMO, sedangkan untuk SISO langsung ke modulasi. Setelah itu melewati kanal *Rayleigh* dan melewati kanal AWGN. Pada kanal AWGN akan diatur nilai  $E_b/N_o$  untuk mengetahui kinerja BER dari sistem.

Analisa yang diamati dari pengujian sistem implementasi adalah BER yang dihasilkan. BER hasil implementasi akan dibandingkan dengan BER waktu simulasi, serta secara teori. Selain itu juga membandingkan hasil BER dari ketiga sistem tersebut yaitu SISO, MISO Alamouti 2x1 dan MIMO Alamouti 2x2 baik secara simulasi maupun implementasi.



**Gambar 3.2** Skema Pengujian dan Analisa Sistem

### 3.2. Persiapan Perangkat

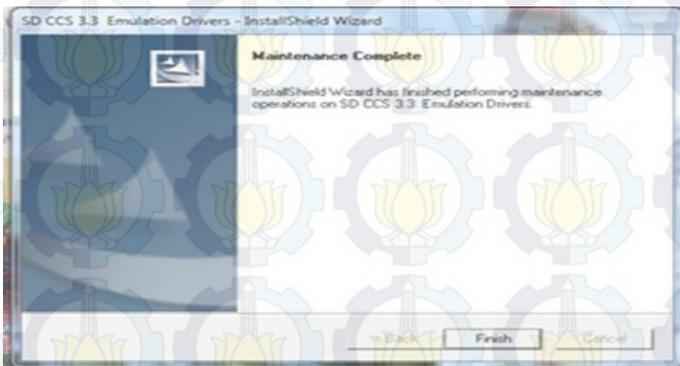
Pada proses pembuatan Tugas Akhir ini dibutuhkan beberapa perangkat yang digunakan untuk mempermudah penyelesaiannya. Perangkat yang harus disiapkan *Matlab simulink 2008a*, dan *Code*

*composer studio ver 3.3*. Pada bagian ini akan dijelaskan proses instalasi CCS v3.3 dan Integrasi CCS v3.3 ke dalam simulink.

### 3.2.1. Instalasi Code Composer Studio ver 3.3 (CCS V3.3)

Perangkat lunak atau software code composer studio berfungsi untuk menterjemahkan blok model sistem pada Simulink MATLAB sehingga dapat dijalankan pada perangkat DSK TMS320C6416T.

CCS v3.3 merupakan software perbaikan dari CCS v.3.1, dimana pada versi CCS v3.1 hanya mampu untuk *matlab simulink 2007a* yang hanya mampu dengan pengguna *operating sistem windows xp*. Sedangkan pada CCS v3.3 mampu untuk *matlab simulink 2007b* ke atas. Sehingga dengan menggunakan CCS v3.3 mampu menggunakan *operatin system windows 7* pada komputer.



**Gambar 3.3** SD Driver CCSv.3.3

File – file yang dibutuhkan untuk instalasi CCSv3.3 adalah *software* file CCSv3.3 Platinum serta file *driver* SD CCSv3.3. Proses Instalasi CCSv.3.3 sama dengan penginstalan *software* pada umumnya. File driver SD CCSv3.3 digunakan untuk mengidentifikasi perangkat DSK TMS320C6416 pada software CCSv3.3.



**Gambar 3.4** Code Composer Studio v3.3 platinum

Setelah terinstal, CCS ver 3.3 diatur terlebih dahulu agar DSK TMS320C6416 dapat terintegrasi dengan CCS. Pada CCSv3.3 terdapat bermacam - macam diver DSK C6416, sehingga pemilihan drivernya harus sama dan sesuai yang telah ditentukan. Pemilihan yang tidak sesuai akan menyebabkan penggunaan DSK TMS320C6416 tidak maksimal, karena fasilitas yang digunakan jadi tidak lengkap. Hal pertama yang dilakukan untuk proses pengintegrasian adalah dengan membuka *software* CCSv3.3 setup. Setelah CCSv3.3 setup terbuka pilih C6416 DSK-USB pada kolom *available factory board* yang berada ditengah, lalu klik tombol *Add*. Jika software tambahan SD CCS v3.3 tidak terinstal dengan baik, maka dapat membuat C6416 DSK – USB tidak dapat terbaca dikolom *available factory board*. Setelah itu akan terlihat DSK C6416 pada kolom sebelah kiri Setelah itu klik tombol *save&quit*. Setelah itu akan keluar aplikasi CCS v 3.3 yang disiap digunakan.



Gambar 3.5 CCSv3.3 setup

### 3.2.2. Integrasi Code Composer ver 3.3 ke Simulink

Tahap selanjutnya setelah CCS dan simulink terinstal, perlu dilakukan pengintegrasian antara simulink dan CCS agar blok – blok sistem yang telah dibuat di simulink dapat diimplementasikan ke dalam DSK TMS 320C6416. Untuk dapat *build* system yang ada pada simulink ke dalam *DSK board* diperlukan beberapa pengaturan konfigurasi yang dilakukan pada simulink. Pengaturan pada simulink dapat diakses pada menu *Simulation* kemudian dipilih *Configuration Parameter*. Beberapa parameter yang harus diatur sebagai berikut:

1. Pada *solver*, pada *bar solver option* terdapat dua kolom yang akan dipilih yaitu *type* dan *solver*. Pada kolom *type* dipilih *fixed-step* sedangkan pada *solver* dipilih *discrete time*. Kedua parameter tersebut yang cocok untuk DSK TMS320C6416 karena tipe dari TMS tersebut melakukan prosesnya *fixed point* dan dilakukan dalam bentuk diskrit.



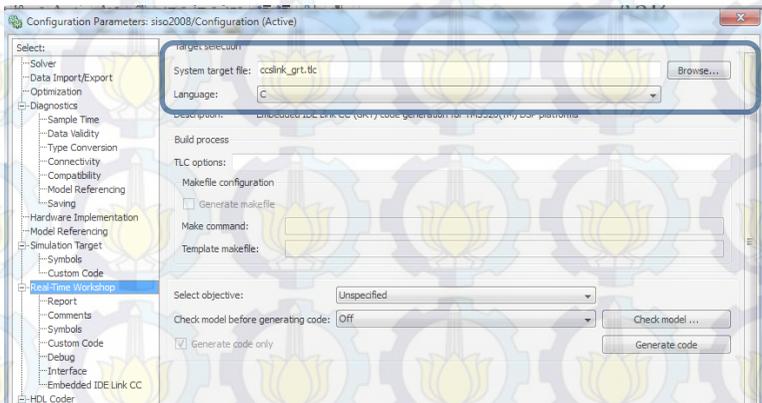
Gambar 3.6 Pengaturan Solver Options

2. Bagian *Optimization*, pada *Simulation and code generation*, *unchecked* pada *block reduction* dan *implement logic signal as boolean data*. Tujuannya agar Simulink tidak menterjemahkan blok-blok yang tidak terpakai untuk diubah dalam bahasa C.



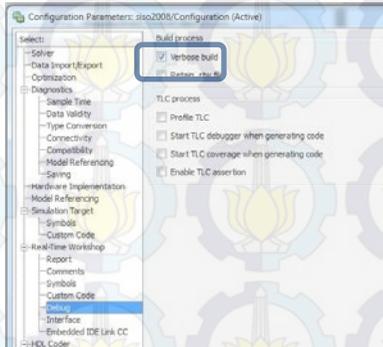
**Gambar 3.7** Pengaturan *Simulation and Code Generation*

3. Pada *Real Time Workshop*, *System target file* pada *Target selection* diubah menjadi *ccslink\_grt.tlc*. Hal ini bertujuan untuk menghubungkan antara Simulink dengan CCS.



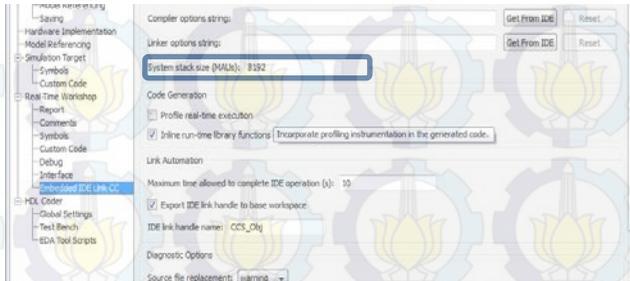
**Gambar 3.8** Pengaturan *System Target File*

4. 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.



**Gambar 3.9** Pengaturan *Build Process*

5. 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.



**Gambar 3.10** Pengaturan Sistem *Stack Size*

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 v3.3* untuk mengubah *file* Simulink menjadi *file project CCS* (\*.pj1) yang dimuat ke dalam DSK TMS320C6416T.

### 3.3. Pemodelan Sistem Simulasi

Hal yang dilakukan sebelum implementasi sistem kedalam DSK TMS320C6416 adalah melakukan pemodelan sistem yang dilakukan pada Matlab simulink. Tujuan dilakukan pemodelan adalah agar mendapatkan gambaran pemodelan sistem yang tepat dan sesuai dengan yang diinginkan sebelum sistem tersebut diimplementasikan kedalam sebuah perangkat DSK TMS320C6416. Sebelum melakukan pemodelan sistem ke dalam simulink perlu dilakukan pemodelan

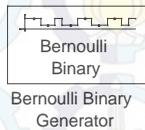
Secara umum, terbagi atas enam tahap pemrosesan pada simulasi ini, yaitu : sinyal informasi, *transmitter*, kanal, *receiver* dan perhitungan BER. Berikut ini penjelasan singkat dari setiap proses tersebut :

1. Sinyal informasi, pada blok ini akan membangkitkan sinyal berupa '1' dan '0'. Pada sistem blok yang digunakan adalah blok *bernouli binary generator*.
2. *Transmitter*, pada blok ini terdiri dari beberapa pemrosesan yaitu pengkodean Alamouti dan modulasi pada MISO dan MIMO, sedangkan pada SISO hanya menggunakan blok modulasi saja.. Blok *Trasmitter* terbuat dari *subsystem*, dimana dapat membuat blok – blok lagi didalam *subsystem*. Didalam blok *subsystem* terdiri beberapa blok untuk proses pengkodean Alamouti dan proses modulasi. Dimana modulasi yang digunakan adalah modulasi BPSK.
3. Kanal, pada blok ini merupakan kanal *Rayleigh* yang dibentuk dari dua derau *Gaussian* yang saling independent. Blok ini sama dengan *transmitter* menggunakan *subsytem* dalam pembuatannya. Didalam blok ini terdapat dua *Noise Gausssian Generator* yang salah satunya dalam bentuk bilangan imajiner, dimana kedua blok tersebut dijumlahkan untuk membentuk kanal *Rayleigh* sesuai dengan teori pada bab dua.
4. *Reciever*, pada blok ini terdiri beberapa pemrosesan yaitu pemrosesan MRC, estimasi dan demodulasi. estimasi yang dilakukan secara sempurna, dimana respon kanalnya diketahui.

5. 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. Untuk penjelasan lebih lanjut dari tiap-tiap blok pada keseluruhan proses diatas dapat diikuti di penjelasan berikutnya.

### 3.3.1 Simulasi SISO

Sinyal informasi untuk yang dibangkitkan pada simulasi SISO menggunakan blok *Bernoulli Binary Generator* yang didapat dari *simulink libraries – communications blockset – comm sources – random data sources – Bernoulli Binary Generator*. Blok ini dapat menghasilkan bit 0 dan 1 secara acak berdasarkan *initial seed*.



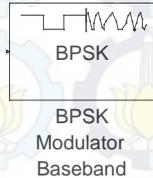
**Gambar 3.11** Blok *Bernoulli Binary Generator*.

Pengaturan parameter pada blok *Bernoulli Binary Generator* :

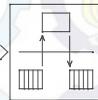
- *Probability of a zero* : 0.5  
(probabilitas munculnya nilai 0 dan 1 sama, yaitu 0.5)
- *Initial seed* : 61  
(*initial seed* adalah nilai acak yang dihasilkan generator)
- *Sample time* : 1/8  
(*setting* laju bit yang digunakan)
- *Frame based output*  
(output sinyal merupakan sinyal dalam bentuk frame)
- *Output data type* : *double*

Sinyal informasi masuk ke blok *BPSK Modulator Baseband*. Pada blok ini digunakan untuk memapping bit – bit informasi. Dimana bit ‘0’ menjadi bit ‘-1’ sedangkan untuk bit ‘1’ menjadi bit ‘1’. BPSK baseband modulation didapat pada *Communications Blockset – Modulation - Digital Baseband Modulation – PM - BPSK Modulator Baseband*. Gambar blok *BPSK Modulator Baseband* dapat dilihat pada gambar 3.12. Setelah melewati *mapping* masuk ke proses *upconverter* menggeser frekuensinya. Sebelum masuk proses *upconverter* terdapat

blok *rate transition* yang berfungsi untuk menyamakan laju datanya. Blok *rate transition* didapat pada *Simulink - Signal Attributes - Rate Transition*. Blok *Rate transition* dapat dilihat pada gambar 3.13.



**Gambar 3.12** Blok simulink *BPSK Modulator Baseband*

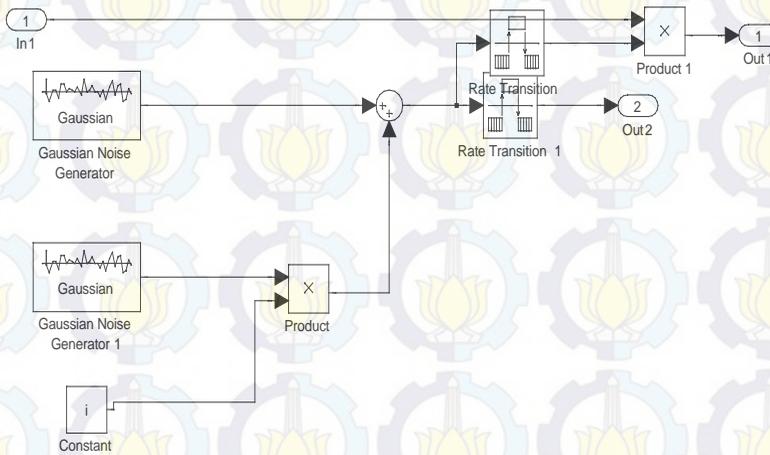


**Gambar 3.13** Blok simulink *Rate Transition*

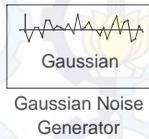
Blok yang digunakan untuk upconverter adalah blok simulink sine wave. Blok sine wave adalah blok yang digunakan untuk membangkitkan gelombang frekuensi pembawa. Blok sine wave didapat pada *Signal Processing Blockset - Signal Processing Sources - Sine Wave*. Frekuensi pembawa yang digunakan adalah 16Hz. Untuk memenuhi aturan nyquist, sampling time yang digunakan minimal dua kali frekuensi aslinya. Pada Tugas akhir ini menggunakan sampling timedelapan, jadi nilai sampling time pada blok sine wave yang digunakan adalah  $1/16 \cdot 8 = 1/128$  sample/s. Berikut ini parameter yang digunakan pada blok sine wave.

- *Amplitude* : sqrt(2)  
(amplitudo sinyal carier)
- *Frequency* : 16 Hz  
(Besar frekuensi *carrier* yang digunakan)
- *Phase offset* : pi  
(Nilai fasa dari sinyal pengali)
- *Sample mode* : Discrete  
(Mode sinyal hasil keluaran)
- *Sample time* : 1/128  
(Setting laju sampling yang digunakan)

Proses selanjutnya terjadi di kanal. Kanal yang digunakan adalah kanal *flat* dan *slow Rayleigh fading*. Penggunaan kanal *Rayleigh* mengganggu nilai amplitudo dan fase pada sinyal yang akan diterima. Sehingga sinyal akan diterima menjadi terdistorsi. Kanal pada SISO hanya menggunakan satu jalur saja, untuk MISO menggunakan dua jalur dan MIMO menggunakan empat jalur. Dimana kanal *Rayleigh* dibangkitkan dari dua *Gaussian Noise Generator* yang saling independent. Sesuai dengan persamaan  $X + jY$ , dimana  $X$  adalah *Gaussian Noise Generator* dengan bilangan real sedangkan  $Y$  dengan bilangan kompleks. Dengan nilai *mean nol* dan variansi setengah. Dimana blok yang digunakan untuk proses penjumlahan antara dua *Gaussian Noise Generator* adalah blok sum. Blok sum didapat pada *Simulink - Commonly Used Blocks – Sum*. *Sample time* yang digunakan dari *Gaussian noise generator* dua kali dari *sample time* sinyal informasi. *Sample time Gaussian Noise Generator* diberi dua kali dari sinyal informasi agar didapat kanal *slow* dan *flat fading*. Blok *Gaussian noise generator* didapat pada *Communications Blockset - Comm Sources - Noise Generators - Gaussian Noise Generator*. Gambar blok *Gaussian noise generator* dapat dilihat pada gambar 3.15. Berikut ini adalah parameter yang terdapat pada *Gaussian noise generator*.



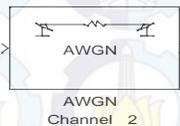
**Gambar 3.14** Blok simulasi kanal *Rayleigh*



**Gambar 3.15** Blok simulasi *Gaussian Noise Generator*.

- *Mean value* : 0  
(*mean value* nilai tengah dari *noise Gaussian*)
- *Variance* : 1/2  
(Nilai variansi)
- *Initial seed* : berbeda tiap noise generator  
(nilai acak yang dibangkitkan)
- *Sample time* :  $2 \cdot (1/8)$   
(waktu laju *sample*)

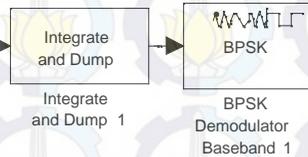
Setelah melewati kanal *Rayleigh* melakukan proses kanal AWGN. Pada kanal AWGN yang perlu diperhatikan parameternya adalah mode *signal to noise ratio* ( $E_b/N_o$ ). Dimana nanti saat pengukuran nilai  $E_b/N_o$  diubah – ubah untuk mengetahui kinerja kemampuan sistem yang digunakan. Blok AWGN didapat pada *Communications Blockset – Channels - AWGN Channel*. Gambar blok AWGN dapat dilihat pada gambar 3.16.



**Gambar 3.16** Blok simulink *AWGN channel*.

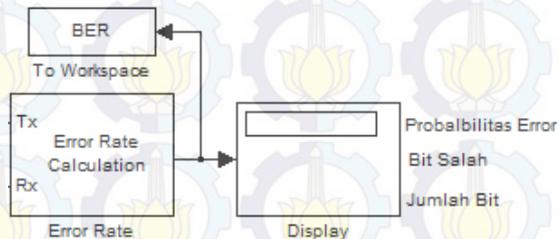
Proses berikutnya terjadi disisi penerima. Sinyal yang diterima *didownconverter* terlebih dahulu dengan menggunakan blok *sine waves*. Parameter yang digunakan sama dengan parameter saat *diupconverter*. Setelah itu sinyal dikalikan dengan kanal yang telah dikonjugasi. proses

ini untuk menghilangkan perbedaan fasenya. Setelah itu sinyal – sinyal informasi tersebut melewati blok integrate and dump terlebih dahulu sebelum dideteksi. Integrate and dump digunakan untuk mengintegrasikan sinyal sesuai dengan jumlah sampel yang digunakan. Periode integrasi yang dipasang adalah 16, hal ini karena frekuensi carrier dua kali bitrate dan menggunakan 8 sampel. Setelah melewati blok integrate and dump sinyal informasi yang diterima akan dideteksi dengan blok BPSK Demodulator Baseband. Pada blok ini digunakan untuk mendeteksi sinyal tersebut merupakan sinyal dengan bit ‘1’ atau ‘ bit ‘0’. Gambar blok *integrate n dump* dan *BPSK demodulator* dapat dilihat pada gambar 3.17.

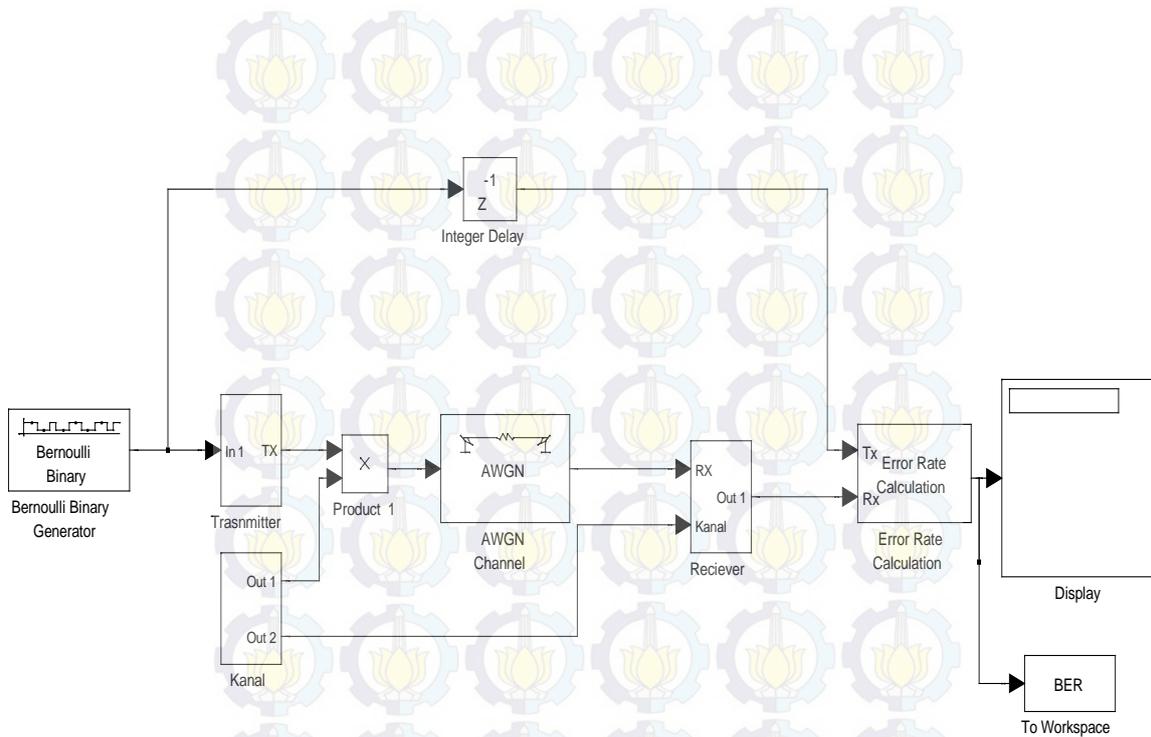


**Gambar 3.17** Blok simulink Integrate and dump dan BPSK Demodulator

Setelah melewati blok receiver sinyal yang diterima akan dibandingkan dengan sinyal yang dikirim dengan menggunakan blok *Error rate calculation*. Blok *Error rate calculation* dapat ditemukan pada *Communications Blockset - Comm Sinks - Error Rate Calculation*. Blok ini memiliki 2 masukan yaitu Tx dan Rx dan keluaran berupa port yang disambungkan ke blok Display. Data dari Tx sebelum masuk ke blok Error Rate Calculation harus di-delay karena menunggu data yang dikirim sampai di penerima. Blok simulasi SISO secara keseluruhan dapat dilihat pada gambar 3.19.



**Gambar 3.18** Blok *Error Rate Calculation*



**Gambar 3.19** Blok Smulasi SISO

### 3.3.2 Simulasi MISO

Sinyal informasi yang dibangkitkan dalam simulasi MISO sama dengan yang dibangkitkan dalam simulasi SISO yaitu blok *Bernoulli Binary Generator* yang membedakan *output*-nya saja. Pada SISO dalam bentuk skalar sedangkan MISO dalam bentuk frame. Dalam MISO satu frame terdiri dari dua bit. Tujuan dari output frame adalah agar mudah saat melakukan *serial to parallel*. *Serial to parallel* digunakan untuk melakukan pengkodean Alamouti dan pembagian sinyal informasi kedalam dua antena. Blok yang digunakan dalam MISO sama dengan SISO yaitu blok *Bernoulli Binary Generator*. Dan parameter yang digunakan juga sama, yang beda hanya *output*-nya MISO menggunakan sample frame dua.

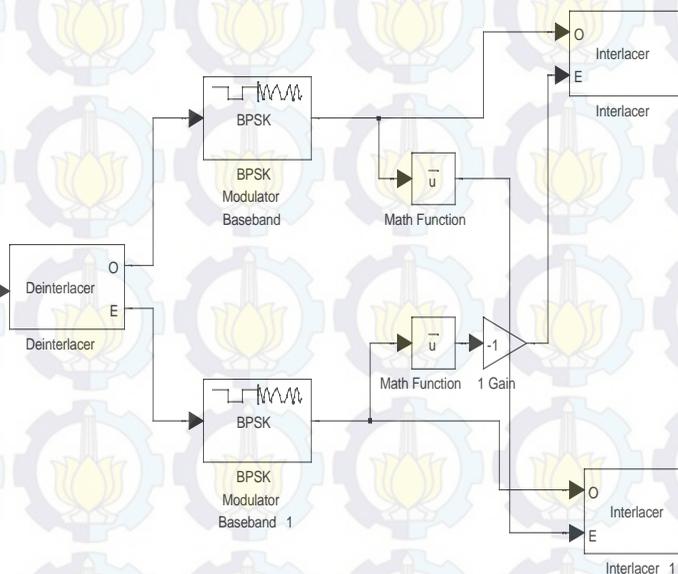
Setelah sinyal dibangkitkan, masukan kedalam *transmitter*. Proses didalam *transmitter* terdiri dari pengkodean Alamouti dan Modulasi. Sinyal pertama kali dibagi menjadi dua menggunakan *serial to parallel*. Blok yang digunakan untuk membagi dua yaitu blok *deinterlacer*. Blok tersebut didapat pada *communication blockset – sequence operation – deinterlacer*. Gambar blok *deinterlacer* dapat dilihat pada gambar 3.20.



**Gambar 3.20** Blok simulink *deinterlacer*

Setelah proses pemisahan sinyal informasi, sinyal informasi tersebut *dimapping* terlebih dahulu. Sinyal ‘0’ menjadi ‘-1’ dan sinyal ‘1’ menjadi ‘1’. Blok yang digunakan untuk *mapping* adalah blok *BPSK Modulator Baseband*. Setelah itu dilakukan pengkodean Alamouti. Algoritma dari pengkodean alamouti adalah pada antena pertama dengan sinyal pertama, antena kedua dengan sinyal kedua pada waktu berikutnya sinyal pada kedua antena tersebut ditukar dan diberi konjugasi dan pada antena pertama diberi tanda minus.

Untuk memberikan konjugasi pada sinyal berikutnya menggunakan blok *Math function*, dimana parameter pengaturan *function* dipilih *conjugate*. *Math function* didapat pada *Simulink - Math Operations - Math Function*. Untuk tanda minus menggunakan *gain* dengan nilai '-1'. Untuk menggabungkan sinyal pada periode berbeda pada tiap antenna menggunakan blok *Interlacer*. Pada blok *interlacer* terdapat dimasukan *odd* dan *even*, *odd* untuk periode sinyal pertama dan *even* untuk periode sinyal kedua. Blok *interlacer* didapat ditempat yang sama dengan blok *deinterlacer*. Gambaran bentuk skema simulasi dari pengkodean Alamouti dapat dilihat pada gambar 3.21.



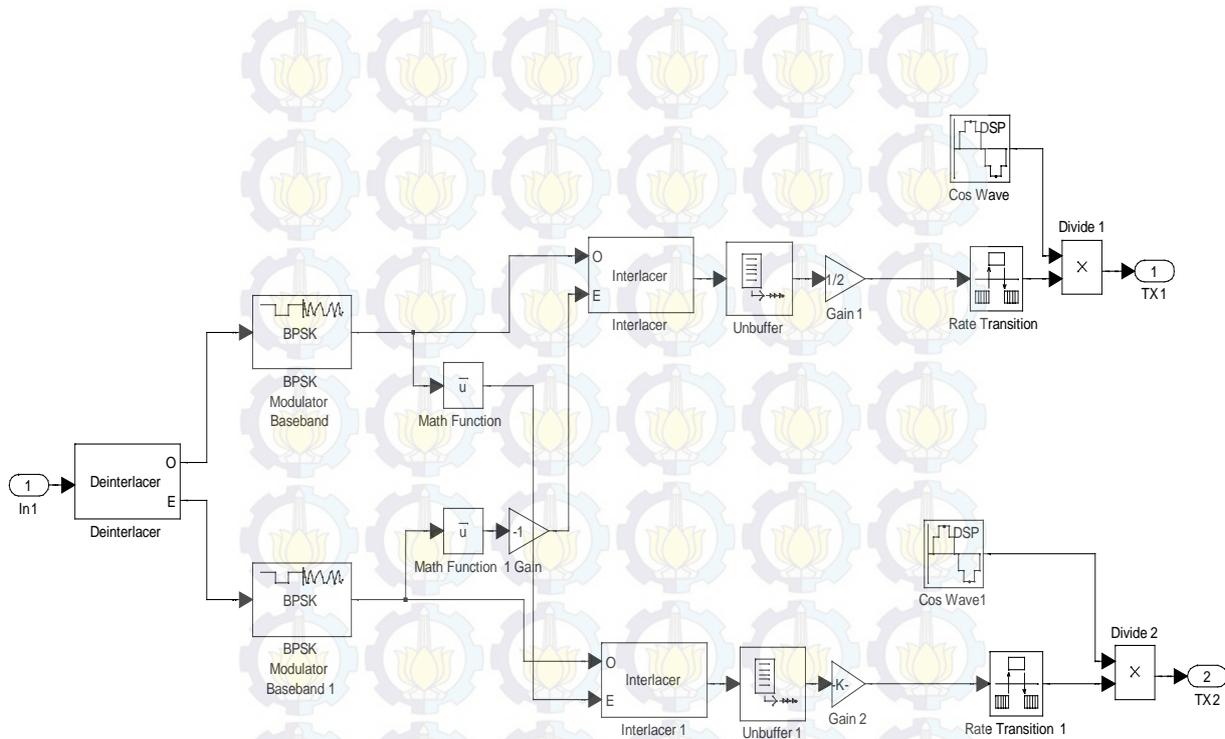
**Gambar 3.21** Skema Simulasi pengkodean Alamouti.

Hasil dari pengkodean Alamouti sebelum ditransmisikan melewati *upconverter* terlebih dahulu. Sebelum melewati *upconverter* di *unbuffer* terlebih dahulu, untuk mengubah bentuk sinyal yang tadi berbentuk frame menjadi skalar agar bisa dikalikan dengan frekuensi carriernya. Blok *unbuffer* didapat pada *Signal Processing Blockset -*

*Signal Management – Buffers – Unbuffer*. Setelah itu masuk ke blok *gain* untuk membuat dayanya menjadi setengah. Karena daya pengirim yang digunakan setengah dari daya SISO. Sebelum dikalikan dengan blok *sine wave* terdapat blok *rate transition* yang berfungsi untuk menyamakan laju datanya. Blok *rate transition* didapat pada *Simulink - Signal Attributes - Rate Transition*. Blok *product* digunakan untuk melakukan proses perkalian antara sinyal yang akan dikirimkan dengan blok *sine wave*. Blok *product* didapat pada *Simulink - Commonly Used Blocks – Product*. Blok *sine wave* adalah blok yang digunakan untuk membangkitkan gelombang frekuensi pembawa. Blok *sine wave* didapat pada *Signal Processing Blockset - Signal Processing Sources - Sine Wave*. Frekuensi pembawa yang digunakan adalah 16Hz. Untuk memenuhi aturan *nyquist*, *sampling time* yang digunakan minimal dua kali frekuensi aslinya. Pada Tugas akhir ini menggunakan *sampling time* delapan, jadi nilai *sampling time* pada blok *sine wave* yang digunakan adalah  $1/16 \cdot 8 = 1/128 \text{ sample/s}$ . Berikut ini parameter yang digunakan pada blok *sine wave*.

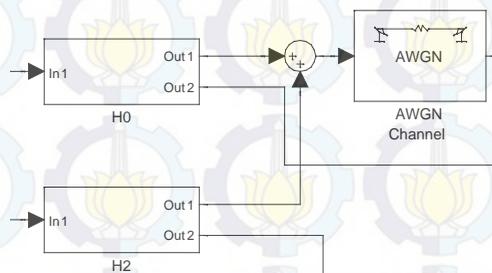
- *Amplitude* : sqrt(2)  
(amplitudo sinyal carier)
- *Frequency* : 16 Hz  
(Besar frekuensi *carrier* yang digunakan)
- *Phase offset* : pi  
(Nilai fasa dari sinyal pengali)
- *Sample mode* : Discrete  
(Mode sinyal hasil keluaran)
- *Sample time* : 1/128  
(Setting laju sampling yang digunakan)

Pada blok pada sisi *reciever* juga terdapat blok *sine wave* yang digunakan untuk proses *down converter*. Dan parameter yang digunakan dikedua sisinya sama. Pada proses *upconverter* adalah proses terakhir disisi *transmitter*. Gambaran proses yang dilakukan pada sisi *transmitter* secara keseluruhan dapat dilihat pada gambar 3.22.



**Gambar 3.22.** Blok Simulasi Transmitter MISO

Selanjutnya proses yang dilewati adalah kanal. Kanal yang digunakan adalah kanal *slow* dan *flat Rayleigh*. Penggunaan kanal Rayleigh mengganggu nilai amplitudo dan fase pada sinyal yang akan diterima. Sehingga sinyal akan diterima menjadi terdistorsi. Kanal Rayleigh yang digunakan sama dengan kanal Rayleigh yang ada di SISO, yang membedakan hanya pada MISO menggunakan dua jalur kanal Rayleigh. Kanal pertama untuk antenna pengirim pertama sedangkan untuk jalur kedua untuk antenna kedua. Parameter yang digunakan sama dengan SISO. Setelah kanal Rayleigh adalah kanal AWGN. Tampilan blok – blok kanal pada MISO dapat dilihat pada gambar 3.23.

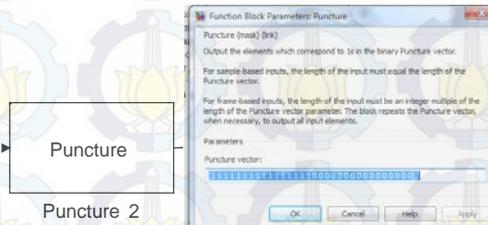


**Gambar 3.23** Blok simulasi Kanal pada MISO

Pada masukan *reciever* terdapat tiga masukan yang pertama untuk masukan antenna penerima, yang kedua dan ketiga adalah untuk estimator kanal. Masukan antenna penerima sesuai dengan persamaan pada bab dua

sinyal yang diterima di kalikan dengan basisnya atau *didownconverter* dengan menggunakan blok *sines wave*. Setelah melewati itu sinyal di *buffer* terlebih dahulu agar mudah dilakukan *serial to parallel*. Dimana sinyal dibuffer menjadi 32, sehingga sinyal berubah menjadi frame, dimana dalam satu frame terdapat dua simbol dengan 32 sampel. Tujuan dibuat frame agar mudah dipisahkan antar simbolnya pada periode pertama dengan berikutnya. Pemisahan antar simbol menggunakan blok *puncture*. Dimana pengaturan blok *puncture* untuk memisahkan pada *puncture vector*, didalam *puncture vector* dibuat 32 deretan angka '0' dan '1'. angka '1' digunakan untuk mengambil sampelnya sedangkan angka '0' untuk menghapus sampelnya. Untuk mendapatkan simbol pertama 16 deret angka pertama

diberi angka '1' dan 16 deret berikutnya kasih angka '0'. Blok *puncture* dapat diambil pada *Communications Blockset - Sequence Operations - Puncture*. Gambar blok *puncture* dan pengaturannya dapat dilihat pada gambar 3.24.



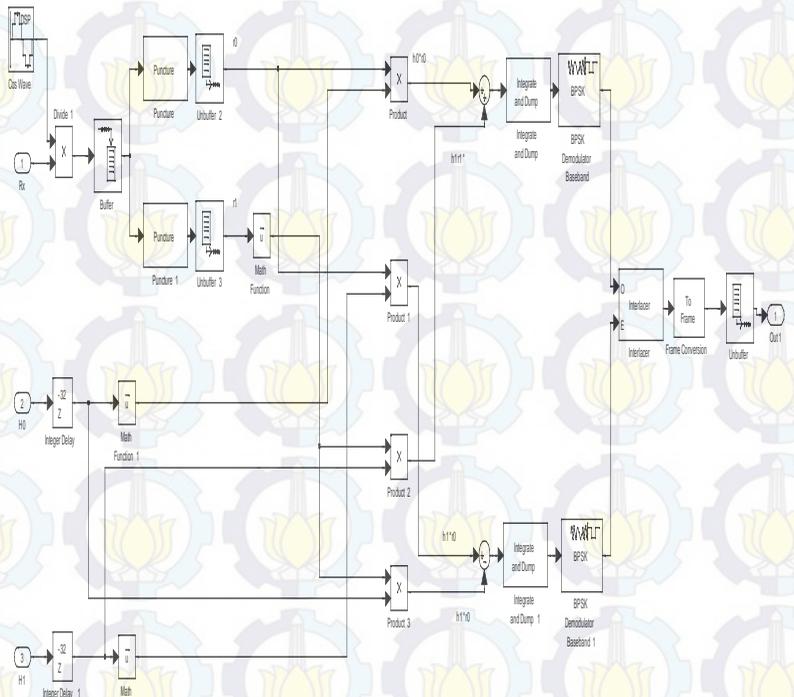
**Gambar 3.24** Blok simulink *puncture* dan setting parameternya.

Setelah dapat dipisahkan antar simbol, maka dapat dilakukan proses *Combining*. Combiner yang digunakan adalah MRC, dengan persamaan yang ada pada bab 2.

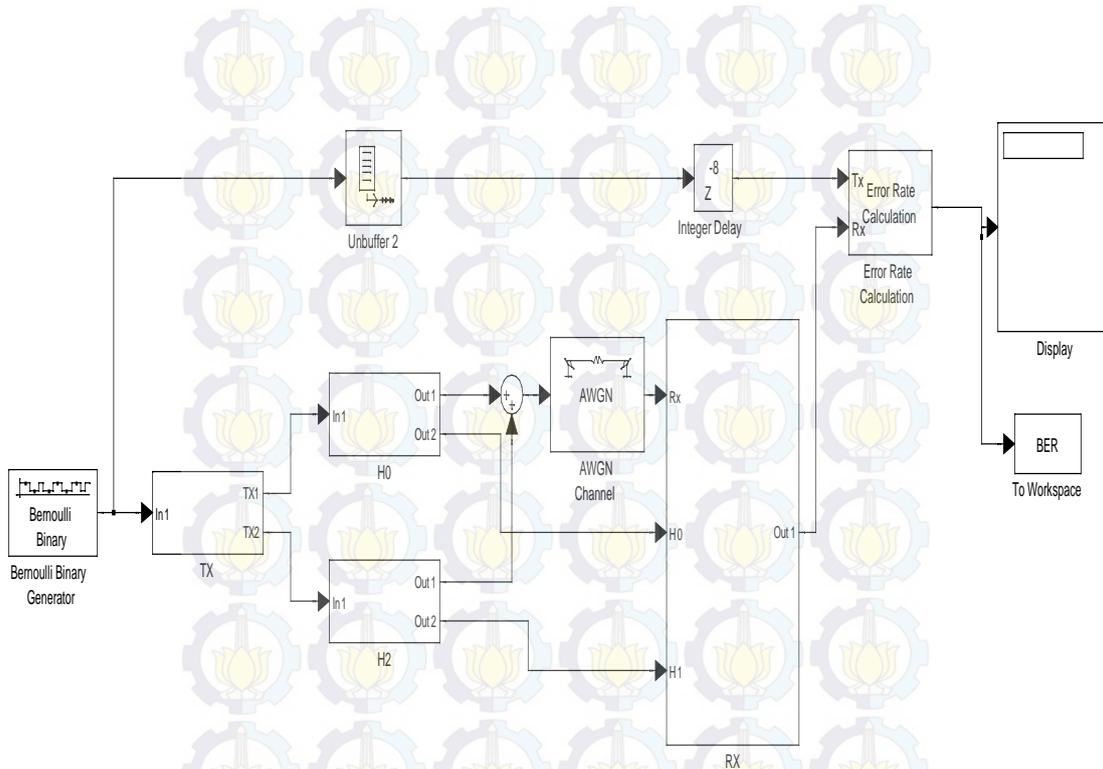
Simbol pertama yang pertama diterima adalah  $r_0$  dan simbol kedua  $r_1$ . Untuk mendapatkan  $\bar{S}_0$  dengan cara menjumlahkan dari  $h_0 * r_0$  dan  $h_1 r_1^*$ .  $r_0$  dibentuk dari keluaran *puncture* dan *unbuffer* pada blok yang pertama, setelah itu dikalikan dengan respon kanalnya yang diambil dari blok kanal dan sudah dikonjugasi untuk membentuk persamaan  $h_0 * r_0$ . Perkaliannya menggunakan blok simulink *product*. Kanal  $h_0$  di delay sebesar 32 sample, karena pengguna blok *buffer* yang digunakan untuk membantu pemisahan simbol membuat terjadinya delay sebanyak 32. Blok yang digunakan untuk mendelay adalah blok *integer delay*. Parameter *number of delay* (jumlah delay) pada *integer delay* adalah 32 sesuai dengan jumlah proses *buffer* pada pemisahan simbol. Blok dari *integer delay* didapat pada *Simulink - Discrete - Integer Delay*. Sedangkan  $r_1^*$  didapat dari blok kedua *puncture* dan *unbuffer* yang sudah melewati *math function* untuk melakukan konjugasi. Setelah itu dikalikan dengan  $h_1$  yang didapat dari blok kanal. Begitu juga untuk  $S_1$  didapat dengan cara mengurangkan dari  $h_1 * r_0$  dengan  $h_0 r_1^*$ . Blok yang digunakan untuk membentuk  $h_1 * r_0$  dan  $h_0 r_1^*$  sama dengan blok – blok yang digunakan untuk membentuk  $h_0 * r_0$  dan  $h_1 r_1^*$ .

Setelah melewati proses MRC, sinyal – sinyal informasi tersebut melewati blok *integrate and dump* terlebih dahulu sebelum dideteksi. *Integrate and dump* digunakan untuk mengintegrasikan sinyal sesuai dengan

jumlah sampel yang digunakan. Periode integrasi yang dipasang adalah 16, hal ini karena frekuensi carrier dua kali bitrate dan menggunakan 8 sampel. Setelah melewati blok *integrate and dump* sinyal informasi yang diterima akan dideteksi dengan blok *BPSK Demodulator Baseband*. Pada blok ini digunakan untuk mendeteksi sinyal tersebut merupakan sinyal dengan bit '1' atau 'bit '0'. Setelah melewati deteksinya tahap berikutnya melewati proses *parallel to serial* untuk menggabungkan priode sinyal pertama dan berikutnya. blok yang digunakan untuk *parallel to serial* adalah blok *interlacer*. Setelah itu mengurutkan pola urutan sinyalnya digunakan blok *to frame*. Setelah itu di *unbuffer* untuk mengubah dari frame ke skalar. blok keseluruhan proses yang terjadi pada sisi *reciever* dapat dilihat pada gambar 3.25 setelah itu sinyal *output* dibandingkan *input* dengan menggunakan blok *error rate calculation* untuk mengetahui performasi sistem MISO.



**Gambar 3.25** Blok Simulasi Reciever MISO

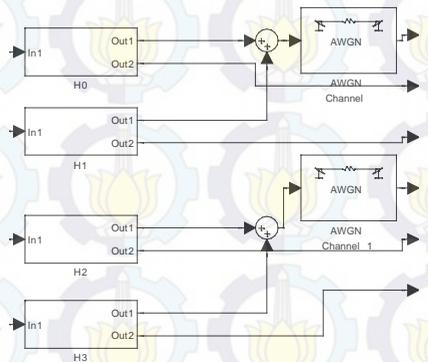


**Gambar 3.26** Blok simulasi MISO Alamouti 2X1

### 3.3.3 Simulasi MIMO Alamouti 2X2

Sinyal informasi yang dibangkitkan sama dengan SISO dan MISO menggunakan blok *Bernoulli Binary Generator*. Parameter blok *Bernoulli Binary Generator* pada MIMO sama dengan pada MISO. Selanjutnya proses pengkodean Alamouti dan modulasi BPSK pada MIMO juga sama dengan pada MISO. Blok – blok yang digunakan juga sama untuk membentuk blok simulasi *transmitter*-nya.

Selanjutnya proses di kanal. Kanal pada tugas akhir adalah kanal *Multipath Fading* dan AWGN. Kanal *multipath fading* terbentuk dari empat jalur kanal *Rayleigh slow flat fading* untuk MIMO sedangkan untuk MISO terdiri dari dua jalur kanal. Kanal *Rayleigh* yang dibangkitkan sama dengan kanal *Rayleigh* pada SISO dan MISO yaitu dengan membangkitkan dua *noise Gaussian* yang saling independent dan memiliki nilai mean nol dan variansi  $\frac{1}{2}$ . Blok - blok yang digunakan sama yaitu *Gaussian noise generator* dan parameter yang diatur juga sama, yang beda hanya *intial seed* yang beda agar derau *Gaussian* yang dibangkitkan saling independent. Pengguna kanal *Rayleigh* mempengaruhi nilai amplitudo dan perbedaan fase pada sinyal yang akan diterima. Gambaran kanal pada MIMO dapat dilihat pada gambar 3.27.



**Gambar 3.27.** Blok simulasi Kanal MIMO 2X2

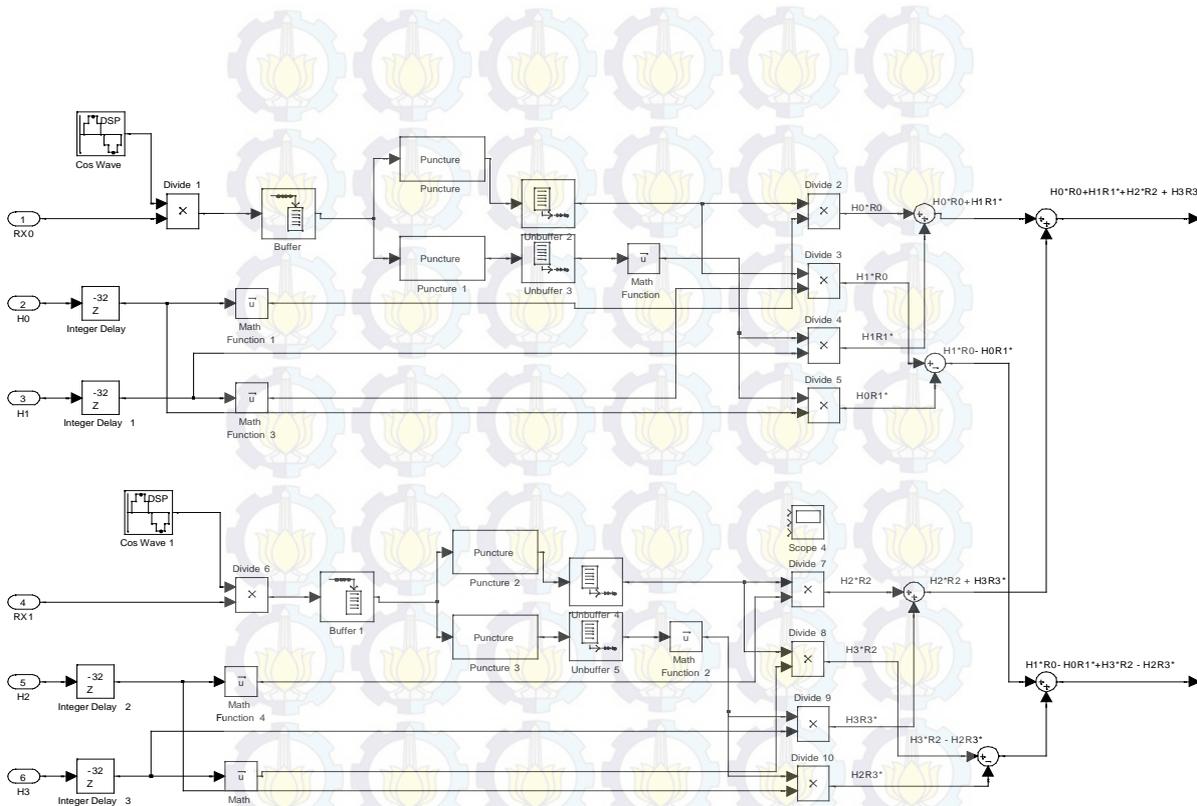
Pada sisi *reciever* terdapat enam inputan dimana dua input sebagai Antena penerima pertama dan kedua, sedangkan empat inputan yang lainnya untuk estimator kanal.

Masukan pada antenna sebelum masuk ke dalam dilakukan MRC dilakukan *downconverter* terlebih dahulu. Blok yang digunakan pada *downconverter* sama dengan blok yang digunakan *upconverter* yaitu blok *sinwave* dan parameter yang digunakan juga sama. Setelah melewati itu sinyal di *buffer* terlebih dahulu agar mudah dilakukan *serial to parallel*. Dimana sinyal di *buffer* menjadi 32, sehingga sinyal berubah menjadi frame, dimana dalam satu frame terdapat dua simbol dengan 32 sampel. Tujuan dibuat frame agar mudah dipisahkan antar simbolnya pada periode pertama dengan berikutnya. Pemisahan antar simbol menggunakan blok *puncture*.

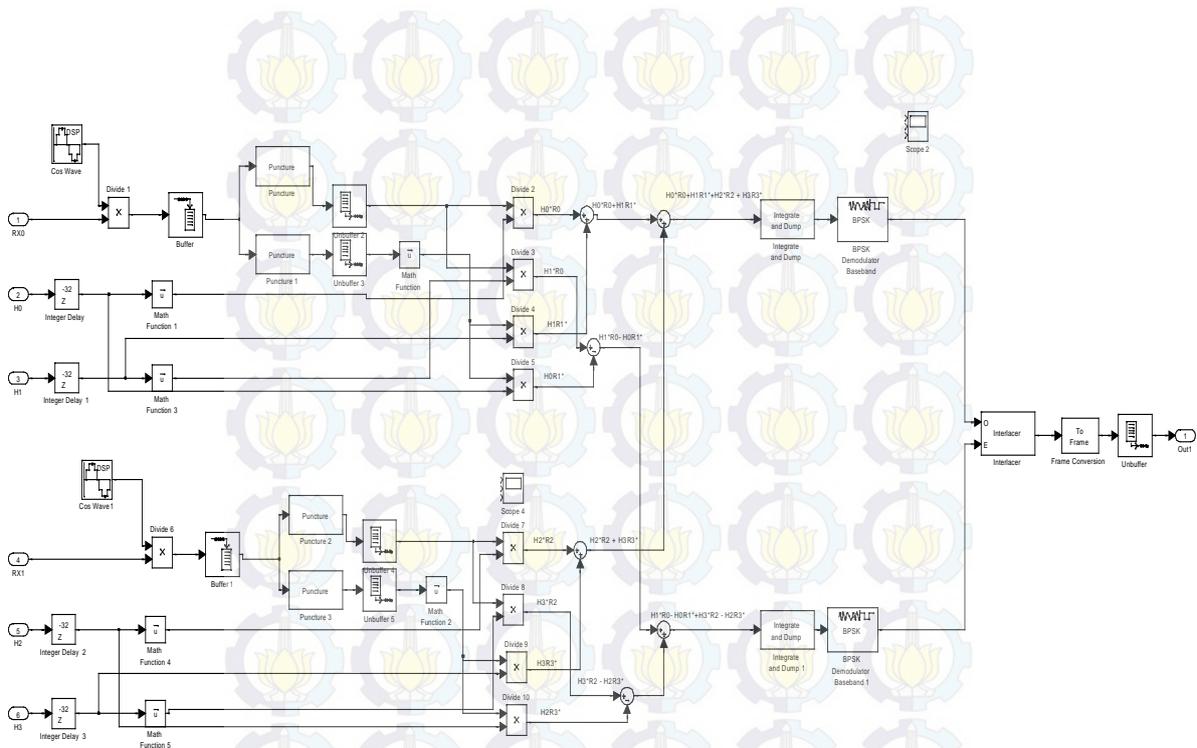
Setelah antar simbol terpisah dilakukan *unbuffer* terlebih dahulu sebelum dilakukan MRC dan estimasi. Skema dari MRC sama dengan persamaan 2.16 pada teori pada bab 2. Blok – blok simulink yang digunakan pada proses MRC pada MIMO 2X2 hampir sama dengan blok MISO.  $S_0$  didapat dari penjumlahan dari  $h_0^* r_0$ ,  $h_1 r_1^*$ ,  $h_2^* r_2$ ,  $h_3 r_3^*$ . Dimana  $h_0^* r_0$  dibentuk dari estimator respon kanal  $h_0$  yang dikonjugasi dan dikalikan  $r_0$  simbol periode  $t$  pada antenna pertama (keluaran blok *puncture* dan *unbuffer2* pada blok *reciever* MIMO). Untuk  $h_1 r_1^*$  dibentuk dari respon kanal  $h_1$  dan  $r_1^*$  simbol periode  $t+T$  pada antenna kedua (keluaran blok *puncture1* dan *unbuffer3*). Untuk  $h_2^* r_2$  dibentuk dari respon kanal  $h_2$  yang dikonjugasi dan  $r_2$  adalah simbol periode  $t$  pada antenna kedua (keluaran blok *puncture2* dan *unbuffer3*). Dan  $h_3 r_3^*$  dibentuk respon kanal  $h_3$  dan  $r_3^*$  adalah simbol periode  $t+T$  pada antenna kedua (keluaran blok *puncture2* dan *unbuffer4*).

Setelah melewati MRC akan dilakukan proses korelator dan deteksi. Proses yang dilakukan menggunakan blok yang sama dengan pada MISO yaitu blok *integrate and dump* dan *BPSK Demodulator Baseband*.

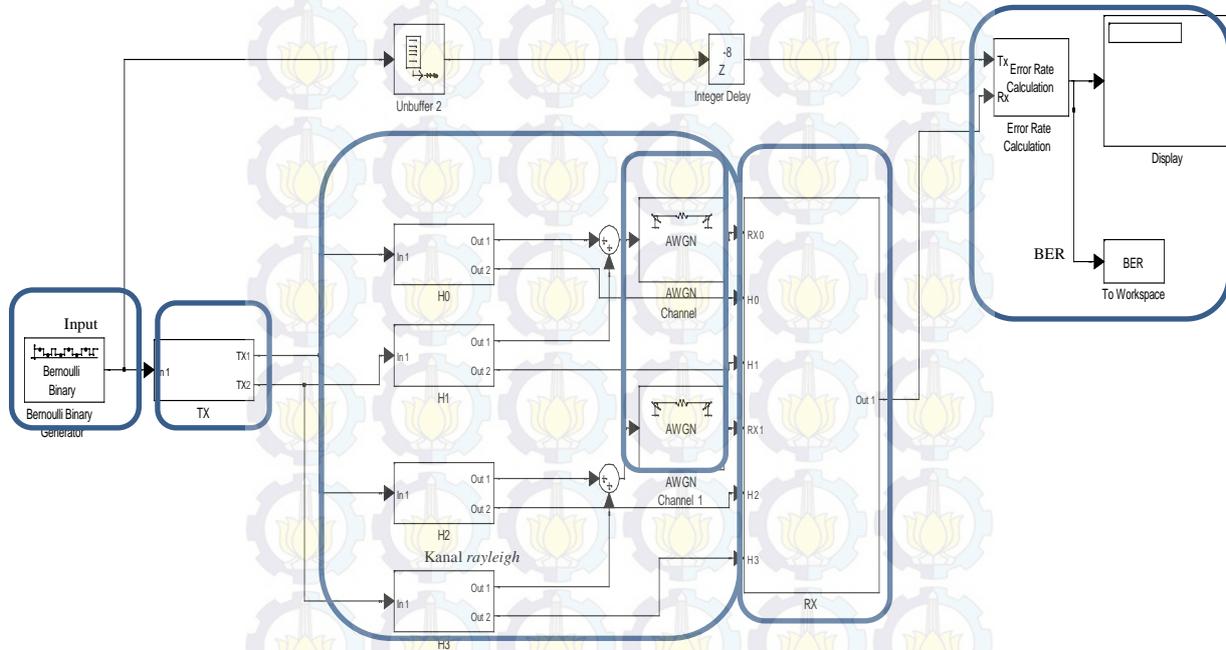
Setelah melewati proses MRC, sinyal – sinyal informasi tersebut melewati blok *integrate and dump* terlebih dahulu sebelum dideteksi. Periode integrasi yang dipasang di *integrate and dump* adalah 16, hal ini karena frekuensi carrier dua kali bitrate dan menggunakan 8 sampel. Setelah melewati deteksinya tahap berikutnya melewati proses *parallel to serial* untuk menggabungkan priode sinyal pertama dan berikutnya. blok yang digunakan untuk *parallel to serial* adalah blok *interlacer*. Setelah itu mengurutkan pola urutan sinyalnya digunakan blok *to frame*. Setelah itu di *unbuffer* untuk mengubah dari frame ke skalar.



Gambar 3.28. Blok simulink MRC MIMO 2X2



Gambar 3.29 Blok simulink *Reciever*



**Gambar 3.30** Blok simulasi MIMO Alamouti 2X2

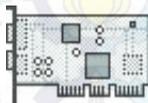
Pada gambar 3.30 pada blok – blok simulink MIMO 2X2 terdapat blok *error rate calculation* yang digunakan untuk membandingkan antar input dan output dengan tujuan untuk mengetahui performansi dari BER-nya. Terdapat blok display untuk menampilkan nilai BER yang disimulasikan.

### 3.4. Implementasi Sistem menggunakan DSK

#### TMS320C6416T

Setelah melakukan proses simulasi dilakukan pengimplementasian kedalam DSK TMS320C6416. Dalam hal ini implementasi yang akan dilakukan adalah memprogram DSK TMS320C6416 sehingga didapatkan hasil kerja sistem seperti dengan simulasi sistem. Pengimplementasian dapat dilakukan dengan berbagai bahasa pemrograman. Pada tugas akhir ini pengimplementasian dilakukan dengan menggunakan program Matlab Simulink yang terintegrasi dengan CCS.

Pada saat implementasi terdapat blok penting agar simulink dapat terintegrasi dengan DSK TMS320C6416 yaitu Blok *C6416DSK* yang didapat pada *Target Support Package TC6-C6000 Target Preferences-C6416DSK*.



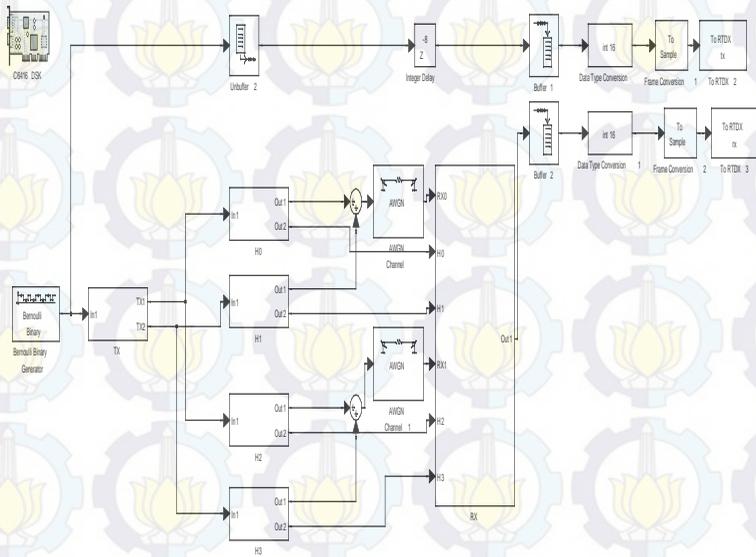
C6416 DSK

**Gambar 3.31** Blok *Target Preferences : C6416DSK*

Untuk implementasi MIMO, MISO dan SISO dengan cara mendownload program dari simulink ke TMS320C6416 dengan bantuan software CCS. Blok simulink pada simulasi menggunakan blok *error rate detection* untuk membandingkan input dan output, sedangkan pada implementasi blok *error rate calculation* digantikan dengan blok RTDX. Blok RTDX pada implementasi ini adalah digunakan untuk mengambil hasil keluaran dari sistem yang telah diimplementasikan kedalam DSK. Terdapat 3 blok yang dibutuhkan dalam blok RTDX ini yaitu blok *Data Type Conversion*, *Frame Conversion*, dan *To RTDX*.

Pada blok To RTDX dapat diberi channel name secara bebas dan unik, contohnya tx. Untuk melihat gambaran blok simulink MIMO yang akan diimplementasi dapat dilihat pada gambar 3.32. Sedangkan parameter yang digunakan pada blok *Data Type Conversion* adalah sebagai berikut.

- *Output data type mode* : int16
- *Input and output to have equal* : Real World Value (RWV)
- *Roud integer calculations toward* : Floor
- *Sample time* : -1



**Gambar 3.32** Blok Simulink MIMO RTDX

Blok RTDX dapat bekerja apabila perangkat RTDX diaktifkan terlebih dahulu dalam 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. Apabila RTDX telah aktif, DSK yang telah di program akan mengirim data yang hasil keluaran sistem sehingga data tersebut nantinya dapat diolah kedalam komputer menggunakan Matlab.

Setelah semua persiapan selesai hubungkan Komputer (PC) dengan DSK TMS320C6416T seperti diatas, maka file simulink sudah siap untuk didownload. File simulink yang telah dibuat dapat diimplementasikan pada DSK adalah dengan cara klik *incremental build* yang terdapat pada simulink. Menu *incremental build* ini berfungsi untuk mengkomunikasikan 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*.

Apabila file project CCS telah terbentuk dan tidak terdapat kesalahan pada file project tersebut, maka Code Composer Studio akan memprogram DSK TMS320C6416 yang terhubung ke PC menggunakan kabel USB.

### 3.5. Metode Pengujian Sistem

Metode pengujian sistem yang dilakukan ada dua cara yaitu dengan simulasi dan implementasi. Pada simulasi pengujian yang dilakukan untuk mengetahui kinerja sistem dengan cara menghitung nilai BER-nya. Sistem yang diujikan dalam simulasi adalah MIMO alamouti 2x2, MISO Alamouti 2x1 dan SISO. Semua sistem yang akan diuji menggunakan laju bit 8 bps. Pengujian yang dilakukan dengan mengubah variansi  $E_b/N_0$  pada kanal AWGN. Untuk SISO dilakukan pengujian nilai  $E_b/N_0$  hingga 20dB dengan kelipatan dua, sedangkan MIMO dan MISO hingga 10dB dengan kelipatan satu. Untuk melihat hasil nilai BER-nya dapat menggunakan blok *Error rate Calculation* dan display.

Untuk metode pengujian secara implementasi hampir sama dengan simulasi. Memiliki laju bit 8 bps dan pengujiannya dengan mengatur variansi nilai  $E_b/N_0$  pada kanal AWGN. Yang membedakan pada implementasi menggunakan blok RTDX yang sebelumnya sudah dibahas. Blok RTDX ini akan dipasang pada inputan dan output sistem yang ada pada blok simulasi. Setelah berhasil di *increment build* dan tidak terdapat kesalahan pada program CCS maka untuk memanggil nilai – nilai bit pada RTDX dan menghitung BER implementasi dibutuhkan program *m-file*. Listing program yang digunakan adalah sebagai berikut.

```
clear all;  
clc;
```

```

cc = ccstdsp;
l=1;
rt dx_ichan = cc.rtdx;
rt dx_ichan.set('timeout', 100);
rt dx_ichan.configure(64000, 2);
rt dx_ichan.open('tx','r');
rt dx_ichan.open('rx','r');
rt dx_ichan.enable;
cc.run;
enable(rtdx_ichan,'tx');
enable(rtdx_ichan,'rx');
jum_data_tx=msgcount(rtdx_ichan,'tx')
jum_data_rx=msgcount(rtdx_ichan,'rx')
ukuran=201;%jumlah bit= ukuran x buffer
a=ones(ukuran,500);b=ones(ukuran,500);
for i=1:1:ukuran
    a(i,:)=readmsg(cc.rtdx,'tx','int16');
    b(i,:)=readmsg(cc.rtdx,'rx','int16');
end
aa=a(:,1:1:ukuran);
bb=b(:,1:1:ukuran);
err=xor(aa,bb);
jum=size(aa);
ber=sum(sum(err))/(jum(1,1)*jum(1,2))

```

### 3.6. Skenario Pengujian

Pada bagian ini akan dijelaskan skenario pengujian sistem MIMO, MISO dan SISO secara simulasi dan implementasi. Dimana pada simulasi dilakukan di *matlab simulink* dengan bantuan *BERTOOLS* dan implementasi dengan menggunakan perangkat TMS dan CCS untuk integrasinya. Dimana skenario pengujian ini digunakan untuk mengukur nilai BER pada variasi  $E_b/N_o$  yang telah ditentukan.

#### 3.6.1. SISO

Pengujian akan dilakukan secara simulasi dan implementasi. Pengujian simulasi dan implementasi hampir sama yang membedakannya hanya pada blok menganalisa BER-nya. Pada simulasi menggunakan blok *Error rate calculation* sedangkan pada implementasi

menggunakan blok RTDX. Parameter yang digunakan untuk pengujian SISO:

- a. Blok *Bernoulli Binary Generator* (sinyal input)
  - *Probability of a zero* : 0.5
  - *Initial seed* : 61-70 (untuk 10x pengulangan)
  - *Sample time* : 1/8
- b. Blok *Sine wave*
  - *Amplitude* :  $\sqrt{2}$
  - *Frequency* : 16 Hz
  - *Sample time* : 1/128
- c. Blok *Gaussian noise Generator* (kanal)
  - *Mean Value* : 0
  - *Variansi* : 1/2
  - *Initial seed* : 45 dan 54 (untuk *Gaussian* ke-1&2)
  - *Sample time* : 1/4
- d. Blok AWGN
  - *Initial seed* : 61
  - $E_b/N_0$  (dB) : 0-20 (kelipatan 2)
  - *Number of bit persymbol* : 1
  - *Simbol periode* : 1/8

### 3.6.2. MISO

Skenario pada MISO dengan SISO. Pengujian akan dilakukan secara simulasi dan implementasi. Pengujian simulasi dan implementasi hampir sama yang membedakannya hanya pada blok menganalisa BER-nya. Pada simulasi menggunakan blok *Error rate calculation* sedangkan pada implementasi menggunakan blok RTDX, yang membedakan SISO dan MISO adalah jumlah kanal yang digunakan pada SISO hanya 1 sedangkan MISO ada 2. Parameter yang digunakan untuk pengujian SISO:

- a. Blok *Bernoulli Binary Generator* (sinyal input)
  - *Probability of a zero* : 0.5
  - *Initial seed* : 61-70 (untuk 10x pengulangan)

- *Sample time* : 1/8
- b. Blok *Sine Wave*
  - *Amplitude* :  $\sqrt{2}$
  - *Frequency* : 16 Hz
  - *Sample time* : 1/128
- c. Blok *Gaussian noise Generator* (kanal)
  - *Mean Value* : 0
  - *Variansi* : 1/2
  - *Initial seed* : 45, 54, 67 dan 76
  - *Sample time* : 1/4
- d. Blok AWGN
  - *Initial seed* : 61
  - $E_b/N_o$ (dB) : 0-20(kelipatan 2)
  - *Number of bit persymbol* : 1
  - *Simbol periode* : 1/8

### 3.6.3. MIMO

Skenario pada MIMO sama dengan pada kedua sistem sebelumnya. Pengujian akan dilakukan secara simulasi dan implementasi. Pengujian simulasi dan implementasi hampir sama yang membedakannya hanya pada blok menganalisa BER-nya. Pada simulasi menggunakan blok Error rate calculation sedangkan pada implementasi menggunakan blok RTDX. yang membedakan MIMO dengan yang lainnya adalah jumlah kanalnya yaitu ada 4. Parameter yang digunakan untuk pengujian SISO:

- a. Blok *Bernoulli Binary Generator* (sinyal input)
  - Probability of a zero : 0.5
  - Initial seed : 61-70(untuk 10x pengulangan)
  - Sample time : 1/8
- b. Blok *Sine Wave*
  - Amplitude :  $\sqrt{2}$
  - Frequency : 16 Hz
  - Sample time : 1/128
- c. Blok *Gaussian Noise Generator* (kanal)

- Mean Value : 0
- Variansi : 1/2
- Initial seed : 45, 54, 67, 76, 89, 98, 78, dan 87
- Sample time : 1/4

d. Blok AWGN

- Intial seed : 61
- $E_b/N_o$ (dB) : 0-20(kelipatan 2)
- Number of bit persymbol : 1
- Simbol periode : 1/8



## BAB IV PENGUJIAN DAN ANALISA SISTEM

Pada bab ini akan dibahas mengenai pengujian dari implementasi MIMO Alamouti 2x2, MISO Alamouti 2x1 dan SISO yang telah dijelaskan pada bab sebelumnya. Bab ini akan menjelaskan pengujian dari sisi simulasi sistem sehingga dari hasil simulasi sistem akan dibandingkan terhadap hasil dari implementasi yang telah dilakukan. Hasil pengujian simulasi dan implementasi sistem ini akan ditampilkan dengan menggunakan grafik BER.

Pengujian yang dilakukan pada sistem MIMO Alamouti 2x2, MISO Alamouti 2x1 dan SISO dengan bervariasi nilai  $E_b/N_0$ . Sehingga mendapatkan grafik kinerja BER pada ketiga sistem tersebut.

### 4.1. Perhitungan Kinerja SISO, MISO dan MIMO secara Teori.

Sebelum melakukan simulasi dan implementasi sistem perlu dilakukan perhitungan secara teoritis agar mempermudah dalam proses pemodelan sistem secara simulasi. Proses perhitungan pada kinerja sistem yang dibuat dengan menggunakan persamaan rumus probabilitas error teknik diversitas pada kanal *flat Rayleigh*. Persamaan rumus untuk menghitung probabilitas error telah dijelaskan pada bab 2. Perhitungan dibantu dengan menggunakan program Excel.

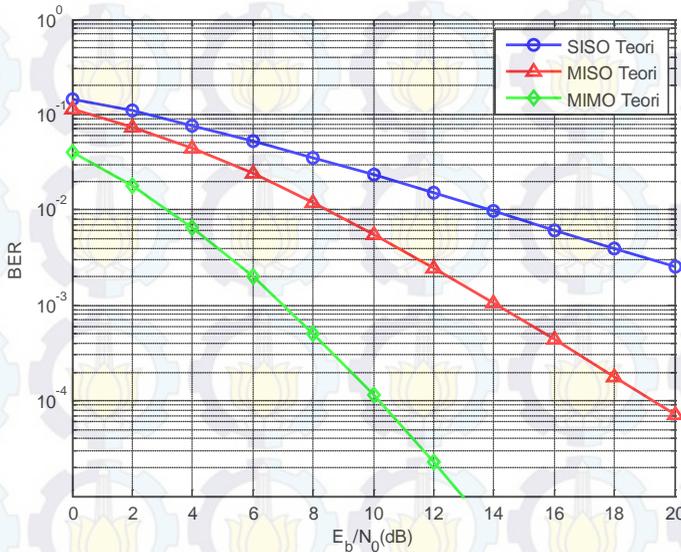
Untuk menghitung kinerja SISO dapat dilihat pada persamaan 2.27. Perhitungan dilakukan dengan menggunakan *formula* pada program *Excel*. Nilai variansi  $E_b/N_0$  dari 0 hingga 20 dB dengan nilai berloncat dua. Sedangkan pada MISO dan MIMO juga menggunakan persamaan 2.31. Dimana yang membedakannya adalah nilai  $L$ . Pada MISO menggunakan  $L = 2$  karena menggunakan dua jalur kanal *Rayleigh*. Sedangkan pada MIMO menggunakan  $L = 4$  karena menggunakan empat jalur kanal *Rayleigh*. Sedangkan untuk nilai *average SNR* ( $\bar{\gamma}$ ) pada MISO dan MIMO memiliki nilai  $\frac{1}{2}$  dari SISO. Karena energi yang digunakan  $\frac{1}{2}$  dari SISO pada tiap antenna pengirimnya. Hasil nilai perhitungan BER SISO, MISO dan MIMO secara teori dapat dilihat pada Tabel 4.1.

**Tabel 4.1** Hasil Perhitungan BER SISO,MISO dan MIMO secara Teori

$E_b/N_o$ (dB)	SISO	MISO	MIMO
0	0,1464	0,1151	0,040258
2	0,1085	0,0748	0,0179
4	0,0771	0,044243	0,006599
6	0,053	0,023872	0,002001
8	0,0355	0,011874	0,000511
10	0,0233	0,005528	0,000113
12	0,0151	0,002448	$2,26 \times 10^{-5}$
14	0,0097	0,001046	$4,2 \times 10^{-6}$
16	0,0062	0,000436	$7,3 \times 10^{-7}$
18	0,0039	0,000179	$1,23 \times 10^{-7}$
20	0,0025	$7,26 \times 10^{-5}$	$2,04 \times 10^{-8}$

Dari Tabel 4.1 dapat dilihat SISO memiliki kinerja BER yang paling buruk. SISO memiliki nilai BER 0,0025 pada 20 dB. Hal tersebut menunjukkan bahwa SISO tidak tahan terhadap *fading*. Sedangkan MISO lebih bagus dari SISO, MISO memiliki nilai BER  $7,26 \times 10^{-5}$  pada 20dB. MIMO memiliki nilai BER  $2,08 \times 10^{-8}$  pada 20dB.

Untuk melihat hasil grafik BER secara teori dapat dilihat pada Gambar 4.1. Dari hasil grafik yang ditampilkan pada BER  $1 \times 10^{-3}$  dapat dilihat MIMO hanya membutuhkan  $E_b/N_o$  sekitar 7 dB sedangkan MISO memiliki  $E_b/N_o$  14 dB dan SISO hanya mampu BER  $3 \times 10^{-3}$  pada  $E_b/N_o$  20 dB. Dari hal tersebut MIMO pada BER yang sama lebih baik sekitar 7 db dibandingkan MISO dan lebih dari 14 dB dari pada SISO.



**Gambar 4.1** Grafik BER SISO,MISO dan MIMO secara teori

## 4.2. Analisa Simulasi pada Sistem SISO, MISO dan MIMO

Tujuan dilakukan pengujian secara simulasi agar hasil dari Implementasi mendekati atau sesuai dengan teori. Karena pemodelan sistem yang dibuat dalam simulasi nantinya akan di implementasikan ke dalam TMS.

Simulasi sistem komunikasi SISO, MISO, dan MIMO yang dilakukan pada Matlab Simulink untuk mendapatkan nilai BER-nya. Dimana nilai tersebut dapat diperoleh dengan menggunakan fungsi dari blok *Error rate calculation*. Blok tersebut dapat membandingkan informasi bit yang akan dikirim dengan yang diterima. Untuk mempermudah proses pengujian secara simulasi menggunakan *tools Bit Error Rate Analysis Tools*. *Tools* tersebut dapat digunakan dengan cara mengetik *Bertool* pada *command window* di *Matlab*.

Pengujian simulasi SISO, MISO dan MIMO menggunakan pengiriman datanya sebesar 1.000.000 bit. Dengan menggunakan input *bernouli generator*. Pengujian ini dilakukan pengulangan pengujian hingga 10 kali dengan pengacakan nilai bit informasi yang berbeda - beda. Pengacakan nilai bit agar berbeda - beda dengan cara mengubah parameter *initial seed* pada *input bernaouli generator*. Dimana nilai

*intial seed*-nya dimulai dari 61 untuk pengujian pertama sampai 70 untuk pengujian yang terakhir. Pengujiannya juga mengubah nilai  $E_b/N_o$ , dimana nilai  $E_b/N_o$  yang diujikan dari 0 hingga 20 dengan nilai genapnya saja. Berikut ini tabel hasil pengujian MIMO secara simulasi.

**Tabel 4.2** Hasil Pengujian BER MIMO secara Simulasi

$E_b/N_o$ (dB)	Pengujian Ke-					
	1	2	3	4	5	6
0	0,0414	0,0415	0,0418	0,0418	0,0419	0,0417
2	0,0192	0,0192	0,0192	0,0193	0,0192	0,0193
4	0,0076	0,0073	0,0074	0,0075	0,0075	0,0074
6	0,0023	0,0023	0,0023	0,0024	0,0023	0,0024
8	0,00063	0,00061	0,00064	0,00061	0,00067	0,00067
10	0,00014	0,00012	0,00014	0,00016	0,00019	0,000156
12	0	0	0	0	0	0
14	0	0	0	0	0	0
16	0	0	0	0	0	0
18	0	0	0	0	0	0
20	0	0	0	0	0	0
$E_b/N_o$ (dB)	Pengujian Ke-					Rata –Rata Simulasi
	7	8	9	10		
0	0,0418	0,0416	0,0417	0,0419	0,0419	
2	0,0194	0,0192	0,0192	0,0194	0,0192	
4	0,0073	0,0073	0,0074	0,0074	0,0075	
6	0,0023	0,0023	0,0024	0,0023	0,0023	
8	0,00066	0,00067	0,00063	0,00066	0,00067	
10	0,00013	0,00015	0,00016	0,00014	0,000195	
12	0	0	0	0	0	
14	0	0	0	0	0	
16	0	0	0	0	0	
18	0	0	0	0	0	
20	0	0	0	0	0	

Dimana dari hasil pengukuran yang dilakukan sepuluh kali pada ketiga sistem akan diambil rata – ratanya. Rata – rata dari ketiga sistem

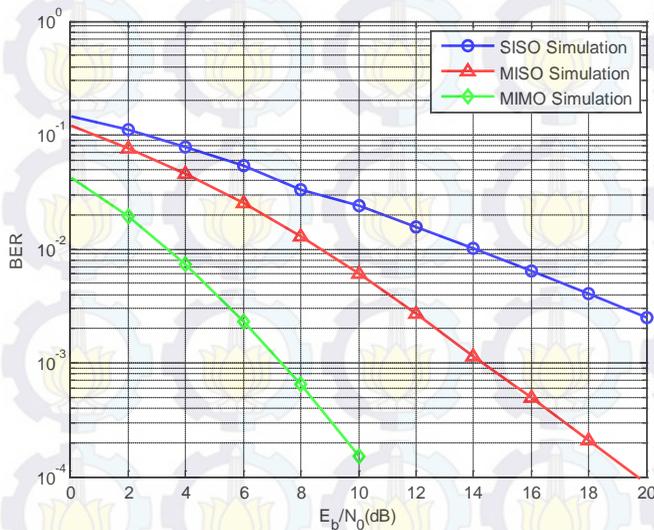
tersebut nantinya akan dibandingkan. Hasil pengujian dari ketiga simulasi tersebut yang telah diambil rata – ratanya dapat dilihat pada Tabel 4.3.

**Tabel 4.3** Hasil pengujian BER SISO, MISO dan MIMO secara Simulasi.

$E_b/N_o$ (dB)	Simulasi SISO	Simulasi MISO	Simulasi MIMO
0	0,14762	0,12019	0,04171
2	0,10995	0,07636	0,01926
4	0,07873	0,04588	0,00741
6	0,05454	0,02524	0,00233
8	0,03345	0,01281	0,0006473
10	0,02421	0,00605	0,0001499
12	0,01572	0,00269	0
14	0,01009	0,00115	0
16	0,01215	0,0005019	0
18	0,00406	0,0002119	0
20	0,00253	$8,798 \times 10^{-5}$	0

Dari Tabel 4.3 dapat dilihat dari rata – rata pengujian SISO mendapatkan nilai BER 0,00253 pada  $E_b/N_o$  20 dB. Untuk MISO mendapatkan nilai BER  $8,798 \times 10^{-5}$  pada  $E_b/N_o$  20 dB. Sedangkan MIMO pada nilai BER  $1,49 \times 10^{-4}$  pada  $E_b/N_o$  10 dB dan setelah  $E_b/N_o$  diatas 10 dB tidak terdapat kesalahan. Dari tabel tersebut dapat dilihat MIMO memiliki kinerja BER yang lebih baik dari SISO dan MISO. MIMO pada  $E_b/N_o$  12 dB sudah tidak terdapat kesalahan. Sedangkan SISO memiliki kinerja yang paling buruk terhadap dalam menghadapi kanal *Rayleigh fading*.

Dari hasil pengukuran pada Tabel 4.3 dibuat bentuk grafik BER. Grafik BER simulasi ketiga sistem tersebut dapat dilihat pada Gambar 4.2.



**Gambar 4.2** Grafik BER SISO, MISO dan MIMO secara simulasi

Dari gambar grafik tersebut dapat dilihat pada kinerja BER sekitar  $3 \times 10^{-3}$  SISO membutuhkan nilai  $E_b/N_0$  sekitar 20dB, untuk MISO membutuhkan  $E_b/N_0$  dengan nilai sekitar 12 dB, dan MIMO hanya membutuhkan  $E_b/N_0$  sekitar 5 dB. Dari gambar grafik tersebut dapat disimpulkan MIMO memiliki kinerja BER paling baik. Pada kondisi nilai BER yang sama MIMO memiliki nilai  $E_b/N_0$  lebih baik sekitar 15 dB dengan SISO dan lebih baik sekitar 7 dB dengan MISO.

#### **4.3. Analisa Kinerja Sistem SISO, MISO dan MIMO Berdasarkan Pada DSK TMS320C6416T .**

Setelah melakukan pengujian secara simulasi dilakukan pengimplementasi. Pada implementasi ini dilakukan pengujian yang sama dengan simulasi yaitu pengujian kinerja BER. Jumlah data yang dikirim hanya 100.000 bit karena keterbatasan perangkat dari perangkat DSK TMS320C6416T. untuk melakukan pengujian secara Implementasi dibutuhkan blok tambahan di simulink matlab yaitu blok RTDX. Blok RTDX dapat ditempatkan disisi pengirim dan penerima.

Dalam pengujian ini dibutuhkan kabel USB yang digunakan untuk menghubungkan DSK dengan komputer dimana kabel USB ini nantinya

akan digunakan untuk mengirimkan hasil dari kinerja sistem yang telah diimplementasikan menuju kedalam komputer sehingga dapat diolah dengan Matlab.

Pengujian ini dilakukan pada sistem SISO, MISO dan MIMO. Dimana pengujian yang dilakukan hampir sama dengan simulasi yaitu dilakukan pengujian sebanyak 10 kali pengulangan untuk semua sistem yang akan diujikan dan mengubah nilai  $E_b/N_o$ . Berikut ini adalah tabel hasil pengujian MIMO secara implementasi.

**Tabel 4.4** Hasil Pengujian BER MIMO Secara Implementasi

$E_b/N_o$ (dB)	Pengujian Ke-					
	1	2	3	4	5	6
0	0,0423	0,0429	0,0436	0,0425	0,0425	0,0424
2	0,0202	0,0201	0,0201	0,0204	0,0203	0,0201
4	0,0079	0,0084	0,0079	0,0083	0,0079	0,0086
6	0,0025	0,0028	0,0027	0,0027	0,0026	0,0028
8	$7,7 \times 10^{-4}$	$6,93 \times 10^{-4}$	$5,97 \times 10^{-4}$	$6,22 \times 10^{-4}$	$7,90 \times 10^{-4}$	$9,16 \times 10^{-4}$
10	$1,73 \times 10^{-4}$	$2,5 \times 10^{-4}$	$2,48 \times 10^{-4}$	$3,21 \times 10^{-4}$	$3,13 \times 10^{-4}$	$2,74 \times 10^{-4}$
12	$9 \times 10^{-5}$	$8 \times 10^{-5}$	$9 \times 10^{-5}$	$9 \times 10^{-5}$	$8 \times 10^{-5}$	$9 \times 10^{-5}$
14	$7 \times 10^{-5}$					
16	0	0	0	0	0	0
18	0	0	0	0	0	0
20	0	0	0	0	0	0
$E_b/N_o$ (dB)	Pengujian Ke-					Rata –Rata Implementasi
	7	8	9	10		
0	0,0428	0,0427	0,0427	0,043	0,04276	
2	0,0203	0,0203	0,0201	0,0198	0,02022	
4	0,0075	0,0082	0,0082	0,0112	0,00808	
6	0,0021	0,0028	0,0028	0,0028	0,00266	
8	$6,83 \times 10^{-4}$	$8,17 \times 10^{-4}$	$7,63 \times 10^{-4}$	$6,44 \times 10^{-4}$	0,00069384	
10	$2,97 \times 10^{-4}$	$3,47 \times 10^{-4}$	$2,27 \times 10^{-4}$	$2,27 \times 10^{-4}$	0,000260644	
12	$8 \times 10^{-5}$	$8 \times 10^{-5}$	$9 \times 10^{-5}$	$9 \times 10^{-5}$	$8,6 \times 10^{-5}$	
14	$7 \times 10^{-5}$					
16	0	0	0	0	0	
18	0	0	0	0	0	
20	0	0	0	0	0	

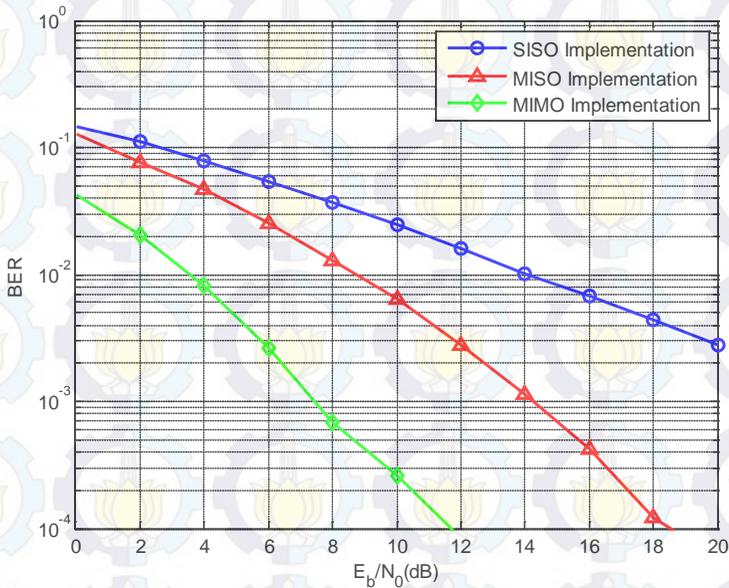
Dari hasil pengujian yang dilakukan sebanyak sepuluh kali diambil rata – ratanya pada ketiga sistem tersebut. Dimana ketiga sistem tersebut nanti hasil rata – ratanya akan dibandingkan. Berikut ini adalah hasil rata – rata dari ketiga sistem yang dilakukan pengujian secara implementasi.

**Tabel 4.5** Hasil Pengujian BER SISO, MISO dan MIMO secara implementasi

$E_b/N_o$ (dB)	Implementasi SISO	Implementasi MISO	Implementasi MIMO
0	0,14699	0,126191	0,04276
2	0,1104	0,076584	0,02022
4	0,07843	0,04676	0,00808
6	0,05451	0,02504	0,00266
8	0,03675	0,01307	0,00069384
10	0,0247	0,00636	0,000260644
12	0,015844444	0,00276	$8,6 \times 10^{-5}$
14	0,010211111	0,001150632	$7 \times 10^{-5}$
16	0,006718	0,000420775	0
18	0,00441	0,000123248	0
20	0,00279	$5,97 \times 10^{-5}$	0

Dari Tabel 4.5 dapat dilihat bahwa SISO pada BER  $2,79 \times 10^{-4}$  membutuhkan  $E_b/N_o$  dengan nilai 20 dB sedangkan, MISO pada  $E_b/N_o$  20 dB mendapatkan BER  $5,97 \times 10^{-5}$ , dan MIMO memiliki BER  $7 \times 10^{-5}$  pada  $E_b/N_o$  14 dB. MIMO pada  $E_b/N_o$  20 dB tidak terjadi kesalahan. Hasil dari implementasi hampir sama dengan simulasi yaitu MIMO memiliki kinerja BER yang paling baik diantara ketiga sistem tersebut pada kondisi kanal *Rayleigh fading*.

Hasil dari Tabel 4.5 dibuat gambar grafik BER. Dari grafik tersebut dapat dilihat lebih jelas mana memiliki kinerja BER yang paling baik dan buruk dengan cara melihat bentuk kurvanya. Gambar tersebut dapat dilihat pada Gambar 4.3.



**Gambar 4.3** Grafik BER SISO, MISO dan MIMO secara implementasi pada DSK TMS320C6416.

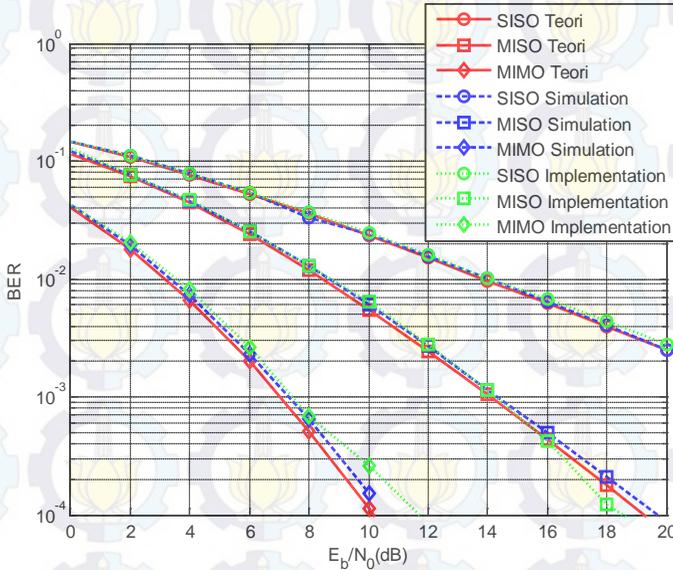
Dari Gambar 4.3 dapat dilihat pada BER  $3 \times 10^{-3}$  SISO mendapatkan nilai  $E_b/N_0$  20 dB, untuk MISO mendapatkan  $E_b/N_0$  sekitar 12 dB dan untuk MIMO mendapatkan  $E_b/N_0$  sekitar 6 dB. Dari grafik diatas pada BER yang sama MIMO memiliki nilai  $E_b/N_0$  lebih baik sekitar 14 dB dibandingkan SISO dan lebih baik 6 dB daripada MISO. Dapat disimpulkan MIMO memiliki kinerja yang lebih baik pada kanal *Rayleigh fading*.

#### 4.4. Analisa Sistem Keseluruhan

Pada pengujian yang telah dilakukan yakni pada simulasi dan implementasi SISO, MISO dan MIMO. Sistem yang telah dibuat dapat dianalisa dengan cara membandingkan grafik BER vs  $E_b/N_0$  untuk setiap sistemnya.

Pengujian yang dilakukan dengan masukan bit informasi berupa sinyal biner yang terdistribusi secara *bernaouli*, dimana dengan laju bit

8bps untuk setiap sistem yang digunakan. Pada simulasi sistem, jumlah bit yang digunakan sebanyak 1.000.000 bit. Sedangkan pada tahap implementasi bit yang digunakan hanya 100.000 bit untuk setiap kali pengukuran. Penggunaan bit yang digunakan pada implementasi hanya 100.000 berbeda jauh dengan simulasi dikarenakan keterbatasan kemampuan dari DSK TMS320C6416.



**Gambar 4.4** Grafik BER SISO, MISO dan MIMO secara teori, simulasi dan implementasi

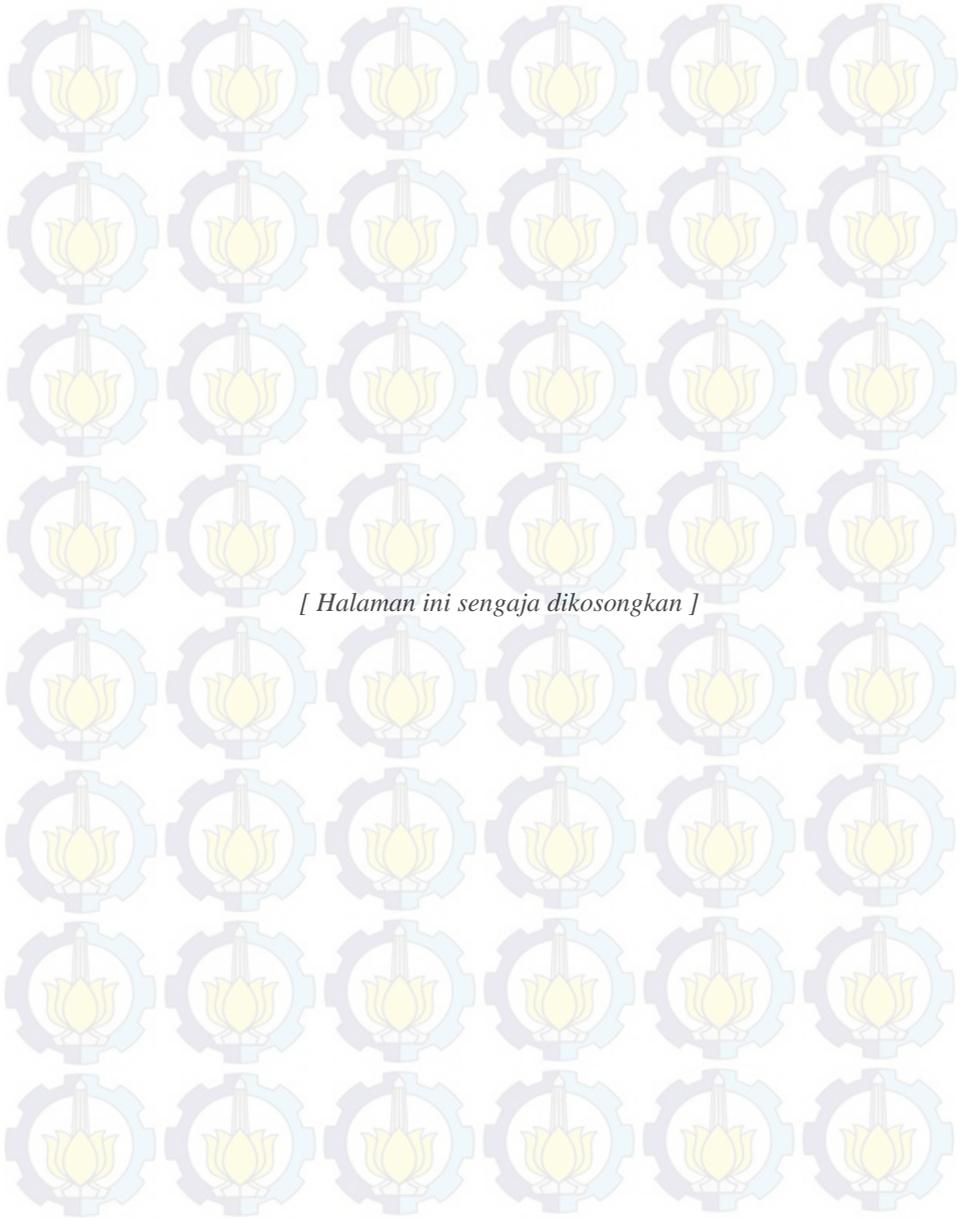
Pada gambar 4.4 dapat dilihat untuk pengujian SISO secara teoritis, simulasi dan implementasi memiliki nilai yang mirip. Nilai BER SISO dengan  $E_b/N_0$  20 dB secara teori mendapatkan nilai 0,0025, untuk simulasi mendapatkan rata – rata nilai 0,00253 dan untuk implementasi mendapatkan nilai BER 0,00279.

Pada MISO secara teori pada  $E_b/N_0$  20dB memiliki nilai BER  $7,26 \times 10^{-5}$ , untuk simulasi mendapatkan nilai BER  $8,798 \times 10^{-5}$  dan implementasi mendapatkan nilai  $5,97 \times 10^{-5}$ . Nilai BER implementasi MISO mendekati dengan nilai secara simulasi dan teori pada BER diatas  $10^{-3}$ , tetapi pada BER dibawah  $10^{-3}$  berbeda karena nilai jumlah bit yang

dikirimkan berbeda antara simulasi dan implementasi. Pada BER dibawah  $10^{-3}$  tidak bisa dibandingkan sedangkan nilai BER diatas  $10^{-3}$  dapat dibandingkan karena untuk BER  $10^{-3}$  membutuhkan nilai bit sekitar 100.000.

Pada MIMO secara teori pada  $E_b/N_o$  10 dB memiliki nilai BER  $1,13 \times 10^{-4}$ , untuk simulasi memiliki nilai BER  $1,49 \times 10^{-4}$  dan pada implementasi memiliki nilai BER  $2,6 \times 10^{-4}$ . Implementasi memiliki nilai BER yang hampir mendekati nilai BER MIMO secara simulasi dan perhitungan teorinya pada BER diatas  $10^{-3}$  tetapi BER dibawah  $10^{-3}$  terdapat perbedaan. Penyebab perbedaan ini hampir sama dengan MISO yaitu karena jumlah bit yang dikirimkannya

Dari grafik BER pada gambar 4.4 dapat dilihat bahwa BER implementasi pada BER  $3 \times 10^{-3}$  SISO didapatkan pada  $E_b/N_o$  19dB, MISO didapatkan pada  $E_b/N_o$  12dB sedangkan MIMO pada  $E_b/N_o$  6dB. Dengan BER yang sama MIMO memiliki  $E_b/N_o$  lebih baik 13db dibandingkan dengan SISO dan 6dB dibandingkan dengan MISO. Dari hal tersebut membuktikan bahwa SISO memiliki kinerja BER yang kurang baik dalam menghadapi masalah fading yang sering terjadi pada sistem komunikasi nirkabel. Sedangkan MISO memiliki nilai BER yang lebih baik dari pada SISO walaupun belum sebaik kinerja MIMO. MIMO Alamouti 2x2 memiliki kinerja yang paling baik diantara keduanya dalam menghadapi masalah fading.



*[ Halaman ini sengaja dikosongkan ]*

## BAB V PENUTUP

### 5.1 KESIMPULAN

Berdasarkan proses implementasi, pengujian, dan analisis dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut :

1. Pada BER  $3 \times 10^{-3}$  simulasi MIMO memiliki nilai  $E_b/N_o$  lebih baik sekitar 15 dB dengan SISO dan lebih baik sekitar 7 dB dengan MISO. Dari hasil simulasi tersebut menunjukkan SISO sangat rentan dalam menghadapi kanal *Rayleigh fading* dan MIMO sangat baik dalam mengatasi kondisi kanal *Rayleigh fading*.
2. Pada BER  $3 \times 10^{-3}$  implementasi MIMO dapat memiliki nilai  $E_b/N_o$  lebih baik 13db dibandingkan dengan SISO dan lebih baik 6dB dibandingkan dengan MISO. Dari hasil implementasi menunjukkan SISO sangat rentan dalam menghadapi kanal *Rayleigh fading* dan MIMO sangat baik dalam mengatasi kondisi kanal *Rayleigh fading*.
3. Pada saat Implementasi MIMO memiliki nilai BER yang mendekati dengan simulasi dan perhitungan secara teoritis pada nilai BER diatas  $10^{-3}$  tetapi pada BER dibawah  $10^{-3}$  terdapat perbedaan dikarenakan jumlah bit yang digunakan berbeda.

### 5.2 SARAN

Saran yang dapat diajukan untuk penelitian lebih lanjut mengenai topik ini adalah :

1. Untuk penelitian berikutnya dapat menggunakan kanal yang sebenarnya
2. Menggunakan dua modul TMS 320C6416T, untuk modul pertama untuk *transmitter* yang satu lagi untuk *reciever*.
3. Menambahkan sistem SIMO sebagai pembanding pada penelitian berikutnya.



## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Siavash M. Alamouti, "A simple transmit diversity technique for wireless communications," IEEE Journal on Select Areas in Communications, vol. 16, no. 8, pp. 1451-1458, October 1998.
- [2] Turpin, michael.J," *An Investigation of a Multiple Input Multiple Output Communication System with Almouti Space Time Code* ". Naval Postgraduate School. California. June 2004.
- [3] Proakis, John. G,"*Digital Communication*". McGraw-Hill. New York. 2008.
- [4] Jankiraman, Mohinder, "*Space-Time Codes and MIMO System*". Artech House.Inc, Norwood.2004
- [5] Rappaport,T.S., "*Wireless Communication Principles and Practice*",Prentice Hall, New Jersey,1996.
- [6] Wirani, Yekti, "*Analisis Kinerja Teknik Space-Time Block Coded pada Sistem komunikasi kooperatif*". Tugas Akhir Jurusan Teknik Elektro ITS. Surabaya.2008.
- [7] Sklar, Bernard. "*Digital Communications Fundamentals and Applications*". Prentice Hall. California. 2001.
- [8] Chassaing, Rulph. "*Digital Signal Processing and Applications with the TMS320C6713 and TMS320C6416 DSK*". JOHN WILEY & SONS, INC. USA. Second Edition, 2008.
- [9] \_\_\_\_\_, "*TMS320C6416T DSK Technical Reference*". SPECTRUM DIGITAL, INC. 2004.
- [10] Mathworks."Documentation".  
<http://www.mathworks.com/help/>



*[Halaman ini sengaja dikosongkan]*

## LAMPIRAN A PROPOSAL TUGAS AKHIR

Jurusan Teknik Elektro – FTI  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

TE 091399 TUGAS AKHIR – 4 SKS

Nama Mahasiswa : Naldo Baskara Armand  
Nomor Pokok : 22 11 106 051  
Bidang Studi : Telekomunikasi Multimedia  
Tugas Diberikan : Semester Gasal Th. 2013/2014  
Dosen Pembimbing : 1. Dr. Ir. Suwadi, MT  
2. Ir. Titiek Suryani, MT

10 SEP 2013

Judul Tugas Akhir : **Implementasi MIMO STBC Alamouti Menggunakan DSK TMS320C6416T**  
(Implementation MIMO STBC Alamouti using DSK TMS320C6416T)

### Uraian Tugas Akhir :

MIMO merupakan teknologi komunikasi nirkabel yang memanfaatkan teknik diversitas. Dimana teknik diversitas dapat mengatasi salah satu masalah pada komunikasi nirkabel yaitu *multipath fading*. Diversitas dapat diterapkan disisi receiver atau transmitter. Penerapan diversitas pada sisi transmitter lebih baik karena dapat meningkatkan kapasitas kanal tanpa peningkatan daya dan kompleksitas. Salah satu penerapan diversitas pada sisi transmitter adalah STBC Alamouti. STBC Alamouti merupakan pengkodean sinyal terhadap antena yang sederhana dibandingkan dengan STTC.

Pada tugas akhir ini akan diimplementasikan MIMO STBC Alamouti ke dalam board DSP yaitu DSK TMS320C6416T secara real. DSK TMS320C6416T merupakan prosesor yang digunakan untuk melakukan pemrosesan sinyal komunikasi yang dapat diprogram menggunakan *software* MATLAB. Dalam tugas akhir ini dilakukan pengujian kinerja BER MIMO STBC Alamouti terhadap perubahan SNR pada kanal Rayleigh.

**Kata kunci : MIMO, STBC Alamouti, DSK TMS320C416T**

Dosen Pembimbing I

Dr. Ir. Suwadi, M.T.  
NIP. 19680818 1993031 002

Dosen Pembimbing II

Ir. Titiek Suryani, M.T.  
NIP. 19641130 1989032 001

Mengetahui,  
Jurusan Teknik Elektro FTI – ITS  
Kepala



Dr. Ir. Arief Sardjono, S.T., M.T.  
NIP. 19700212 1995121 001

Menyetujui,  
Bidang Studi Telekomunikasi Multimedia  
Koordinator,  
05-09-13

Devy Kuswidiastuti, S.T., M.Sc.  
NIP. 19810925 2008122 003

## A. JUDUL TUGAS AKHIR

### IMPLEMENTASI MIMO STBC Alamouti Menggunakan DSK TMS320C6416T

## B. RUANG LINGKUP

1. MIMO 2X2
2. STBC Alamouti.
3. DSP Processor DSK TMS320C6416T
4. Integrasi pemodelan sistem dengan *software Code Composer Studio*
5. Matlab 2007

## C. LATAR BELAKANG

Saat ini dunia komunikasi banyak media komunikasi nirkabel. Media komunikasi ini banyak memiliki gangguan, salah satunya gangguan terbesar dalam kasus area urban atau perkotaan adalah *multipath fading*. Dampak dari *multipath fading* dapat menurunkan kinerja dari sistem komunikasi nirkabel tersebut. Banyak penelitian dilakukan untuk mengurangi dampak dari *multipath fading*, salah satu yaitu dengan menggunakan MIMO. MIMO menggunakan antenna lebih dari satu pada sisi *transmitter* dan *receiver*. MIMO menerapkan teknik diversitas. Teknik diversitas merupakan suatu teknik pengiriman sinyal informasi melalui beberapa lintasan yang berbeda, sehingga saat salah satu lintas yang mendapatkan redaman yang besar sinyal informasi lintasan yang lainnya masih ada. Hal tersebut membuat sinyal informasi masih bisa di rekonstruksi disisi penerimanya. Teknik diversitas dapat diterapkan pada sisi pemancar atau penerima. Penerapan diversitas pada sisi transmitter lebih baik karena dapat meningkatkan *downlink* tanpa peningkatan daya dan kompleksitas yang besar. STBC Alamouti merupakan teknik diversitas disisi pemancar. MIMO dengan STBC Alamouti merupakan pengkodean sinyal terhadap antenna yang sederhana dibandingkan *Space Time Code* lainnya.

Untuk mengimplementasikan MIMO STBC Alamouti dapat dilakukan dengan melakukan pemrograman ke dalam *board* DSP DSK TMS 320C6416T yang merupakan perangkat yang dapat melakukan pemrosesan sinyal digital, *speech*, hingga *image processing*. Perangkat *Board* DSP DSK TMS320C6416T merupakan perangkat DSP memiliki kemampuan terbaik diantara keluarga C6000 DSP Platform, dimana memiliki kapasitas memori yang lebih tinggi dan memiliki beberapa perangkat tambahan yang terdapat didalamnya. Bahasa pemrograman yang digunakan pada pemrogram ke *board* DSP ini adalah bahasa C atau *assembly*. Namun pemrograman dapat dilakukan dengan metode yang lebih mudah yaitu menggunakan DSP simulink yang terdapat pada software matlab. Dalam tugas akhir ini akan mengimplementasikan MIMO STBC Alamouti menggunakan DSK TMS 320C6416T dan software – software bantu lainnya.

## D. RUMUSAN MASALAH

Permasalahan yang dijadikan objek penelitian dalam Tugas Akhir ini adalah bagaimana cara mengimplementasikan MIMO STBC Alamouti ke dalam *board DSP* DSK TMS320C6416T

## E. BATASAN MASALAH

Batasan masalah yang ada dalam Tugas Akhir adalah :

1. Menggunakan *board DSP* DSK TMS320C6416T untuk menganalisa hasil keluaran sistem
2. Pemodelan sistem MIMO STBC 2x2 dengan algoritma Alamouti menggunakan software Simulink yang terdapat pada Matlab

3. *Interface* pemodelan sistem pada DSK TMS320C6416T menggunakan *software Code Composer Studio*.
4. Pemodelan kanal dalam simulink menggunakan AWGN dan Reyleigh *fading*.

## F. TUJUAN

Tujuan dari tugas akhir ini adalah mendisain MIMO 2x2 dengan STBC Alamouti menggunakan simulink dan mengimplementasikannya ke dalam TMS320C6416T dengan bantuan software MATLAB.

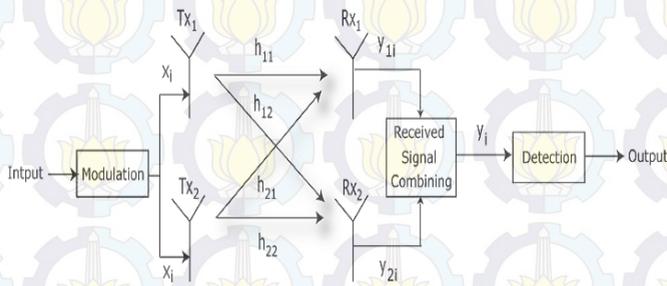
## G. MANFAAT

Dari tugas akhir ini diharapkan dapat diperoleh informasi dan pemahaman tentang MIMO STBC 2x2 dengan algoritma alamouti serta fungsi DSP *board* DSK TMS320C6416T. Serta digunakan sebagai bahan acuan untuk pengembangan lebih lanjut dari MIMO.

## H. TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

### *Multiple Input Multiple Output ( MIMO )*

MIMO sistem komunikasi nirkabel yang menggunakan banyak antena disisi pemancar dan penerima. MIMO menggunakan teknik diversitas untuk mengatasi masalah fading. Teknik diversitas adalah suatu metode pengiriman sinyal informasi melalui beberapa jalur propagasi yang berbeda sehingga saat salah satu jalur pengiriman sinyal mengalami gangguan masih ada jalur lainnya. Di *Reciever* akan dilakukan proses penggabungan semua sinyal informasi yang dikirim, sehingga hal tersebut dapat meminimalisir efek dari multipath fading. Aplikasi MIMO dapat dikategorikan menjadi dua yaitu *Spatial multiplexing* dan *space time coding*. Pada *spatial multiplexing* sinyal – sinyal informasi dipecah-pecah dan diparalel sesuai dengan jumlah antena pemancar. Penerima mengetahui informasi dari kanal, sehingga sinyal – sinyal yang telah dikirim dapat direkonstruksi kembali. Tujuan dari *spatial multiplexing* adalah memperbesar kapasitas kanal. Sedangkan untuk *space time coding* dengan cara melakukan pengkodean ruang dan waktu. sinyal yang akan dikirimkan dikodekan berdasarkan antena yang akan dilewati dan waktu pengirimannya. Space time coding merupakan teknik diversitas disisi pemancar. Atau sering disebut dengan nama transmit diversitas. *Space time coding* paling sederhana adalah ( *Space Time Block Coding* ) STBC Alamouti.



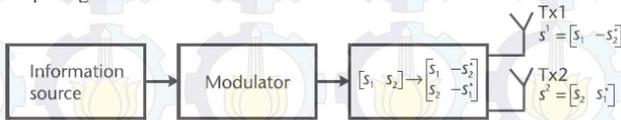
Gambar : Gambaran umum MIMO 2x2

MIMO STBC alamouti menggunakan 2 antena pada pemancar dan penerima. Pertama kali yang dilakukan di STBC Alamouti adalah sinyal – sinyal informasi di modulasikan

terlebih dahulu. Setelah itu encoder akan membuat dua blok dari sinyal – sinyal yang telah temodulasi dan terusun berbentuk matrik sesuai dengan jumlah antenna pemancarnya. Bentuk matriknya sebagai berikut :

$$\underline{S} = \begin{bmatrix} s_1 & -s_2^* \\ s_2 & s_1^* \end{bmatrix}$$

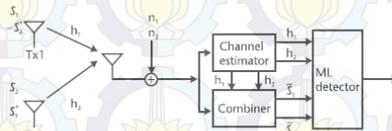
Dari matrik diatas kolom adalah waktu pengiriman sedangkan baris antenna yang memancarkan. Pada colom pertama antenna pertama mengirimkan  $s_1$  sedangkan untuk antenna dua mengirimkan  $s_2$ . Untuk waktu pengiriman berikutnya antenna pertama simbol dari antenna kedua diberi tanda min dan di konjugat ( $-s_2^*$ ) sedangkan antenna kedua adalah simbol dari antenna pertama diberi tanda min saja ( $-s_1$ ). Penjelasan tersebut dapat dilihat pada gambar dibawah ini :



Gambar : blok pemancar dari STBC Alamouti.

Sumber : Jankiraman, Mohinder. “ Space Time Code and MIMO System ”.Artech house universal.2004, hal 76

Gambar pada penerima dapat dilihat dibawah ini.



Gambar : blok penerima dari STBC Alamouti.

Sumber : Jankiraman, Mohinder. “ Space Time Code and MIMO System ”.Artech house universal.2004, hal 77.

Koefisien fading dari antenna 1 dan antenna 2 dapat didefinisikan sebagai  $h_1(t)$  dan  $h_2(t)$ , diasumsikan kedua koefisien tersebut konstan dan dalam periode waktu  $t$ , maka diperoleh :

$$h_1(t) = h_1(t + T) = h_1 = |h_1|e^{j\theta_1}$$

$$h_2(t) = h_2(t + T) = h_2 = |h_2|e^{j\theta_2}$$

Dimana  $h_i$  dan  $\theta_i$ ,  $i = 1, 2$  adalah gain amplitudo dan pergeseran fase dari *path* antenna yang dikirimkan ke penerima.

Pada antenna penerima sinyal melewati kanal dapat dinyatakan sebagai berikut :

$$r_1 = h_1s_1 + h_2s_2 + n_1$$

$$r_2 = -h_1s_2^* + h_2s_1^* + n_2$$

Dimana  $n_1$  dan  $n_2$  adalah variable kompleks independent yang mewakili AWGN pada sampel waktu  $t$  dan  $t + T$ .

Pada receiver sinyal digabungkan dengan *combiner* sinyal yang digabungkan pada kombiner di lanjutkan ke *maximum likelihood decoding*, persamaannya sinyal tersebut dapat dinyatakan sebagai berikut :

$$s_1 = h_1^* r_1 + h_2^* r_2^*$$

$$s_2 = h_2^* r_1^* - h_1^* r_2^*$$

Kemudian persamaan diatas disubstitusikan dengan  $r_1$  dan  $r_2$  hasil persamanannya sebagai berikut :

$$s_1 = h_1^* r_1 + h_2^* r_2^* = (\alpha_1^2 + \alpha_2^2) s_1 + h_1^* n_1 + h_2^* n_2^*$$

$$s_2 = h_2^* r_1^* - h_1^* r_2^* = (\alpha_1^2 + \alpha_2^2) s_2 - h_1 n_2^* + h_2^* n_1$$

DSK TMS320C6416T (*DSP Starter Kit*)

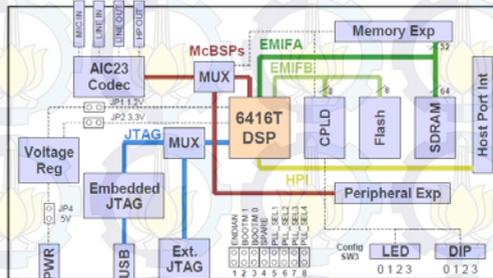
DSK TMS320C6416T merupakan multi-layer board berukuran 8.75 x 4.5 inch (210 x 115 mm) yang disuplai daya eksternal +5 volt. DSK ini terdiri dari sebuah 1 GHz DSK TMS320C6416T fixedpoint digital signal processor dan 16 bit stereo codec TLV 320AIC23 untuk input dan output. Codec AIC23 menyediakan ADC dan DAC dengan clock 12 MHz dan sampling rate 8 – 96 kHz. DSK meliputi 16 MB pada Synchronous Dynamic Random (SDRAM) dan 256 kB pada flash memory.

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.

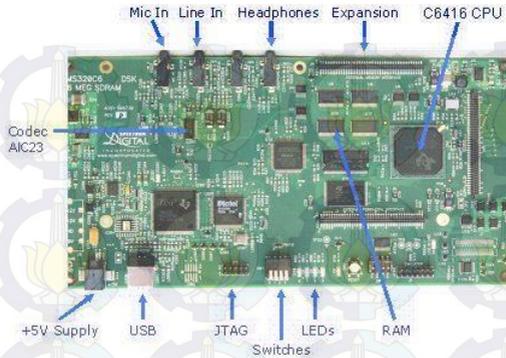
Dip switch dalam DSK dapat difungsikan sesuai program dan menyediakan fungsi kontrol.

Terdapat pengatur tegangan yang menyediakan 1,26 V untuk processor dan 3,3 V untuk sistem memori dan kelengkapan lain.



Gambar: Blok Diagram DSK TMS320C6416T

Sumber : Spectrum Digital, Inc. *TMS320C6416T Technical Reference*, 2004, hlm. 1-1



Gambar: Board DSK TMS320C6416T

Sumber : A John Wiley & Sons Inc., *Digital Signal Processing and applications with the TMS320C6713T and TMS320C6416T DSK*, 2008, hlm.

TMS320C6416 pada DSK adalah floating point processor yang didasari pada arsitektur VLIW (Very-Long-Instruction-Word). Memori internal meliputi 2 level penyimpanan daya, yang terdiri dari 32 KB pada level penyimpanan program (L1P) dan level 1 penyimpanan data (L1D), dan 1024 kB pada level 2 pembagian memori antara program dan data. Selain itu, juga mempunyai sebuah interface untuk memerintah synchronous dan memori (SDRAM dan SBSRAM) dan asynchronous memori (SPRAM dan EPROM). Memiliki 8 fungsi atau execution units dalam 6 ALU dan 2 multiplier units, 32 - bit address bus ke 4 GB (gigabytes) address, dan 2 set 32 - bit general - purpose registers.

## I. METODOLOGI

Metodologi pada Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut :

1. Pengumpulan bahan
2. Studi Literatur  
Mempelajari prinsip kerja dari MIMO 2x2 dengan STBC Alamouti, serta mempelajari program matlab sebagai ujicoba sebelum pengimplementasian pada DSP board TMS320C6416T.
3. Pengujian algoritma dan analisa.
4. Mengintegrasikan sistem antara modul TMS320C6416T dengan permodelan yang digunakan. Kemudian dilakukan pengujian dan analisa terhadap hasil yang telah didapatkan.
5. Kesimpulan.  
Membuat sebuah penjelasan singkat tentang hasil dari analisa yang didapatkan dari bebarapa pengujian dan perhitungan yang telah dilakukan sebelumnya

## J. JADWAL KEGIATAN

Kegiatan	Minggu															
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Studi literatur dan percobaan terhadap TMS320C6416T																
Pembuatan program																
Pengolahan data hasil pengukuran, analisa, dan kesimpulan																
Penyusunan laporan tugas akhir																

## K. DAFTAR PUSTAKA

1. Spectrum Digital, Inc. *TMS320C6416T Technical Reference*.2004
2. A John Wiley & Sons Inc. *Digital Signal Processing and applications with the TMS320C6713T and TMS320C6416T DSP*. 2008
3. Alamouti, Siavash M. "A Simple Transmit Diversity Technique for Wireless Communications". IEEE Journal on select area in communication, vol. 16, no. 8, October 1998
4. Jankiraman, Mohinder. " *Space Time Code and MIMO System* ".Artech house universal.2004
5. Mostafa w.numan, Muhammad Tariqul Islam,Norbahiah Misran."implementation of Alamouti Encoder Using FPGA for MIMO Testbed".ISS, UKM.2008
6. Pena-Cortes, Luis Miguel."MIMO Space -Time Block Coding (STBC): Simulations and Results".IEEE.April 2009

## LAMPIRAN B

### MONITORING KEGIATAN TUGAS AKHIR



**ITS**  
Institut  
Teknologi  
Sepuluh Nopember

FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI  
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO  
Kampus ITS Gedung B & C Sukolilo Surabaya - 60111  
Telp. (031) 594 7302, 5994251 s/d 54 Pas. 1206  
Fax. (031) 5931237  
e-mail : [elits@ee.its.ac.id](mailto:elits@ee.its.ac.id)  
Website: <http://www.ee.its.ac.id>

#### MONITORING KEGIATAN TUGAS AKHIR

Nama Mahasiswa : Naldo Baskara Amand Nrp 2211106051  
Judul Tugas Akhir : Implementasi MIMO STBC Alamouti dengan Menggunakan DSK TMS320C6416T  
Bulan Proposal Disahkan : September 2013  
Dosen Pembimbing 1 : Dr. Ir. Suwadi, MT NIP 196808181993031002  
Dosen Pembimbing 2 : Dr.Ir. Titek Suryani, MT NIP 196411301989032001

No	Tanggal	Uraian Kegiatan	Tanda Tangan		Mahasiswa	Keterangan
			Pembimbing (1)	Pembimbing (2)		
1	19/09/13	Penjelasan konsep dasar MIMO				
2	26/09/13	Konsultasi Alur kerja sistem mimo Alamouti				
3	10/10/13	konsultasi blok mimo				
4	22/10/13	konsultasi tentang pengodean Alamouti dan modem				
5	21/10/13	konsultasi blok pemancar				
6	8/11/13	konsultasi blok kanal Rayleigh fadiga				
7	18/11/13	konsultasi tentang MRC				
8	29/11/13	konsultasi blok penerima				
9	19/12/13	konsultasi hasil simulasi MIMO				
10	7/3/14	konsultasi blok SISO miso				
11	21/3/14	Progress hasil Simulasi SISO, miso, MIMO				
12	28/3/14	Disuksi Implementasi TMS dengan RTDX				
13	21/4/14	Progress hasil dari implementasi				
14	25/4/14	konsultasi laporan				
15	26/5/14	Revisi laporan				
16	4/6/14	Pengolahan hasil/revisi				

## LAMPIRAN C TABEL HASIL PENGUJIAN

Tabel B.1 SISO secara simulasi

E <sub>b</sub> /N <sub>o</sub> (dB)	Pengukuran ke										Rata-rata
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
0	0,1476	0,1475	0,1479	0,1479	0,147	0,1475	0,1473	0,1477	0,148	0,1478	0,14762
2	0,11	0,1097	0,1101	0,11	0,1096	0,1101	0,1098	0,1099	0,1102	0,1101	0,10995
4	0,0786	0,0787	0,0787	0,0789	0,0785	0,079	0,0784	0,0788	0,0788	0,0789	0,07873
6	0,0543	0,0546	0,0546	0,0546	0,0545	0,0545	0,0545	0,0545	0,0547	0,0546	0,05454
8	0,0366	0,0369	0,0367	0,0367	0,0369	0,0367	0,0366	0,0036	0,0369	0,0369	0,03345
10	0,0241	0,0242	0,0242	0,0242	0,0242	0,0242	0,024	0,0243	0,0244	0,0243	0,02421
12	0,0156	0,0158	0,0157	0,0156	0,0157	0,0158	0,0156	0,0157	0,0159	0,0158	0,01572
14	0,01	0,0101	0,0101	0,01	0,0101	0,0102	0,0101	0,0101	0,0101	0,0101	0,01009
16	0,0064	0,0064	0,0064	0,0063	0,0064	0,0065	0,0064	0,0064	0,0064	0,0063	0,00639
18	0,0041	0,004	0,0041	0,004	0,0041	0,0041	0,004	0,0041	0,0041	0,004	0,00406
20	0,0025	0,0025	0,0026	0,0025	0,0026	0,0025	0,0025	0,0025	0,0026	0,0025	0,00253

Tabel B.2 SISO secara Implementasi

$E_b/N_o$ (dB)	Pengukuran ke										Rata-rata
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
0	0,145	0,1496	0,1479	0,1484	0,146	0,1449	0,147	0,1452	0,1471	0,149	0,14699
2	0,1086	0,1122	0,11	0,1114	0,11	0,108	0,117	0,1062	0,1104	0,1105	0,1104
4	0,0769	0,0795	0,0795	0,0777	0,0775	0,0769	0,0783	0,0785	0,0793	0,0802	0,07843
6	0,0533	0,0546	0,0551	0,0565	0,0545	0,0526	0,0544	0,0539	0,0548	0,0554	0,05451
8	0,0362	0,0369	0,0364	0,037	0,0371	0,0359	0,0372	0,0366	0,0372	0,037	0,03675
10	0,0237	0,0245	0,0285	0,0244	0,0245	0,024	0,0248	0,0239	0,0238	0,0249	0,0247
12	0,0156	0,0162	0,016	0,0159	0,0157	0,0154	0,016	0,0184	0,0152	0,0166	0,01584
14	0,0099	0,0105	0,0104	0,0101	0,0105	0,0104	0,0108	0,01	0,009	0,0103	0,01021
16	0,0069	0,0067	0,0069	0,00701	0,00680	0,007	0,0069	0,0065	0,0064	0,00607	0,00671
18	0,0046	0,0044	0,0045	0,0046	0,00440	0,0042	0,0044	0,0044	0,0044	0,0042	0,00441
20	0,0029	0,0029	0,0029	0,0029	0,0029	0,0026	0,0025	0,0027	0,0029	0,0027	0,00279

Tabel B.3 MISO secara Simulasi

$E_b/N_o$ (dB)	Pengukuran ke										Rata-rata
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
0	0,1157	0,116	0,1156	0,1159	0,1157	0,1158	0,1158	0,1157	0,16	0,1157	0,12019
2	0,0762	0,0768	0,0762	0,0765	0,0762	0,0762	0,0762	0,0761	0,0767	0,0765	0,07636
4	0,046	0,046	0,0456	0,0462	0,0458	0,0458	0,0458	0,0457	0,046	0,0459	0,04588
6	0,0253	0,0254	0,025	0,0254	0,0251	0,0253	0,0251	0,0252	0,0254	0,0252	0,02524
8	0,0128	0,0129	0,0127	0,0129	0,0128	0,0129	0,0127	0,0127	0,0129	0,0128	0,01281
10	0,006	0,0061	0,006	0,0061	0,006	0,0061	0,006	0,006	0,0061	0,0061	0,00605
12	0,0026	0,0027	0,0027	0,0028	0,0026	0,0027	0,0027	0,0027	0,0027	0,0027	0,00269
14	0,0011	0,0012	0,0011	0,0012	0,0011	0,0012	0,0011	0,0011	0,0012	0,0012	0,00115
16	0,00047	0,00046	0,0005	0,00053	0,00049	0,00051	0,00050	0,00048	0,00051	0,00052	0,000501
18	0,00020	0,00018	0,0002	0,00022	0,00021	0,00021	0,00021	0,00020	0,00023	0,00023	0,00021
20	$8,3 \times 10^{-5}$	$7,4 \times 10^{-5}$	$8 \times 10^{-5}$	$8,5 \times 10^{-5}$	$9,7 \times 10^{-5}$	$8,6 \times 10^{-5}$	$9 \times 10^{-5}$	$9,5 \times 10^{-5}$	$8,8 \times 10^{-5}$	$9,7 \times 10^{-5}$	$8,8 \times 10^{-5}$

Tabel B.4 MISO secara Implementasi

E <sub>b</sub> /N <sub>o</sub> (dB)	Pengukuran ke										Rata-rata
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
0	0,169	0,1151	0,1162	0,1157	0,1171	0,1154	0,1182	0,16161	0,1178	0,1158	0,12019
2	0,0776	0,07761	0,0765	0,0766	0,0773	0,0769	0,0763	0,07333	0,078	0,0757	0,07636
4	0,0464	0,047	0,046	0,0475	0,0468	0,0466	0,0471	0,0472	0,0467	0,0463	0,04588
6	0,0299	0,0266	0,0255	0,0266	0,0299	0,0255	0,0251	0,0267	0,0261	0,0255	0,02524
8	0,0129	0,0135	0,0128	0,0136	0,0127	0,0132	0,0131	0,0136	0,012	0,0133	0,01281
10	0,0068	0,006	0,006	0,0066	0,006	0,0062	0,0062	0,0069	0,0065	0,0064	0,00605
12	0,0028	0,0026	0,0027	0,0031	0,0025	0,0027	0,0026	0,0032	0,0027	0,0027	0,00269
14	0,0012	0,0012	0,0012	0,0012	0,00087	0,0011	0,0012	0,00134	0,0011	0,0011	0,00115
16	0,0003	0,00052	0,0003	0,0004	0,00049 5	0,00032	0,00045	0,00039 6	0,00037	0,0004	0,0005
18	9X10 <sup>-5</sup>	1,710 <sup>-4</sup>	2X10 <sup>-4</sup>	2X10 <sup>-4</sup>	7 X10 <sup>-5</sup>	1X10 <sup>-4</sup>	1X10 <sup>-4</sup>	1X10 <sup>-4</sup>	1X10 <sup>-4</sup>	9X10 <sup>-5</sup>	0,00021
20	9X10 <sup>-5</sup>	4X10 <sup>-5</sup>	4X10 <sup>-5</sup>	4,9X10 <sup>-5</sup>	7,6X10 <sup>-5</sup>	7,5X10 <sup>-5</sup>	4,9X10 <sup>-5</sup>	2,5X10 <sup>-5</sup>	7,4 X10 <sup>-5</sup>	4,9 X10 <sup>-5</sup>	5,9 X10 <sup>-5</sup>

Tabel B.5 MIMO secara Simulasi

$E_b/N_o$ (dB)	Pengukuran ke										Rata-rata
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
0	0,0414	0,0415	0,0418	0,0418	0,0419	0,0417	0,0418	0,0416	0,0417	0,0419	0,0419
2	0,0192	0,0192	0,0192	0,0193	0,0192	0,0193	0,0194	0,0192	0,0192	0,0194	0,0192
4	0,0076	0,0073	0,0074	0,0075	0,0075	0,0074	0,0073	0,0073	0,0074	0,0074	0,0075
6	0,0023	0,0023	0,0023	0,0024	0,0023	0,0024	0,0023	0,0023	0,0024	0,0023	0,0023
8	0,00063	0,00061	0,0006	0,00061	0,00067	0,00067	0,00066	0,00067	0,00063	0,00066	0,00067
10	0,00014	0,00012	0,0001	0,00016	0,00019	0,00015	0,00013	0,00015	0,00016	0,00014	0,000195
12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Tabel B.4 MIMO secara Implementasi

E <sub>b</sub> /N <sub>o</sub> (dB)	Pengukuran ke										Rata-rata
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
0	0,0423	0,0429	0,0436	0,0425	0,0425	0,0424	0,0428	0,0427	0,0427	0,043	0,04276
2	0,0202	0,0201	0,0201	0,0204	0,0203	0,0201	0,0203	0,0203	0,0201	0,0198	0,02022
4	0,0079	0,0084	0,0079	0,0083	0,0079	0,0086	0,0075	0,0082	0,0082	0,0112	0,00808
6	0,0025	0,0028	0,0027	0,0027	0,0026	0,0028	0,0021	0,0028	0,0028	0,0028	0,00266
8	7,7x10 <sup>-4</sup>	6x10 <sup>-4</sup>	6x10 <sup>-4</sup>	6x10 <sup>-4</sup>	7,9x10 <sup>-4</sup>	9x10 <sup>-4</sup>	6x10 <sup>-4</sup>	8,1x10 <sup>-4</sup>	7,63x10 <sup>-4</sup>	6,4x10 <sup>-4</sup>	0,000694
10	0,00014	0,00012	0,0001	0,00016	0,00019	0,00015	0,00013	0,00015	0,00016	0,00014	0,000195
12	9x10 <sup>-5</sup>	8x10 <sup>-5</sup>	9x10 <sup>-5</sup>	9x10 <sup>-5</sup>	8x10 <sup>-5</sup>	9x10 <sup>-5</sup>	8 x10 <sup>-5</sup>	8 x10 <sup>-5</sup>	9 x10 <sup>-5</sup>	9 x10 <sup>-5</sup>	8,6x10 <sup>-5</sup>
14	7x10 <sup>-5</sup>	7x10 <sup>-5</sup>	7x10 <sup>-5</sup>	7x10 <sup>-5</sup>	7x10 <sup>-5</sup>	7x10 <sup>-5</sup>	7 x10 <sup>-5</sup>	7 x10 <sup>-5</sup>	7 x10 <sup>-5</sup>	7 x10 <sup>-5</sup>	7 x10 <sup>-5</sup>
16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

## LAMPIRAN D

### LISTING PROGRAM MATLAB PADA PENGUJIAN RTDX

```
clear all;
clc;
cc = ccstdsp;
l=1;
rtdx_ichan = cc.rtdx;
rtdx_ichan.set('timeout', 1000);
rtdx_ichan.configure(64000, 2);
rtdx_ichan.open('tx','r');
rtdx_ichan.open('rx','r');
rtdx_ichan.enable;
cc.run;
enable(rtdx_ichan,'tx');
enable(rtdx_ichan,'rx');
jum_data_tx=msgcount(rtdx_ichan,'tx')
jum_data_rx=msgcount(rtdx_ichan,'rx')
ukuran=201;%jumlah bit= ukuran x buffer
a=ones(ukuran,500);b=ones(ukuran,500);
for i=1:l:ukuran
    a(i,:)=readmsg(cc.rtdx,'tx','int16');
    b(i,:)=readmsg(cc.rtdx,'rx','int16');
end
aa=a(:,1:l:ukuran);
bb=b(:,1:l:ukuran);
err=xor(aa,bb);
jum=size(aa);
ber=sum(sum(err))/(jum(1,1)*jum(1,2))
```

# LAMPIRAN E

## DATASHEET DSK TMS320C6416T

### TMS320C6414T, TMS320C6415T, TMS320C6416T FIXED-POINT DIGITAL SIGNAL PROCESSORS

SPRS29D - NOVEMBER 2003 - REVISED OCTOBER 2004

- Highest-Performance Fixed-Point Digital Signal Processors (DSPs)
  - 1.67-1.39-1.17-1.14-ns Instruction Cycle
  - 600-720-850-MHz, 1-GHz Clock Rate
  - Eight 32-Bit Instructions/Cycle
  - Twenty-Eight Operations/Cycle
  - 4800, 5760, 6800, 8000 MIPS
  - Fully Software-Compatible With C62x™
  - C6414/15/16 Devices Pin-Compatible
- VelociTI.2™ Extensions to VelociTI™ Advanced Very-Long-Instruction-Word (VLW) TMS320C64x™ DSP Core
  - Eight Highly Independent Functional Units With VelociTI.2™ Extensions:
    - Six ALUs (32-40-Bit), Each Supports Single 32-Bit, Dual 16-Bit, or Quad 8-Bit Arithmetic per Clock Cycle
    - Two Multipliers Support Four 16 x 16-Bit Multiplies (32-Bit Results) per Clock Cycle or Eight 8 x 8-Bit Multiplies (16-Bit Results) per Clock Cycle
    - Non-Aligned Load-Store Architecture
    - 64 32-Bit General-Purpose Registers
    - Instruction Packing Reduces Code Size
    - All Instructions Conditional
- Instruction Set Features
  - Byte-Addressable (8-/16-/32-/64-Bit Data)
  - 8-Bit Overflow Protection
  - Bit-Field Extract, Set, Clear
  - Normalization, Saturation, Bit-Counting
  - VelociTI.2™ Increased Orthogonality
- VCP [C6416T Only]
  - Supports Over 833 7.95-Kbps AMR
  - Programmable Code Parameters
- TCP [C6416T Only]
  - Supports up to 10 2-Mbps or 60 384-Kbps 3GPP (6 Iterations)
  - Programmable Turbo Code and Decoding Parameters
- L1/L2 Memory Architecture
  - 128K-Bit (16K-Byte) L1P Program Cache (Direct Mapped)
  - 128K-Bit (16K-Byte) L1D Data Cache (2-Way Set-Associative)
  - 8M-Bit (1024K-Byte) L2 Unified Mapped RAM/Cache (Flexible Allocation)
- Two External Memory Interfaces (EMIFs)
  - One 64-Bit (EMIFA), One 16-Bit (EMIFB)
  - Glueless Interface to Asynchronous Memories (SRAM and EPROM) and Synchronous Memories (SDRAM, SBSRAM, ZBT SRAM, and FIFO)
  - 1280M-Byte Total Addressable External Memory Space
- Enhanced Direct-Memory-Access (EDMA) Controller (64 Independent Channels)
- Host-Port Interface (HPI)
  - User-Configurable Bus Width (32-/16-Bit)
- 32-Bit/33-MHz, 3.3-V PCI Master/Slave Interface Conforms to PCI Specification 2.2 [C6415T/C6416T]
  - Three PCI Bus Address Registers:
    - Prefetchable Memory
    - Non-Prefetchable Memory I/O
  - Four-Wire Serial EEPROM Interface
  - PCI Interrupt Request Under DSP Program Control
  - DSP Interrupt Via PCI I/O Cycle
- Three Multichannel Buffered Serial Ports
  - Direct Interface to T1/E1, MVIP, SCSA Framers
  - Up to 256 Channels Each
  - ST-Bus-Switching-, AC97-Compatible
  - Serial Peripheral Interface (SPI) Compatible (Motorola™)
- Three 32-Bit General-Purpose Timers
- UTOPIA [C6415T/C6416T]
  - UTOPIA Level 2 Slave ATM Controller
  - 8-Bit Transmit and Receive Operations up to 50 MHz per Direction
  - User-Defined Cell Format up to 64 Bytes
- Sixteen General-Purpose I/O (GPIO) Pins
- Flexible PLL Clock Generator
- IEEE-1149.1 (JTAG) Boundary-Scan-Compatible
- 532-Pin Ball Grid Array (BGA) Package (GLZ Suffix), 0.8-mm Ball Pitch
- 0.09- $\mu$ m 7-Level Cu Metal Process (CMOS)
- 3.3-V I/Os, 1.1-V Internal (600 MHz)
- 3.3-V I/Os, 1.2-V Internal (720/850 MHz, 1 GHz)



Please be aware that an important notice concerning availability, standard warranty, and use in critical applications of Texas Instruments semiconductor products and disclaimers thereto appears at the end of this data sheet.

C62x, VelociTI.2, VelociTI, and TMS320C64x are trademarks of Texas Instruments.  
Motorola is a trademark of Motorola, Inc.  
T IEEE Standard 1149.1-1990 Standard-Test-Access Port and Boundary Scan Architecture.

PRODUCTION DATA indicates the device is in full production.  
Products conform to specifications published in the data sheet.  
Products conform to specifications published in the data sheet.  
Products conform to specifications published in the data sheet.



POST OFFICE BOX 1443 • HOUSTON, TEXAS 77251-1443

Copyright © 2004, Texas Instruments Incorporated

## RIWAYAT HIDUP



**Naldo Baskara Armand** dilahirkan di Jakarta pada tanggal 28 Juni 1990, merupakan putra terakhir dari pasangan Bapak Beskawarman dan Ibu Syamsuarni. Pada tahun 2002, penulis menamatkan sekolahnya di SD N 03 Pondok Labu Jakarta Selatan dan melanjutkan ke SMPN 85 Jakarta Selatan lalu melanjutkan ke SMAN 66 Jakarta Selatan. Setelah tamat SMA pada tahun 2008, penulis melanjutkan pendidikan di Politeknik Negeri Jakarta jurusan teknik Elektro program studi Teknik Telekomunikasi dan lulus pada tahun 2011, kemudian melanjutkan ke jenjang sarjana di Jurusan Teknik Elektro ITS program studi Telekomunikasi Multimedia. Pada tahun 2013 penulis mengambil tugas akhir di Laboratorium Komunikasi Multimedia B304.