

**DISAIN DAN ANALISIS *DIRECT SEQUENCE*
SPREAD SPECTRUM KOHEREN BPSK
PADA KANAL KOMUNIKASI AWGN**

SKRIPSI

OLEH

**BENNY M.T
04 02 03 018 3**



**PROGRAM STUDI TEKNIK TELEKOMUNIKASI
DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS INDONESIA
GENAP 2007/2008**

**DISAIN DAN ANALISIS *DIRECT SEQUENCE*
SPREAD SPECTRUM KOHEREN BPSK
PADA KANAL KOMUNIKASI AWGN**

SKRIPSI

OLEH

**BENNY M.T
04 02 03 018 3**



**SKRIPSI INI DIAJUKAN UNTUK MELENGKAPI SEBAGIAN
PERSYARATAN MENJADI SARJANA TEKNIK**

**PROGRAM STUDI TEKNIK TELEKOMUNIKASI
DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS INDONESIA
GENAP 2007/2008**

PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

Saya menyatakan dengan sesungguhnya bahwa tugas skripsi dengan judul :

DISAIN DAN ANALISIS *DIRECT SEQUENCE SPREAD SPECTRUM* KOHEREN BPSK PADA KANAL KOMUNIKASI AWGN

yang dibuat untuk melengkapi sebagian persyaratan menjadi Sarjana Teknik pada program studi Telekomunikasi Jurusan Elektro Fakultas Teknik Universitas Indonesia, sejauh yang saya ketahui bukan merupakan tiruan atau publikasi dari tugas skripsi yang sudah dipublikasikan dan/atau pernah dipakai untuk mendapatkan gelar kesarjanaan di lingkungan Universitas Indonesia maupun di perguruan tinggi ataupun instansi apa pun, kecuali bagian yang sumber informasinya dicantumkan sebagaimana mestinya.

Depok, 18 Juni 2008

Penulis

Benny M.T

04 02 03 018 3

PENGESAHAN

Skripsi dengan judul :

**DISAIN DAN ANALISIS *DIRECT SEQUENCE SPREAD SPECTRUM*
KOHEREN BPSK PADA KANAL KOMUNIKASI AWGN**

dibuat untuk melengkapi sebagian persyaratan menjadi Sarjana Teknik pada program studi Teknik Elektro Departemen Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Indonesia dan disetujui untuk diajukan dalam sidang skripsi.

Depok, 18 Juni 2008

Dosen Pembimbing,

Fitri Yuli Zulkifli S.T M.Sc
NIP. 132 206 671

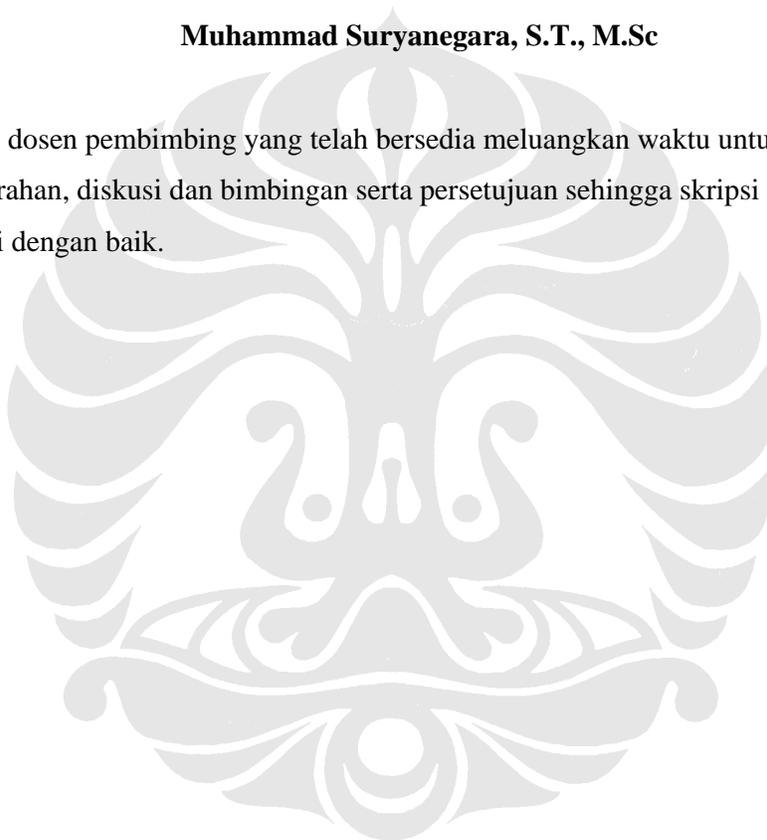
UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada :

Fitri Yuli Zulkifli, S.T M.Sc

Muhammad Suryanegara, S.T., M.Sc

selaku dosen pembimbing yang telah bersedia meluangkan waktu untuk memberi pengarahan, diskusi dan bimbingan serta persetujuan sehingga skripsi ini dapat selesai dengan baik.



Benny M.T
NPM 04 02 03 018 3
Departemen Teknik Elektro

Dosen Pembimbing
I. Fitri Yuli Zulkifli, S.T M.Sc
II. M. Suryanegara, S.T M.Sc

**DISAIN DAN ANALISIS *DIRECT SEQUENCE*
SPREAD SPECTRUM KOHEREN BPSK
PADA KANAL KOMUNIKASI AWGN**

ABSTRAK

Perkembangan teknologi modulasi dan transmisi gelombang merupakan tulang punggung bidang komunikasi modern. Didalam perkembangannya, teknologi komunikasi berevolusi dari teknologi komunikasi generasi awal yang sederhana dan pemanfaatannya dibatasi oleh jarak diantara pemakai jasa komunikasi, menjadi teknologi komunikasi modern yang menuntut pertukaran informasi yang semakin cepat dan tidak terpengaruh oleh adanya jarak yang terbentang diantara pemakai jasa komunikasi. Selain kualitas data yang dikirim, komunikasi modern juga menuntut adanya sistem keamanan pada proses pengiriman data, agar data yang bersifat sangat rahasia tidak boleh diketahui oleh pihak yang tidak berwenang, analoginya adalah jika keamanan data tidak terjamin, maka sistem yang kita buat dapat menjadi sesuatu yang tidak bermanfaat lagi.

Modulasi *Spread Spectrum* adalah salah satu metode keamanan pada proses transmisi data. Keunggulan teknik modulasi *spread spectrum* adalah dapat menolak interferensi pada gelombang transmisi dan dapat mereduksi densitas energi gelombang transmisi dan dapat digunakan pada modulasi digital berbasis FSK, ASK dan PSK.

Tujuan skripsi ini adalah merancang dan menganalisa sistem *Direct Sequence Spread Spectrum* Koheren BPSK dengan menggunakan simulink Matlab 7.6 untuk menghasilkan suatu simulasi sistem komunikasi yang memiliki performa sebaik modulasi Koheren BPSK dengan kualitas dan keamanan data yang terjaga dari manfaat implementasi sistem *spread spectrum*.

Hasil analisis dari simulasi sistem *Direct Sequence Spread Spectrum* Koheren BPSK menunjukkan bahwa dengan semakin memperpanjang rangkaian urutan *shift register* pada *generator polynomial* dari *PN Sequence Generator* yang digunakan pada sistem DSSS Koheren BPSK akan semakin meningkatkan keamanan sistem.

Kata Kunci : Spread Spectrum, BPSK, PN Sequence Generator.

Benny M.T
NPM 04 02 03 018 3
Electrical Department Engineering

Counsellor
I. Fitri Yuli Zulkifli, S.T M.Sc
II. M. Suryanegara, S.T M.Sc

**DESIGN AND ANALYSIS OF *DIRECT SEQUENCE*
SPREAD SPECTRUM COHERENT BPSK
IN AWGN COMMUNICATIONS CHANNEL**

ABSTRACT

The development of modulation and transmission technology are the backbone of modern communication technology. Communication technology evolve from simple and short range user application from early generation of communication technology to modern communication technology that have very high speed and very vast range user application. Furthermore, in modern technology, besides the quality and speed of data transfer process, the security system is also becoming one of the major issues and highly demanded in modern communication technology. Furthermore, if there is no security system which can secure every valuable data from transmitter to receiver, it means the communication system is becoming much less useable.

Spread Spectrum modulation is one of many method that can be used to build a secure transmission data process system. The advantage of spread spectrum is this method prevent the transmission wave from interference, reduce the spectral power density and can be implemented in every digital modulation base on FSK, ASK and PSK.

The purpose of this final assigment is to design and to analyze Direct Sequence Spread Spectrum Koheren BPSK system by using simulink Matlab 7.6 in order to design a simulation of communication system which have BER as good as Koheren BPSK modulation and good security in transmission data process as an advantage of spread spectrum implementation in digital modulation.

The result from Direct Sequence Spread Spectrum Koheren BPSK communication system simulation is a high value of total binary digit from shift register circuit in generator polynomial in PN Sequence Generator used in Direct Sequence Spread Spectrum Koheren BPSK communication system will increase the security of every valuable data from transmitter to receiver in Direct Sequence Spread Spectrum Koheren BPSK communication system.

Keywords : Spread Spectrum, BPSK, PN Sequence Generator.

DAFTAR ISI

	Halaman
PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI	ii
PENGESAHAN	iii
UCAPAN TERIMA KASIH	iv
ABSTRAK	v
ABSTRACT	vi
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR TABEL	xi
DAFTAR LAMPIRAN	xii
DAFTAR SINGKATAN	xii
DAFTAR ISTILAH / SIMBOL	xiv
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 LATAR BELAKANG	1
1.2 TUJUAN PENULISAN	2
1.3 BATASAN MASALAH	2
1.4 SISTEMATIKA PENULISAN	2
BAB II DASAR TEORI INORMASI, DSSS DAN MODULASI BPSK	4
2.1 ENTROPI DAN KECEPATAN INFORMASI	4
2.2 BANDWIDTH DAN FREKUENSI GELOMBANG	5
2.3 FREKUENSI RADIO	5
2.4 KANAL KOMUNIKASI	6
2.4.1 Kanal AWGN	8
2.5 METODE MODULASI	9
2.5.1 Modulasi Koheren PSK Pada Kanal AWGN	9
2.5.2 BER Pada Modulasi BPSK	11

2.6 DEFINISI SISTEM SPREAD SPECTRUM	16
2.6.1 Mekanisme Sistem Spread Spectrum	18
2.6.2 Direct Sequence Spread Spectrum	20
2.6.3 Pseudo Noise Pada DSSS	21
BAB III METODOLOGI PERANCANGAN SISTEM DSSS	28
3.1 FLOWCHART SIMULASI	29
3.2 BLOKSET SIMULASI	30
3.3 PERANCANGAN MODEM KOHEREN BPSK	36
3.4 PERANCANGAN DSSS KOHEREN BPSK	40
BAB IV ANALISIS DATA SIMULASI KOHEREN BPSK	46
4.1 ANALISIS PERFORMA MODEM KOHEREN BPSK	46
4.2 ANALISIS PERFORMA DSSS KOHEREN BPSK	50
4.3 ANALISIS KEAMANAN SISTEM DSSS KOHEREN BPSK	55
BAB V KESIMPULAN	57
DAFTAR ACUAN	58
DAFTAR PUSTAKA	60
LAMPIRAN	61

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1 Karakteristik Kanal Komunikasi Biner	7
Gambar 2.2 Pemodelan Kanal AWGN	8
Gambar 2.3 Skema Dasar Modulasi Digital	9
Gambar 2.4 Konstelasi BPSK	10
Gambar 2.5 Hasil Simulasi Modulasi Digital Pada Kanal AWGN	15
Gambar 2.6 Contoh Spektrum dari Spread Spektrum Pada Transmitter DSSS	17
Gambar 2.7 Model Umum Sistem DSSS	20
Gambar 2.8 Diagram $m(t)$ dan $p(t)$ pada PN generator dari MLS dengan periode $N = 2^m - 1$ untuk $m = 3$	22
Gambar 2.9 Diagram MLS PN Generator	23
Gambar 2.10 Fungsi Autokorelasi dari suatu sinyal PN	24
Gambar 3.1 Model Umum Sistem DSSS	28
Gambar 3.2 Flowchart Simulasi DSSS Koheren BPSK	29
Gambar 3.3 Blokset Bernoulli Binary Generator	30
Gambar 3.4 Blokset Unipolar to Bipolar Converter	31
Gambar 3.5 Blokset Bipolar to Unipolar Converter	31
Gambar 3.6 Rangkaian PN sequence untuk isialisasi Generator Polynomial [1 0 0 0 0 1 1]	32
Gambar 3.7 Blokset PN sequence generator	33
Gambar 3.8 Skema Pembentukan Waveform DSSS	34
Gambar 3.9 Pemodelan kurva E_b / N_0 vs BER pada kanal AWGN	35
Gambar 3.10 Blokset AWGN Channel	35
Gambar 3.11 Skema Dasar Modulasi Digital	37
Gambar 3.12 Rangkaian Modulator Koheren BPSK Simulink Matlab 7.6	38

Gambar 3.13	Sinyal Modulasi Rangkaian Koheren BPSK pada Simulink Matlab 7.6	38
Gambar 3.14	Rangkaian Demodulator Koheren BPSK pada Simulink Matlab 7.6	39
Gambar 3.15	Sinyal AWGN pada Receiver Koheren BPSK pada Simulink Matlab 7.6	39
Gambar 3.16	Rangkaian Transmitter DSSS Koheren BPSK pada Simulink Matlab 7.6	41
Gambar 3.17	Rangkaian Receiver DSSS Koheren BPSK pada Simulink Matlab 7.6	42
Gambar 3.18	Rangkaian DSSS Koheren BPSK pada Simulink Matlab 7.6	43
Gambar 4.1	Kurva E_b / N_0 vs BER Kanal AWGN Untuk Berbagai Jenis Modulasi Digital	47
Gambar 4.2	Kurva E_b / N_0 vs BER Kanal AWGN Hasil Simulasi Modem Koheren BPSK (untuk transmisi 10000 bit)	48
Gambar 4.3	Kurva E_b / N_0 vs BER Kanal AWGN dari rata-rata hasil simulasi DSSS Koheren BPSK pada Tabel 4.2	52
Gambar 4.4	Kurva E_b / N_0 vs BER Kanal AWGN dari rata-rata hasil simulasi DSSS Koheren BPSK pada Tabel 4.3	54

DAFTAR TABEL

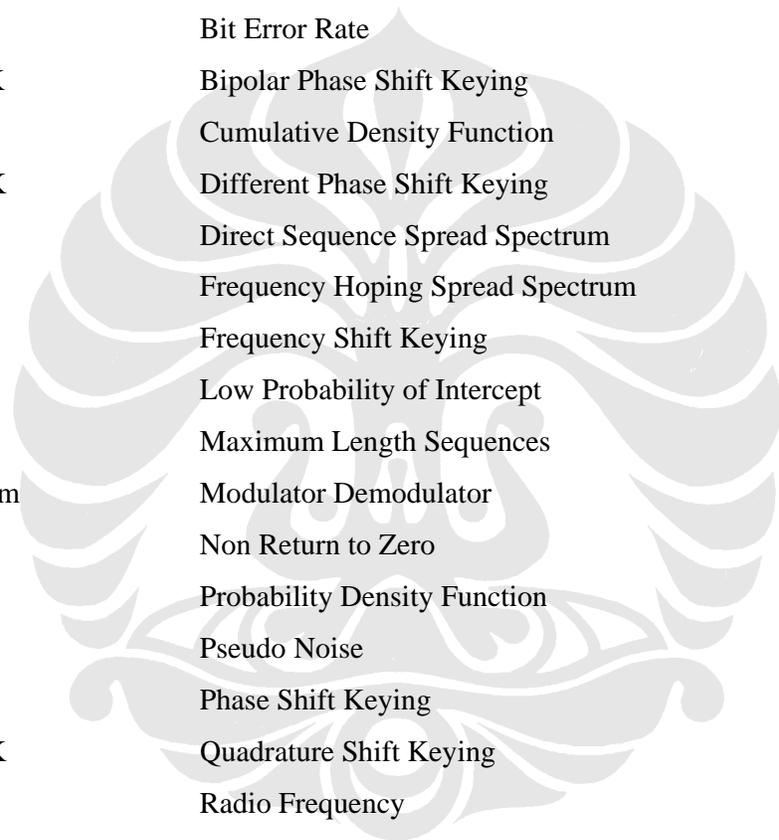
		Halaman
Tabel 2.1	Kondisi Flip-flop dari register 4-bit pada generator PN	25
Tabel 4.1	Perbandingan Performa hasil simulasi Modem Koheren BPSK dengan data referensi (untuk transmisi 10000 bit)	49
Tabel 4.2	Perbandingan data hasil simulasi DSSS Koheren BPSK dengan data referensi (untuk transmisi 10000 bit)	50
Tabel 4.3	Perbandingan data rata-rata hasil simulasi DSSS Koheren BPSK dengan data referensi (untuk transmisi 10000 bit)	51
Tabel 4.4	Data hasil simulasi DSSS Koheren BPSK untuk variasi initial states (untuk transmisi 10000 bit)	53

DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
Lampiran 1 Source code dari Pemodelan kurva E_b / N_0 vs BER pada kanal AWGN	61



DAFTAR SINGKATAN



AC	Alternating Current
ASK	Amplitudo Shift Keying
AWGN	Additive White Gaussian Noise
BER	Bit Error Rate
BPSK	Bipolar Phase Shift Keying
cdf	Cumulative Density Function
DPSK	Different Phase Shift Keying
DSSS	Direct Sequence Spread Spectrum
FHSS	Frequency Hoping Spread Spectrum
FSK	Frequency Shift Keying
LPI	Low Probability of Intercept
MLS	Maximum Length Sequences
modem	Modulator Demodulator
NRZ	Non Return to Zero
pdf	Probability Density Function
PN	Pseudo Noise
PSK	Phase Shift Keying
QPSK	Quadrature Shift Keying
RF	Radio Frequency

DAFTAR SIMBOL

Simbol	Keterangan	Dimensi
A	Amplitudo	Volt
B_{ss}	Lebar pita spektrum spread spectrum	Hz
C	Kapasitas Kanal Transmisi	bps
E_b	Energi per bit	Watt
E_b / I_0	Rasio energi per bit terhadap rapat daya penginterferensi	dB
E_b / N_0	Rasio energy per bit terhadap noise	dB
f	Frekuensi	Hz
m_1	Panjang digit inisialisasi initial states	
$m(t)$	Sekuensi data	s
n	Panjang digit inisialisasi generator polynomial	
N	Daya Noise	Watt
N_0	Rapat daya noise	W/Hz
p	Jumlah chip	s
R	Kecepatan transmisi informasi	bps
S	Daya gelombang	Watt
s_m	Gelombang pembawa	Hz
X	Jumlah kombinasi sistem untuk variasi nilai generator polynomial	
Y	Jumlah kombinasi sistem untuk variasi nilai initial states	
Z	Jumlah kombinasi sistem untuk variasi nilai generator polynomial dan initial states	
ϕ	Fasa	Rad
η	Kerapatan spektral daya <i>noise</i>	W/cm ²

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perkembangan teknologi modulasi dan transmisi gelombang merupakan tulang punggung bidang komunikasi modern. Didunia ini, hampir semua aktifitas yang dilakukan oleh manusia melibatkan pemanfaatan teknologi komunikasi, sebab pemanfaatan teknologi komunikasi dengan baik akan dapat meningkatkan efektifitas kerja dan mengurangi resiko kecelakaan didalam pekerjaan sampai ketitik minimum.

Didalam perkembangannya, teknologi komunikasi berevolusi dari teknologi komunikasi generasi awal yang sederhana dan pemanfaatannya dibatasi oleh jarak diantara pemakai jasa komunikasi, menjadi teknologi komunikasi modern yang menuntut pertukaran informasi yang semakin cepat dan tidak terpengaruh oleh adanya jarak yang terbentang diantara pemakai jasa komunikasi. Salah satu jenis teknologi komunikasi modern yang dapat digunakan untuk komunikasi jarak jauh adalah teknologi komunikasi diluar angkasa.

Selain kualitas data yang dikirim, komunikasi modern juga menuntut adanya sistem keamanan pada proses pengiriman data, agar data yang bersifat sangat rahasia tidak boleh diketahui oleh pihak yang tidak berwenang, analoginya adalah jika keamanan data tidak terjamin, maka sistem yang dibuat menjadi sesuatu yang kurang bermanfaat. Sebagai contoh keamanan proses pengiriman data dari wahana Mars Odyssey memiliki prioritas yang sangat tinggi, sebab data yang dikirim bersifat sangat rahasia dan bernilai sangat mahal. Namun, tidak hanya sistem telekomunikasi luar angkasa yang sangat memperhatikan kualitas dan keamanan data, pada dasarnya setiap sistem telekomunikasi modern harus memperhatikan keaslian dan keamanan data yang diterima pada *receiver*, artinya data yang diterima harus sesuai dengan data yang dikirim dan hanya diterima oleh alamat yang dituju oleh *transmitter*.

Modulasi *Spread Spectrum* adalah salah satu metode keamanan pada proses transmisi data. Keunggulan teknik modulasi *spread spectrum* adalah dapat menolak interferensi pada gelombang transmisi dan dapat mereduksi densitas energi gelombang transmisi. Teknik modulasi ini dapat digunakan pada modulasi digital berbasis FSK, ASK dan PSK[1]. Merancang dan menganalisa sistem modulasi koheren PSK yang didalamnya menggunakan teknik *spread spectrum* merupakan tujuan utama dari keseluruhan skripsi.

1.2 Tujuan penulisan

Tujuan penulisan skripsi ini adalah merancang dan menganalisis pengaruh penambahan *shift register* dan variasi *initial states* PN *Sequence Generator* untuk menjaga keamanan data transmisi terhadap performa dari sistem *Direct Sequence Spread Spectrum* Koheren BPSK.

1.3 Batasan Masalah

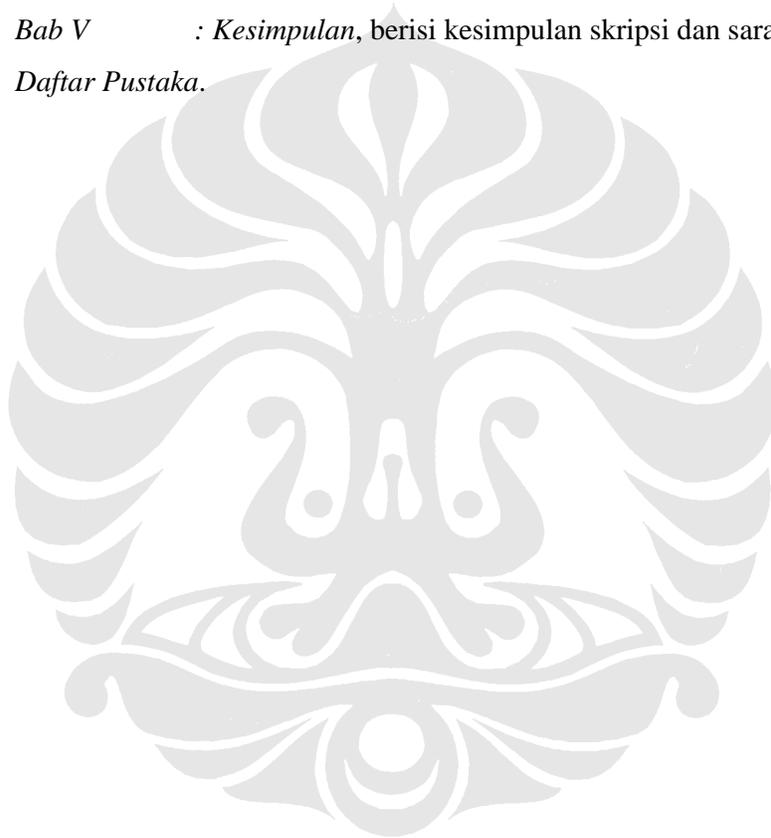
Ruang lingkup masalah dari skripsi ini berupa analisis dan membuat grafik hubungan penambahan *shift register* PN *sequence* dan variasi *initial states* terhadap performa transmisi data dari sistem *Direct Sequence Spread Spectrum* Koheren BPSK.

1.4 Sistematika Penulisan

Seminar ini terdiri atas beberapa bab dengan sistematika penyajian sebagai berikut :

- a. *Bab I* : *Pendahuluan*, merupakan uraian umum yang memuat latar belakang masalah, tujuan penulisan, batasan masalah, sistematika penulisan.
- b. *Bab II* : *Dasar Teori Informasi dan Modulasi Digital*, berisi tentang teori informasi, metode modulasi, kanal komunikasi dan pengertian dari *Direct Sequence Spread Spectrum*.

- c. *Bab III : Metodologi Perancangan Sistem Direct Sequence Spread Spectrum Koheren BPSK*, berisi tentang *flowchart* sistem DSSS Koheren BPSK, dan perancangan sistem DSSS Koheren BPSK dengan simulink Matlab 7.6.
- d. *Bab IV : Analisis Hasil Simulasi Sistem DSSS Koheren BPSK*, berisi data-data hasil percobaan dan membuat grafik hubungan antara penambahan *shift register modulo adder 2* terhadap BER dari sistem DSSS BPSK.
- e. *Bab V : Kesimpulan*, berisi kesimpulan skripsi dan saran.
- f. *Daftar Pustaka*.



BAB II

DASAR TEORI INFORMASI, DIRECT SEQUENCE SPREAD SPECTRUM DAN MODULASI BPSK

Didalam bidang telekomunikasi digital, informasi dapat dikatakan merupakan kumpulan sinyal biner “1” dan “0” yang membentuk data. Informasi memiliki ukuran, dan dapat dipindahkan dari pengirim menuju penerima melewati suatu media melalui suatu proses yang dinamakan transmisi. Sebelum suatu informasi dikirim, pada sistem *transmitter*, suatu informasi terlebih dahulu melewati proses pengkodean yang membentuk informasi menjadi pola-pola bit yang terstruktur, selanjutnya informasi yang telah dikodekan dimodulasikan, tujuan utama dari proses pengkodean dan modulasi suatu informasi adalah agar informasi yang akan dikirim memiliki kemampuan tahan terhadap attenuasi dan interferensi yang akan terjadi pada saat ditransmisikan melalui media transmisi.

2.1 Entropi dan Kecepatan Informasi

Suatu sumber informasi yang mengeluarkan sederetan simbol yang berasal dari M simbol yang berbeda, yang dinyatakan dengan x_1, x_2, \dots, x_M . Masing-masing simbol mempunyai probabilitas P_i dan self information I_i .

Keseluruhan probabilitas simbol harus memenuhi persamaan $\sum_{i=1}^M P_i = 1$.

Asumsi yang dipakai adalah bahwa sumber *stationary* dan simbol-simbol bersifat *statistically independent*. Sumber mengeluarkan simbol dengan kecepatan r simbol/detik. Properti seperti ini didefinisikan sebagai *discrete memoryless source*. Nilai kandungan informasi per simbol diberikan oleh rata-rata statistik :

$$H = \sum_{i=1}^M P_i I_i = \sum_{i=1}^M P_i \log \frac{1}{P_i} \quad (\text{bit/simbol}) \quad (2.1)$$

yang disebut *entropy sumber*. Jadi, untuk suatu deretan simbol yang panjang, rata-rata kandungan informasi tiap simbol adalah H bit, tanpa harus tahu seperti apa deretan simbol tersebut.

Jika sumber mengeluarkan $n \gg 1$ simbol, total informasi yang dikirim adalah nH bits. Karena sumber mengeluarkan sejumlah r simbol perdetik, maka durasi waktu dari deretan simbol ini adalah n/r . Jadi, informasi harus dikirim dengan kecepatan rata-rata :

$$R = \frac{\text{total bit}}{\text{total waktu}} = \frac{n.H}{(n/r)} = r.H \quad (2.2)$$

Dimana R adalah kecepatan transmisi informasi.

Shannon juga menegaskan bahwa informasi dari suatu sumber diskrit tanpa memori bisa dikodekan dalam digit biner dan ditransmisikan melalui suatu kanal bebas *noise* dengan kecepatan $r_b \geq R$ (bit/detik).

2.2 Bandwidth dan Frekuensi Gelombang

Frekuensi pembawa gelombang merupakan dasar pengukuran dari kapasitas. Frekuensi gelombang pembawa membatasi kapasitas pembawaan data karena perubahan amplitudo, frekuensi, atau fasa harus konstan, minimal untuk satu siklus penuh sebuah gelombang. Jika sebuah bit dikodekan dalam tiap siklus gelombang, maka kecepatan transfer data mentah adalah ekuivalen dengan frekuensi gelombang pembawa. Jika banyak bit dikodekan dalam tiap siklus gelombang dengan menggunakan *multilevel coding*, maka kecepatan transfer data mentah merupakan *multiple integer* dari gelombang frekuensi pembawa[2].

Perbedaan antara frekuensi maksimum dengan frekuensi minimum dan maksimum dari sebuah sinyal disebut *bandwidth*. Perbedaan antara frekuensi minimum dan maksimum yang dapat diakomodasi oleh medium transmisi disebut *bandwidth*. Frekuensi maksimum dan *bandwidth* medium transmisi disebut *minimum bandwidth*. Frekuensi maksimum dan *bandwidth* membatasi kapasitas dari sebuah kanal komunikasi.

2.3 Frekuensi Radio

Frekuensi radio dapat merupakan suatu sinyal arus bolak-balik frekuensi tinggi (AC) yang berjalan terus pada suatu konduktor tembaga dan kemudian diradiasikan ke udara melalui sebuah antenna. Ketika sinyal AC frekuensi tinggi diradiasikan ke udara, maka akan membentuk gelombang radio. Gelombang Radio yang ditransmisi melalui suatu medium akan memiliki karakteristik yang sangat dipengaruhi oleh sifat-sifat medium yang dilalui dan jenis modulasi yang digunakan. Parameter-parameter yang dapat diamati diantaranya :

a. Gain

Digunakan untuk menguraikan suatu peningkatan didalam suatu amplitudo sinyal RF. Pada umumnya adalah suatu proses aktif; yang berarti suatu sumber energi eksternal walaupun proses pasif dapat juga menyebabkan gain.

b. Power Loss

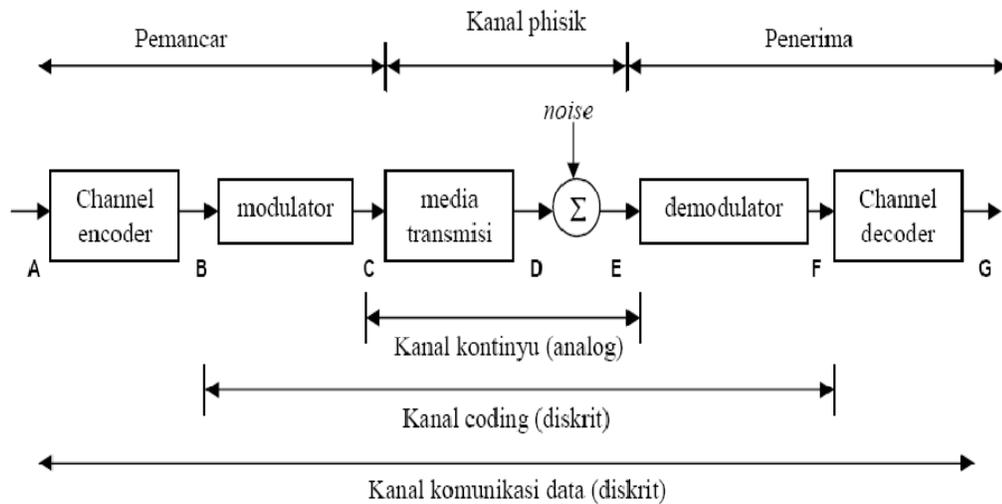
Power Loss menjelaskan adanya suatu penurunan didalam kekuatan sinyal. Power loss terjadi ketika sinyal masih berada di kabel sebagai arus AC frekuensi tinggi sinyal elektrik dan ketika sinyal disebarkan sebagai gelombang radio lewat udara.

e. Penyebaran

Penyebaran terjadi ketika medium gelombang yang berjalan terdiri dari obyek dengan dimensi yang lebih kecil dibandingkan dengan sinyal panjang gelombang.

2.4 Kanal Komunikasi

Elemen sistem komunikasi (digital biner) bisa dibagi dalam tiga bagian utama, yaitu pemancar, penerima, dan kanal fisik. Istilah kanal komunikasi mempunyai pengertian dan karakteristik yang berbeda, tergantung dari terminasi dan fungsinya.



Gambar 2.1 Karakteristik Kanal Komunikasi Biner.

Antara titik B-F pada Gambar 2.1 disebut dengan kanal *coding*, yang merupakan kanal diskrit. Dalam kanal diskrit, sinyal yang ditransmisikan didalamnya adalah sinyal diskrit. Kanal *coding* menerima sederetan simbol pada inputnya dan juga menghasilkan sederetan simbol pada outputnya.

Kanal antara titik C-E menyediakan hubungan elektrik antara pemancar dan penerima, dimana input dan outputnya adalah berupa gelombang listrik analog. Bagian dari kanal ini ydisebut juga kanal modulasi. Contoh dari kanal ini adalah sistem *telephony* (voice band), dan sistem radio frekuensi tinggi. Sinyal yang ditransmisikan melalui kanal ini mendapatkan beberapa gangguan yang disebabkan oleh karakteristik kanal yang tidak linear. Kanal juga memberikan redaman yang melemahkan amplitudo sinyal. Selain itu, adanya *noise* juga menimbulkan kerusakan pada sinyal.

Semua pengaruh tersebut mengakibatkan munculnya perbedaan antara sinyal yang dikirim dan yang diterima, sehingga cenderung menimbulkan kesalahan dalam transmisi data. Transfer informasi dalam kanal kontinyu adalah berbentuk gelombang elektromagnetik. Sumber mengeluarkan sinyal modulasi $x(t)$, yang pada saat ditransmisikan akan terkena *noise*, dan diterima sebagai $r(t)$ pada penerima. Shannon menyatakan bahwa transmisi informasi tanpa *error* pada kanal komunikasi ber-*noise* bisa diperoleh selama kecepatan informasi $R \leq C$; dimana C adalah kapasitas kanal.

2.4.1 Kanal AWGN

Model kanal kontinu yang paling umum dikenal adalah kanal AWGN (additive white gaussian noise), dimana *white noise* adalah *noise* dengan kerapatan spektral daya merata pada semua komponen frekuensi. Kanal AWGN adalah kanal ideal yang hanya memiliki noise AWGN didalamnya. Kanal ideal berarti kanal ini tidak menyebabkan distorsi pada sinyal yang dikirim, artinya kanal ideal memiliki *bandwidth* yang tidak terbatas dan respon frekuensinya tetap untuk segala frekuensi. Kanal AWGN didefinisikan mempunyai sifat sebagai berikut :

1. Kanal menyediakan transmisi bebas *error* dalam *bandwidth* B , dengan memberikan penguat untuk menangani rugi-rugi transmisi.
2. Kanal membatasi input dari sumber sebagai sinyal pita terbatas $x(t)$ dan daya rata-rata S .
3. Sinyal yang diterima pada tujuan terkontaminasi oleh penjumlahan dengan *white gaussian noise* $n(t)$ dengan *bandwidth* B , dan daya noise $N = \eta B$. η adalah kerapatan spektral daya *noise*.
4. Sinyal dan *noise* bersifat independent,

$$r(t) = x(t) + n(t) \text{ dan } r^2(t) = x^2(t) + n^2(t) = S + N$$

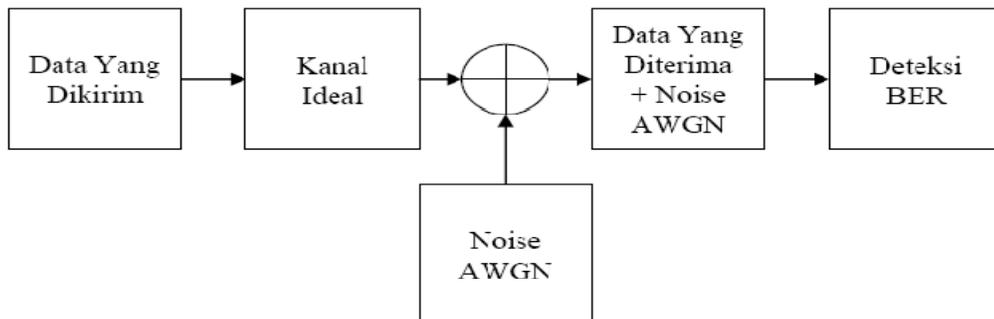
Kapasitas kanal bisa dirumuskan sbb :

$$C = B \log_2 (1 + S/N) \text{ bps} \quad (2.3)$$

Persamaan (2.3) dikenal sebagai Hukum Shannon-Hartley. Persamaan ini memberikan batas atas untuk transmisi informasi dalam kanal AWGN pita terbatas, yaitu sebagai berikut :

$$R \leq B \log_2 (1 + S/N) \text{ bps}$$

Pemodelan kanal AWGN ditunjukkan pada Gambar 2.2 berikut :

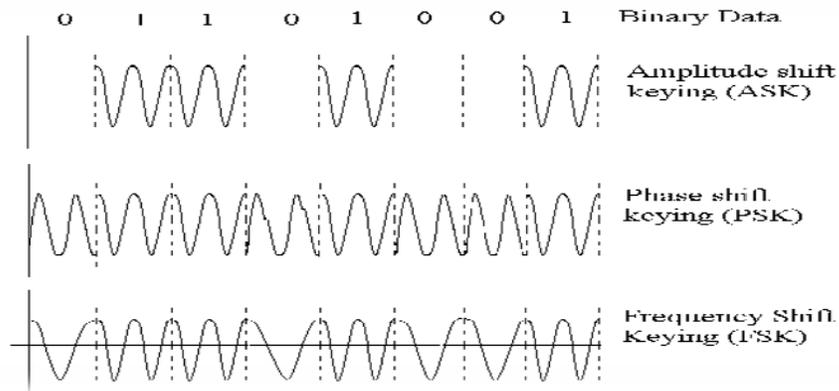


Gambar 2.2 Pemodelan Kanal AWGN.

2.5 Metode Modulasi

Modulasi merupakan proses switching (biasa disebut keying) antara sinyal yang berbeda untuk mentransmisikan informasi yang sudah dikodekan[3]. Secara umum gelombang pembawa proses modulasi dapat dinyatakan oleh persamaan berikut :

$$C(t) = A \sin(2\pi ft + \phi) \quad (2.4)$$



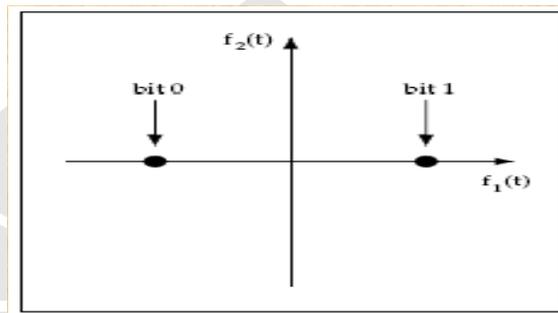
Gambar 2.3 Skema Dasar Modulasi Digital[4].

Dari persamaan (2.4) terdapat tiga variable yang dapat divariasikan untuk mentransmisikan informasi, yaitu : amplitudo A , frekuensi f dan fasa ϕ . Metode modulasi digital yang digunakan dengan mevariasikan kuantitas dari ketiga variable tersebut adalah *Amplitude Shift Keying* (ASK), *Frequency Shift Keying* (FSK) and *Phase Shift Keying* (PSK) yang ditunjukkan oleh Gambar 2.3.

2.5.1 Modulasi Koheren PSK Pada Kanal AWGN

Modulasi *Phase shift keying* (PSK) merupakan skema modulasi digital yang dapat digunakan untuk gelombang dengan frekuensi tinggi. Modulasi PSK banyak dianggap sebagai bentuk efisiensi dari proses modulasi data sebab modulasi PSK memiliki probabilitas error yang kecil pada setiap level sinyal yang diterima. Modulasi PSK sudah lama digunakan sebagai format untuk transmisi gelombang melalui *fading multipath channels*, *terrestrial microwave radio links* dan pada komunikasi satelit.

Modulasi PSK dapat dipresentasikan oleh suatu konstelasi pada sistem koordinat dua dimensi. Terdapat dua jenis pengkodean dan deteksi dari modulasi PSK, yang pertama *demodulation coherent* yang membutuhkan suatu sinyal referensi yang harus diekstrak dari sinyal yang diterima, contohnya *Binary Phase Shift Keying* (BPSK) dan *Quadrature (or quadriphase) Shift Keying* (QPSK). Yang kedua adalah *differential detection* yang tidak membutuhkan suatu sinyal referensi yang harus diekstrak dari sinyal yang diterima, yang disebut *Differential Phase Shift Keying* (DPSK).



Gambar 2.4 Konstelasi BPSK[4].

Pada Koheren PSK, pensinyalan dengan modulasi fasa informasi menumpang fasa dari sinyal pembawa $s_m(t)$, bentuk umum dari suatu set *waveform* sinyal modulasi M fasa pembawa dengan interval waktu $[0, T_s]$ ditunjukkan oleh persamaan :

$$s_m(t) = g(t) \cos(2\pi f_c t + \theta_m) \quad (2.5)$$

Parameter $g(t)$ merupakan bentuk pulsa sinyal, sedangkan persamaan

$\theta_m = \frac{2\pi}{M}(m-1)$, $m = 1, 2, \dots$, memberikan penjelasan terdapat M banyaknya

kemungkinan fasa dari gelombang pembawa yang akan mentransmisikan informasi. Dan oleh karena semua sinyal *bandpass* dapat dituliskan menurut deskripsi *quadrature-carrier*. Persamaan gelombang (2.5) dapat dikembangkan menjadi :

$$s_m(t) = s_I g(t) \cos(2\pi f_c t) - s_Q g(t) \sin(2\pi f_c t) \quad (2.6)$$

dimana :

$$s_I = \cos\left(\frac{2\pi}{M}(m-1)\right) \quad \text{dan} \quad s_Q = \sin\left(\frac{2\pi}{M}(m-1)\right)$$

Bentuk *waveform* sinyal modulasi PSK dapat juga dipresentasikan sebagai sebuah kombinasi linear dari dua *waveform* sinyal f_1 dan f_2 yang saling *orthonormal* yaitu :

$$s_m(t) = s_{m1}f_1(t) + s_{m2}f_2(t) \quad (2.7)$$

persamaan masing-masing sinyal f_1 dan f_2 adalah :

$$f_1 = \sqrt{\frac{2}{\epsilon_g}}g(t)\cos(2\pi f_2 t) \quad \text{dan} \quad f_2 = \sqrt{\frac{2}{\epsilon_g}}g(t)\sin(2\pi f_2 t)$$

Parameter ϵ_g dari persamaan dua *waveform* sinyal yang saling *orthonormal* mewakili pulsa energi masing-masing sinyal, dan vektor dua dimensi dari $s_m = [s_{m1} \ s_{m2}]$ adalah :

$$s_m = \left[\sqrt{\frac{\epsilon_g}{2}} \cos\left(\frac{2\pi}{M}(m-1)\right) \quad \sqrt{\frac{\epsilon_g}{2}} \sin\left(\frac{2\pi}{M}(m-1)\right) \right] \quad (2.8)$$

2.5.2 BER Pada Modulasi BPSK

Proses menentukan probabilitas *error* pada sistem modulasi digital BPSK adalah dengan cara melihat proses yang terjadi pada tiap-tiap bit dari keseluruhan sistem. Pada modulasi digital yang dilakukan oleh sistem *transmitter* BPSK dapat dinyatakan bahwa bit "0" dikirim oleh sinyal modulasi dengan amplitudo V_0 dan bit "1" dengan amplitudo V_1 , pada sistem receiver bit "0" diterima dengan amplitudo s_0 dan bit "1" dengan amplitudo s_1 , hal ini disebabkan karena tiap-tiap bit akan memiliki noise n sesuai dengan persamaan :

Bit "1" yang diterima pada receiver memiliki amplitudo sebesar,

$$s_1(t) = V_1 + n(t) \quad (2.9)$$

formula yang sama berlaku untuk amplitudo bit "0" yang diterima,

$$s_0(t) = V_0 + n(t) \quad (2.10)$$

error terjadi apabila *noise* pada sampling memiliki nilai mutlak melebihi setengah nilai dari rata-rata dua amplitudo bit yang berbeda. Level dari *noise* yang terjadi dapat dinyatakan oleh :

$$|n| \geq \frac{V_1 - V_2}{2} \quad (2.11)$$

dengan demikian jika pada sistem penerima diperoleh amplitudo $V_1 = 1$ dan $V_0 = -1$ maka level *noise* yang akan menyebabkan *error* bernilai lebih dari 1. Dua jenis *error* akan dapat terjadi, yaitu kesalahan menentukan bit "0" sebagai bit "1" dan sebaliknya. Level dari *noise* yang terjadi dapat sangat bervariasi, karena dipengaruhi oleh banyak parameter, diantaranya adalah jenis kanal transmisi yang dilewati oleh sinyal informasi. Untuk distribusi secara *Gaussian*, variasi dari level *noise* dinyatakan oleh *Probability Density Function* (PDF) dengan formula,

$$P(x) = \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-V)^2}{2\sigma^2}} \quad (2.12)$$

dengan V menyatakan nilai rata-rata dan σ^2 menyatakan variansi dari *noise* pada proses transmisi. Sedangkan jika PDF diintegrasikan akan menghasilkan Cumulative Density Function (CDF) yang dapat menunjukkan karakteristik dari BER sinyal yang terjadi, CDF dinyatakan oleh persamaan,

$$F(x) = \frac{1}{2} \left[1 + \operatorname{erf} \left(\frac{x-\mu}{\sqrt{2\sigma}} \right) \right] = \frac{1}{2} \operatorname{erfc} \left(\frac{\mu-x}{\sqrt{2\sigma}} \right) \quad (2.13)$$

Pada sistem BPSK diketahui bahwa amplitudo dari masing-masing bit yang diterima terdistribusi secara acak dengan nilai rata-rata sama dengan nilai amplitudo pada proses transmisi dan nilai variansi sama dengan besar level noise. Dengan menggunakan persamaan PDF untuk rata-rata sama dengan V_0 dan V_1 serta s_0 dan s_1 merupakan variasi acak yang diterima pada sistem receiver untuk bit "1" adalah :

$$P(e|1) = \int_{-\infty}^T \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(s_1 - V_1)^2}{2\sigma^2}} ds_1 \quad (2.14)$$

untuk bit "0" adalah,

$$P(e|0) = \int_{-\infty}^T \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-(s_0-V_0)^2/2\sigma^2} ds_0 \quad (2.15)$$

probabilitas total untuk kedua bit "1" dan "0" adalah,

$$P(e|1) = \frac{1}{2} \int_{-\infty}^T \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-(s_1-V_1)^2/2\sigma^2} ds_1 + P(e|0) = \frac{1}{2} \int_{-\infty}^T \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-(s_0-V_0)^2/2\sigma^2} ds_0 \quad (2.16)$$

nilai maksimum dari fungsi diatas merupakan treshold T dari error yang dapat terjadi pada saat menentukan keluaran akhir sistem[4] yaitu,

$$Treshold = \frac{V_1 + V_2}{2}$$

mensubstitusi nilai treshold pada persamaan (2.16) dengan menggunakan CDF sabagai acuan akan diperoleh hasil[4] yang lebih sederhana,

$$P(e) = \frac{1}{2} erfc\left(\frac{V_1 - V_0}{2\sqrt{2}\sigma}\right) \quad (2.17)$$

atau dengan menggunakan format Q yang dapat berkorelasi dengan fungsi $erfc$ menjadi,

$$erfc(x) = 2Q(\sqrt{2}x)$$

maka nilai BER dalam format Q adalah,

$$P(e) = Q\left(\frac{V_1 - V_0}{2\sigma}\right) \quad (2.18)$$

atau,

$$P(e) = \frac{1}{2} erfc\left(\frac{A}{2\sqrt{2}\sigma}\right) \quad (2.19)$$

dengan $A = V_1 - V_0$,

Menurut Teori Parseval[4] tenaga dari sinyal yang berbeda dapat ditentukan dengan cara mengkuadratkan selisih amplitudo sinyal yang diterima, dengan demikian diperoleh :

$$\begin{aligned}
 A^2 &= \int_{-\infty}^{\infty} (V_1 - V_0)^2 dt \\
 A^2 &= \left[\int_{-\infty}^{\infty} (V_1)^2 dt + \int_{-\infty}^{\infty} (V_0)^2 dt - 2 \int_{-\infty}^{\infty} (V_1 V_0) dt \right] \\
 A^2 &= E_1 + E_0 - 2\sqrt{E_1 E_0} \rho_{10} \tag{2.20}
 \end{aligned}$$

diketahui bahwa energi bit merupakan hasil produk dari kuadrat integrasi dari amplitudonya,

$$E_0 = \int_{-\infty}^{\infty} (V_0)^2 dt$$

faktor korelasi dibutuhkan untuk menyesuaikan dengan persamaan (2.19),

$$\rho_{10} = \frac{1}{\sqrt{E_0 E_1}} \int_{-\infty}^{\infty} V_1 V_0 dt$$

Menulis ulang persamaan (2.19) diperoleh :

$$P(e) = \frac{1}{2} \operatorname{erfc} \left(\sqrt{\frac{E_1 + E_0 - 2\sqrt{E_1 E_0} \rho_{10}}{2N_0}} \right) \tag{2.21}$$

Diketahui bahwa $N_0 = \frac{\sigma^2}{2}$, maka nilai rata-rata energi bit dari suatu sinyal merupakan nilai rata-rata dari setiap nilai energi bit yang diterima, dalam pensinyalan biner rata-rata energi bit adalah $E_{b(avg)} = \frac{E_1 + E_0}{2}$, untuk nilai $\rho_{10} = -1$ maka akan diperoleh nilai BER yang paling kecil yaitu,

$$P(e) = \frac{1}{2} \operatorname{erfc} \left(\sqrt{\frac{E_b(1-R)}{2N_0}} \right) \tag{2.22}$$

Karena $R = \frac{2\sqrt{E_1 E_0}}{E_1 + E_0} \rho_{10}$, maka nilai R akan minimum untuk $E_1 = E_0$ dan

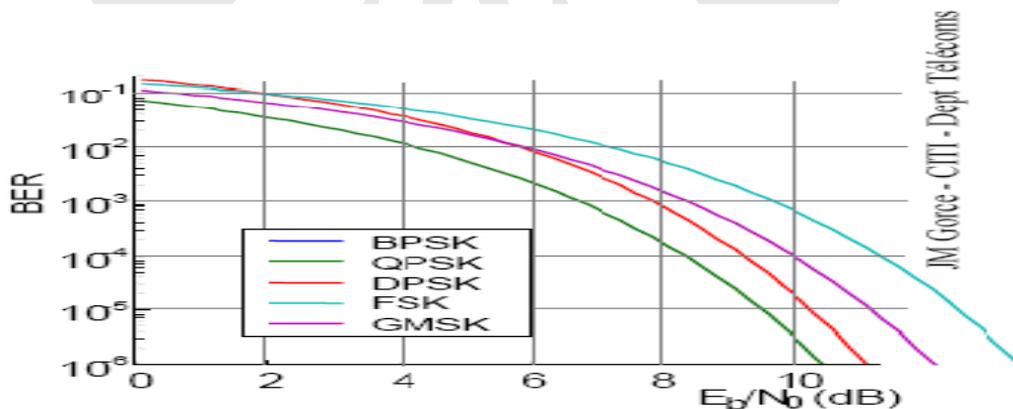
$\rho_{10} = -1$ dan semua kondisi diatas berlaku untuk sistem modulasi BPSK.

Karena sistem modulasi BPSK dapat memenuhi kriteria nilai $\rho = -1$, sebab $\sin(\omega t)$ dan $\cos(\omega t)$ akan menghasilkan pulsa yang bersifat saling bertolak belakang atau *anti podal*, sehingga dapat ditulis persamaan akhir BER pada sistem modulasi BPSK adalah,

$$P(e) = \frac{1}{2} \operatorname{erfc} \left(\sqrt{\frac{E_b}{N_0}} \right) \quad (2.23)$$

karena *erfc* adalah fungsi yang monoton turun, dapat disimpulkan bahwa :

1. BER berbanding lurus dengan perbedaan amplitudo bit "1" dan bit "0"
2. BER berbanding lurus dengan *noise*.
3. Setiap modulasi yang memiliki nilai ρ lebih besar dari -1 akan memiliki nilai BER yang lebih besar dari modulasi BPSK.
4. Sinyal modulasi yang paling *dissimilar* adalah BPSK, sebab menggunakan sinus dan cosinus untuk mewakili simbol yang dikirim.



Gambar 2.5 Hasil Simulasi Modulasi Digital Pada Kanal AWGN[5].

Gambar 2.5 menunjukkan beberapa hasil simulasi dari modulasi digital pada kanal AWGN, tampak bahwa semua modulasi digital pada kanal AWGN memiliki fungsi yang hampir menyerupai linear monoton menurun disepanjang sumbu x.

2.6 Definisi Sistem Spread Spectrum

Sistem komunikasi *Spread Spectrum* merupakan suatu teknik komunikasi dimana pengirim sinyal menduduki lebar pita frekuensi yang jauh lebih besar dari pada spektrum minimal yang dibutuhkan untuk menyalurkan suatu informasi. Konsep ini didasarkan pada teori C.E Shannon untuk kapasitas saluran, yaitu :

$$C = W \log_2 (1 + S/N) \quad (2.24)$$

Dimana :

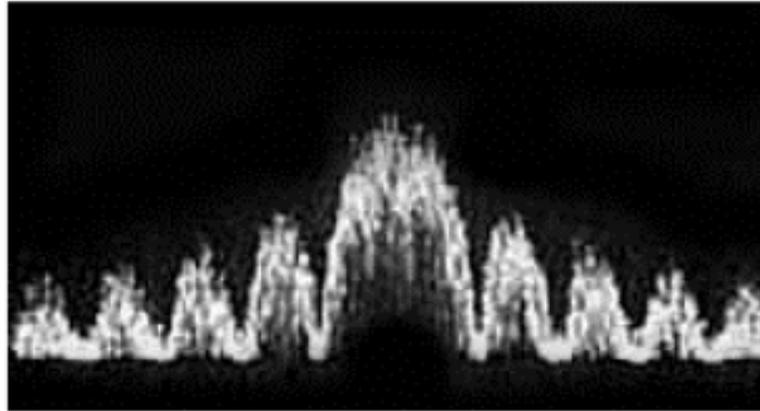
C	=	kapasitas kanal transmisi (bps)
W	=	lebar pita frekuensi transmisi (Hz)
N	=	daya noise (Watt)
S	=	daya sinyal (Watt)

Dari teori diatas terlihat bahwa untuk menyalurkan informasi yang lebih besar pada saluran ber-*noise* dapat ditempuh dengan dua cara yaitu :

1. Dengan cara konvensional, dimana memperkecil lebar pita frekuensi W dan memperbesar S/N .
2. Cara penyebaran spektrum, dimana memperbesar lebar pita frekuensi W dan memperkecil S/N .

Pada sistem *Spread Spectrum*, informasi yang akan dikirim disebar pada pita frekuensi yang jauh lebih lebar dari pada lebar pita informasinya. Penyebaran ini dilakukan oleh suatu fungsi penyebar yang bebas terhadap sinyal informasinya yang berupa sinyal acak semu (*pseudorandom*) yang memiliki karakteristik spektral mirip derau (*noise*), disebut *pseudorandom noise* (*PN code*). Secara umum sistem komunikasi *spread spectrum* dibedakan oleh tiga elemen (Garg, 1999) :

1. *Bandwidth* sinyal yang lebih lebar dari yang dibutuhkan untuk mengirimkan informasi. Keuntungannya adalah kekebalan interferensi dan jamming dan kemampuan akses multi-user.
2. *Bandwidth* disebar dengan bantuan kode yang *independent* terhadap datanya.
3. *Receiver* mensinkronisasikan kode untuk *recovery* datanya. Penggunaan kode yang *independent* dan penerimaan yang sinkron dapat digunakan untuk teknologi CDMA.



Gambar 2.6 Contoh Spektrum dari Spread Spektrum
Pada Transmitter DSSS[6].

Ada beberapa teknik modulasi yang dapat digunakan untuk menghasilkan spektrum sinyal tersebar antara lain *Direct Sequence Spread Spectrum* (DSSS) yaitu dengan cara mengalikan secara langsung sinyal pembawa informasi dengan sinyal penyebar yang berkecepatan tinggi, metode yang berikutnya adalah *Frequency Hopping Spread Spectrum* (FHSS), pada metode modulasi ini frekuensi pembawa sinyal informasi berubah-ubah sesuai dengan deretan kode yang diberikan dan akan konstan selama periode tertentu yang disebut T (periode chip). *Time Hopping Spread Spectrum* (THSS), pada metode ini sinyal pembawa informasi tidak dikirimkan secara kontinu tetapi dikirimkan dalam bentuk *short burst* dan lamanya *burst* tergantung dari sinyal pengkodeannya, dan *hybrid modulation* yang merupakan gabungan dari dua atau lebih teknik modulasi di atas yang bertujuan untuk menggabungkan keunggulan masing-masing teknik.

Keunggulan dari metode *spread spectrum* biasanya digunakan berdasarkan karakteristiknya, yaitu :

1. Menghilangkan atau menekan efek interferensi *detrimental* pada *jamming*, interferensi dari user lain pada kanal dan interferensi karena *multipath propagation*. Interferensi dari user lain terjadi karena user berbagi kanal *bandwidth* yang sama untuk mengirimkan berbagai informasi ke berbagai tujuan pada saat yang bersamaan.

2. Menyembunyikan sinyal dengan melakukan proses transmisi pada daya rendah yang tertutup oleh *noise*. Penyembunyian pesan dibalik *noise* dilakukan dengan menyebarkan bandwidth dari pesan dengan coding dan transmitting sinyal resultan pada daya rendah atau dikenal dengan *Low Probability of Intercept* (LPI).
3. Memberi pesan pribadi tanpa didengar user lain. Hal ini dilakukan dengan *superimposing* pola *pseudo-random* dalam proses transmisi pesan. Pesan dapat didemodulasi oleh receiver yang dimaksud, yang mengetahui pola *pseudo-random* atau kode yang digunakan *transmitter*, sedangkan *receiver* lain yang tidak mengetahui kode ini tidak dapat menerima pesan tersebut.

2.6.1 Mekanisme Sistem Spread Spectrum

Parameter-parameter yang menjadi ukuran kinerja sistem komunikasi *wireless* berdasarkan sistem *spread spectrum* antara lain adalah :

a. Processing Gain

Ketahanan *spread spectrum* terhadap interferensi ditentukan oleh perbandingan antara lebar frekuensi penebar terhadap lebar frekuensi pita dasarnya dalam suatu parameter yang disebut *processing gain*. Semakin besar *processing gain*-nya, maka semakin tahan sistem *spread spectrum* tersebut terhadap interferensi. Processing gain pada sistem *spread spectrum* dinyatakan oleh persamaan :

$$G_p = \frac{BW_t}{BW_i}$$

b. Bit Error Rate

Probabilitas error untuk modulasi BPSK dapat dinyatakan dengan

persamaan : $P_B = Q \left(\sqrt{\frac{2E_b}{N_0}} \right)$

Dimana :

E_b = Energi per bit (dBW atau Watt)

N_0 = Rapat daya *noise* (dB/Hz atau Watt/Hz)

c. Kapasitas Sistem

Dengan asumsi kontrol daya bekerja sempurna, maka sinyal terima untuk semua kanal adalah sama, yaitu sebesar S . Sehingga persamaan *energy* per bit (E_b) dan rapat spektrum daya penginterferensi (I_o) dapat dinyatakan sebagai berikut :

$$E_b = \frac{S}{R} \quad \text{dan} \quad I_o = \frac{S(N-1)}{W}$$

Dan persamaan *energy bit to interference* (E_b/I_o) adalah :

$$\frac{E_b}{I_o} = \frac{S/R}{S(N-1)/W} = \frac{W/R}{N-1} \quad (2.25)$$

Dari persamaan (2.25) diperoleh bahwa kapasitas sel atau jmlah kanal yang dapat diakomodasi oleh satu frekuensi pembawa dengan *bandwidth* (W) adalah :

$$N = 1 + \frac{W/R}{E_b/I_o} \quad (2.26)$$

Jika N diasumsikan sangat besar maka persamaan di atas dapat disederhanakan menjadi :

$$N \approx \frac{W/R}{E_b/I_o} \quad (2.27)$$

Jika interferensi dari sel lain, gain aktifitas suara, dan gain sektorisasi antenna juga diperhitungkan, maka persamaannya menjadi :

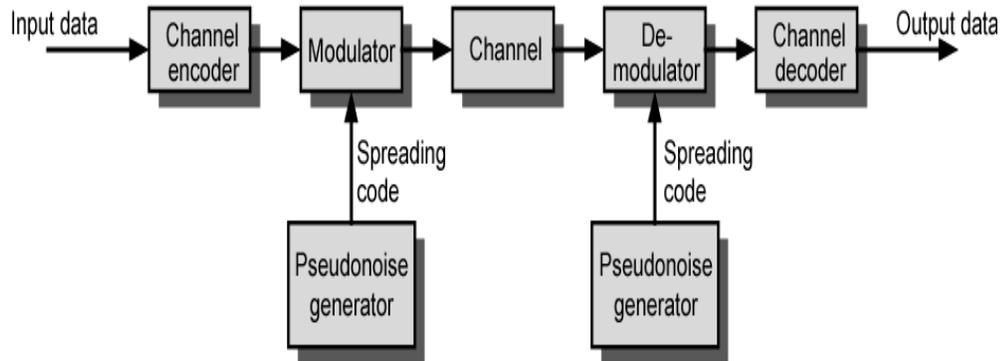
$$N \approx \frac{W/R}{E_b/I_o} \frac{\beta}{(1+f)\alpha} \quad (2.28)$$

Dimana :

- W = lebar pita frekuensi Spread Spectrum (Hz)
- R = *data rate* sinyal informasi (kbps)
- E_b/I_o = rasio energi per bit terhadap rapat daya penginterferensi (dB)
- α = gain aktifitas suara ($\approx 2,67$ untuk suara dan ≈ 1 untuk data)
- β = gain sektorisasi antenna ($\approx 2,4$ untuk antenna trisektoral)
- f = faktor interferensi dari sel lain ($\approx 0,6$)

2.6.2 Direct Sequence Spread Spectrum

Direct Sequence Spread Spectrum (DSSS) merupakan salah satu metode *Spread Spectrum* yang banyak digunakan karena sifatnya yang tahan interferensi dan *low power spectral density*[7]. DSSS menggunakan kode unik untuk menyebar sinyal *Base-band* yang akan dimodulasi secara digital bersama pesan informasi.



Gambar 2.7 Model Umum Sistem DSSS[8].

Gambar 2.7 menunjukkan sistem umum dari DSSS terbagi pada empat bagian utama, yaitu : 1. *Pseudo Noise generator*, 2. *Spreading dan Modulation*, 3. *Demodulation dan Despreading*, 4. *PN Synchronization*. Pada DSSS, sinyal *Base-band* di *multiplied* oleh suatu kode *Pseudo Random* atau sinyal *Pseudo Noise*, yang memiliki bit rate lebih tinggi daripada sinyal asli, yang akan menyebabkan terjadinya penyebaran dari spektrum sinyal *Base-band*.

Setelah proses *spreading* pada sinyal selesai, sinyal data yang dimodulasi akan diterima pada port demodulator, sinyal didemodulasi menggunakan modulator yang memiliki sinkronisasi frekuensi pembawa dengan sistem pemancar. Pada sisi penerima, DSSS terdiri dari tiga bagian utama yaitu demodulator, *despreader* dan blok sinkronisasi deret kode. Ketika sinkronisasi dari deret kode antara pengirim dan penerima telah tercapai (akuisisi dan *code tracking loop* yang dibangun telah berjalan sempurna), maka dilakukan proses *despreading* sinyal DSSS. Dengan asumsi bahwa beda fasa pada frekuensi gelombang pembawa antara pengirim dan penerima dapat dihilangkan dengan *carrier recovery* maka sinyal informasi yang sebenarnya akan dapat diperoleh kembali.

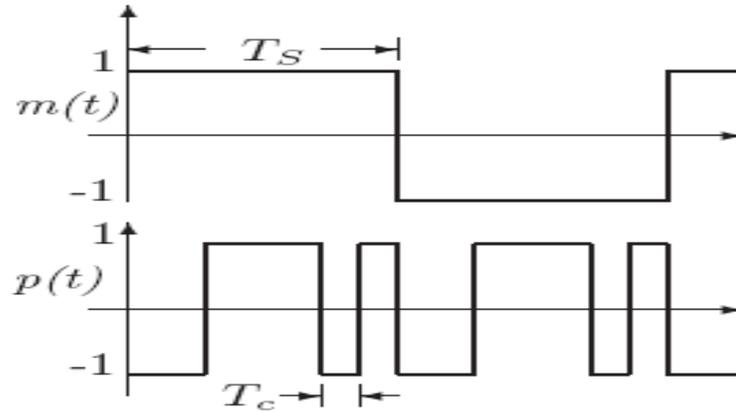
2.6.3 Pseudo Noise pada DSSS

Pseudo noise (PN) atau *pseudorandom sequence* adalah biner sequens dengan autokorelasi yang mirip dalam 1 periode, pada sistem DSSS pseudo noise sangat berperan dalam proses spreading dan despreading dari sinyal Base band. *Pseudorandom noise* mempunyai satuan *chips*, merupakan sinyal pelebar informasi dan digunakan untuk membedakan antara kanal / pengguna satu dengan yang lainnya. Pemilihan PN-Code harus dilakukan dengan hati-hati dengan memperhatikan beberapa kriteria berikut (Garg, 1999. Theodore, 1996) :

1. Mudah diterapkan.
2. Mempunyai 2 (dua) level (-1&1) atau (0&1).
3. Mempunyai *autocorrelation* yang tajam untuk sinkronisasi kode.
4. Mempunyai beda jumlah '0' dan '1' hanya satu (*one zero balance*).
5. Harga *cross correlation* yang rendah.

Pseudonoise sequence memiliki banyak karakteristik yang hampir sama dengan sekuensi biner yang memiliki nilai mendekati 1 dan 0, yaitu korelasi yang sangat rendah, pergeseran sekuensi dan korelasi silang antara 2 sekuensi. *Pseudo Noise sequence* tidak benar-benar bersifat acak, tetapi merupakan sinyal periodik yang diketahui baik oleh sistem penerima dan sistem pengirim. Ada 3 properti dasar yang dapat diterapkan pada setiap sekuensi biner untuk memeriksa keacakan yang dibangkitkan, yaitu :

- a. *Balance Property*
Dibutuhkan disetiap periode sekuensi, dimana besarnya biner 1 berbeda dengan biner 0 paling banyak berbeda sebanyak satu digit.
- b. *Run Property*
Run didefinisikan sebagai sekuensi dari satu tipe tunggal dari digit biner. Tampilan digit alternatif dalam suatu sekuensi menjalankan *run* yang baru. Panjang suatu *run* adalah jumlah digit pada *run* tersebut.
- c. *Correlation Property*
Jika periode sekuensi dibandingkan untuk setiap tingkat, sangat baik bila jumlah yang diterima dibandingkan dengan jumlah yang gagal, tidak lebih dari 1.



Gambar 2.8 Diagram $m(t)$ dan $p(t)$ pada PN generator dari MLS dengan periode $N = 2^m - 1$ untuk $m = 3$.

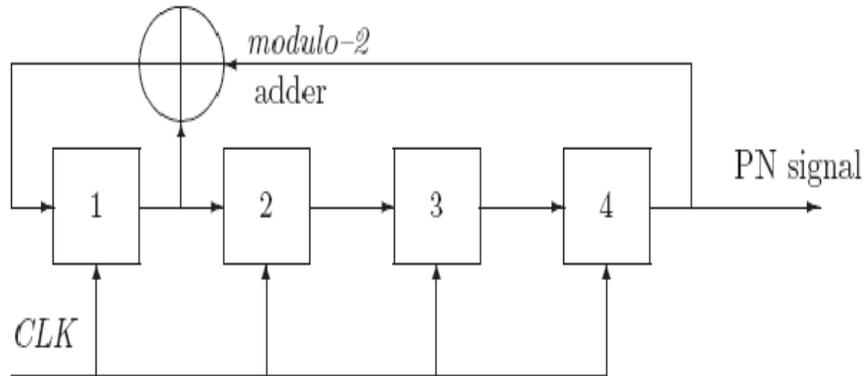
Pada Gambar 2.11, ditunjukkan sinyal asli $m(t)$ dengan suatu periode T_s dan sinyal $p(t)$ dari PN dengan durasi bit T_c . Dari Gambar 2.11 diketahui bahwa durasi bit dari suatu sekuensi PN jauh lebih kecil dari durasi sinyal Base band, hal ini yang menyebabkan spektrum dapat menyebar pada domain frekuensi. Dengan $g(f)$ merupakan fungsi satuan impulse, dan M adalah bilangan bulat, rapat spektrum daya dari *PN-Sequence* dinyatakan sebagai berikut :

$$PN(l) = -\frac{1}{N} g(f) + N + \frac{1}{N_2} \left[\frac{\sin nfT_c}{nfT_c} \right] 2 \sum Q \left(f + \frac{M}{NT_c} \right) \quad (2.29)$$

Kerapatan dari durasi bit yang dibangkitkan pada suatu sekuensi akan mempengaruhi total daya dari garis-garis spektrum yang dihasilkan, yaitu panjang deret bit yang dihasilkan berbanding terbalik dengan daya masing-masing garis dan akan menyebabkan spektrum yang terbentuk menjadi rapat. Sifat-sifat penting dari spektrum yang mempengaruhi sistem *spread spectrum* diantaranya :

1. Garis-garis spektrum diskrit terdapat pada kelipatan bulat dari $\frac{1}{NT_c}$
2. Selubung (envelope) kerapatan spektral daya berbentuk fungsi \sin^2 yang null to null-nya ditentukan oleh periode chip T_c .
3. Selubung dari kerapatan spektral daya pada $f = 0$ adalah sebesar $\frac{1}{N}$.

Salah satu cara yang mudah untuk menghasilkan sekuensi PN adalah dengan menggunakan Maximum Length Sequences (MLS), yang menggunakan konsep primitif polinomial. MLS memiliki semua properti PN generator. Suatu MLS dibentuk dari gabungan fungsi *Shift Register* dan kumpulan sirkuit *Logic* pada sistem *feedback*-nya, serta clock untuk mengatur periode pembangkitan chip pada deretan bit-bit sekuensi.



Gambar 2.9 Diagram MLS PN Generator.

Dari Gambar 2.9, *PN sequence* dihasilkan oleh *Pseudo Random Generator* (PRG), yang terdiri dari beberapa bagian. Sebuah *feedback shift register* memiliki 4 tingkat register untuk menyimpan dan menggeser, sebuah *modulo-2 adder*, dan jalur *feedback* dari *adder* ke input register. Operasi *shift register* dikontrol oleh sekuensi pulsa *clock*. Pada setiap pulsa *clock*, isi dari setiap tingkat bergeser 1 tingkat ke kanan. Selanjutnya isi dari tingkat 1 dan 4 ditambahkan dan hasilnya diumpanbalikan ke 1.

Shift register generator menghasilkan sekuensi yang tergantung pada banyaknya tingkat, hubungan *feedback tap*, dan kondisi inisiasi. Untuk setiap n tingkat umpan balik linear, sekuensi mengulang periode *clock* pulsa p menurut persamaan :

$$N = 2^m - 1 \quad (2.30)$$

Berdasarkan persamaan diatas, maka PN waveform dari Gambar 2.9 akan memiliki persamaan periode :

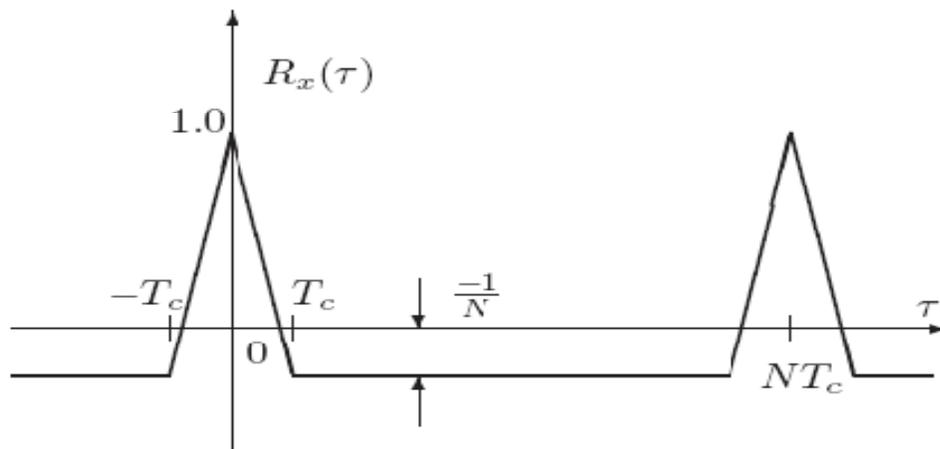
$$T_{PN} = NT_C \quad (2.31)$$

Autokorelasi fungsi dari suatu sinyal periodik $p(t)$ dengan periode T_{PN} mengikuti persamaan :

$$R_x(\tau) = \frac{1}{T_{PN}} \int_{-\frac{T_{PN}}{2}}^{\frac{T_{PN}}{2}} p(t) p(t - \tau) dt \quad (2.32)$$

Karena waktu lag τ berada pada interval $\left[-\frac{T_{PN}}{2}, \frac{T_{PN}}{2}\right]$ maka persamaan sebelumnya dapat diubah menjadi :

$$R_x(\tau) = \begin{cases} 1 - \frac{N+1}{N T_c} |\tau| & |\tau| \leq T_c \\ -\frac{1}{N} & \text{lainnya} \end{cases} \quad (2.33)$$



Gambar 2.10 Fungsi Autokorelasi dari suatu sinyal PN.

Grafik dari fungsi (2.33) ditunjukkan oleh Gambar 2.10, artinya adalah suatu puncak diperoleh hanya ketika sekuensi dari generator lokal berkorelasi dengan sekuensi yang datang, proses korelasi yang terjadi memungkinkan despreading dari sinyal yang datang secara utuh. Jika tidak terjadi korelasi maka yang akan diperoleh adalah noise. Dengan demikian dapat dimisalkan bahwa suatu *PN sequence* berfungsi menyerupai mesin enkripsi sinyal, dimana hanya sistem sinkronisasi pada sistem penerima yang mampu melakukan proses invers enkripsi pada data yang diterima untuk memperoleh informasi yang diinginkan.

Tabel 2.1 Kondisi Flip-flop dari register 4-bit pada generator PN.

FF1	FF2	FF3	FF4
1	0	0	0
1	1	0	0
1	1	1	0
1	1	1	1
0	1	1	1
1	0	1	1
0	1	0	1
1	0	1	0
1	1	0	1
0	1	1	0
0	0	1	1
1	0	0	1
0	1	0	0
0	0	1	0
0	0	0	1
1	0	0	0

Tabel 2.1 menjelaskan perbedaan sekuensi yang diperoleh dari generator MLS pada Gambar 2.9, yaitu PN generator dari MLS dengan periode $N = 2^m - 1$ untuk $m = 3$. Seperti yang terlihat, diperoleh bahwa bit output yang akan disebar pada sinyal *Base band* adalah bit yang keluar dari flip-flop 4.

Untuk menentukan *PN Sequence* dengan menggunakan shift register seperti data pada Tabel 2.1 adalah dengan cara berikut :

Sebagai permulaan diberikan kode awal input 1 0 0 0, maka untuk setiap langkah pergeseran yang terjadi di shift register adalah (catatan : Hasil XOR pada langkah 2 adalah hasil XOR dari data pada langkah 1, dan seterusnya) :

1. 1 0 0 0 inisiasi nilai awal register (R1=1, R2=0, R3=0, R4=0)
2. 1 1 0 0 isi register 1 dan 4 di XOR, hasilnya mengisi Register-1
3. 1 1 1 0 isi register 1 dan 4 di XOR, hasilnya mengisi Register-1
4. 1 1 1 1 isi register 1 dan 4 di XOR, hasilnya mengisi Register-1
5. 0 1 1 1 isi register 1 dan 4 di XOR, hasilnya mengisi Register-1
6. 1 0 1 1 isi register 1 dan 4 di XOR, hasilnya mengisi Register-1
7. 0 1 0 1 isi register 1 dan 4 di XOR, hasilnya mengisi Register-1
8. 1 0 1 0 isi register 1 dan 4 di XOR, hasilnya mengisi Register-1
9. 1 1 0 1 isi register 1 dan 4 di XOR, hasilnya mengisi Register-1
10. 0 1 1 0 isi register 1 dan 4 di XOR, hasilnya mengisi Register-1
11. 0 0 1 1 isi register 1 dan 4 di XOR, hasilnya mengisi Register-1
12. 1 0 0 1 isi register 1 dan 4 di XOR, hasilnya mengisi Register-1
13. 0 1 0 0 isi register 1 dan 4 di XOR, hasilnya mengisi Register-1

14. 0 0 1 0 isi register 1 dan 4 di XOR, hasilnya mengisi Register-1
15. 0 0 0 1 isi register 1 dan 4 di XOR, hasilnya mengisi Register-1
16. 1 0 0 0 isi register 1 dan 4 di XOR, hasilnya mengisi Register-1

Setelah 15 kali *clock* bit maka isi dari bit yang telah digeser dan di XOR akan kembali ke pola awalnya. Untuk memperoleh kode *PN-Sequence* yang digunakan, maka dilakukan pengambilan dari isi dari *shift register* 4 untuk setiap *clock* yang terjadi selama 15 *clock* yang terjadi, maka akan diperoleh :

Satu Sekuensi Bit : 0 0 0 1 1 1 1 0 1 0 1 1 0 0 1

Dari sekuensi bit sebelumnya terdapat 7 bit "0" dan 8 bit "1" yang masih diperbolehkan menurut parameter Balance Property. Untuk *Run Property*, dimisalkan untuk run bit "0", terdapat empat *run*, $1 \frac{1}{2}$ adalah panjang 1, dan $1 \frac{1}{4}$ adalah panjang 2, hal yang sama berlaku untuk *run* bit "1". Untuk proses *Autocorrelation* merujuk pada pengertian dari fungsi yang diberikan pada sekuensi digital [12] yang dinyatakan menurut persamaan :

$$R_x(\tau) = \frac{1}{p} \left(\begin{array}{l} \text{number of agreements - number of disagreements;} \\ \text{in a comparison of one full period of the sequence} \\ \text{with a } \tau \text{ position cyclic shift of the sequence} \end{array} \right) \quad (2.34)$$

Dengan p adalah jumlah digit biner untuk setiap periode. Jika diperoleh $\tau = 0$ berarti tidak terdapat pernyataan *disagreement* pada kedua sekuensi bit, dan nilai $R_x(0) = 1$ yang menunjukkan bahwa kedua sekuensi bit adalah sama. Jika $\tau = 1$ berarti pada dua sekuensi bit yang dibandingkan terdapat 8 *disagreement* dan 7 *agreement*, dan nilai $R_x(1) = -\frac{1}{15}$ dengan nilai τ merupakan periode normal dari *Chip* yang digunakan pada MLS PN generator.

Jika dilakukan proses sekuensi sebanyak dua *clock* pada bit yang paling bawah dari *register*, maka akan diperoleh nilai $R_x(2) = -\frac{1}{15}$ yang akan bernilai sama dengan proses *Autocorrelation* sekuensi satu *clock* pada bit paling bawah dari *register* yang sebelumnya.

Hasil yang diperoleh sesuai dengan Gambar 3.7. Proses *Autocorrelation* dapat ditunjukkan sebagai berikut :

```

0 0 0 1 1 1 1 0 1 0 1 1 0 0 1
1 0 0 0 1 1 1 1 0 1 0 1 1 0 0
-----
d a a d a a a d d d a d a d

```

dimana :

a = agreement dan *b = disagreement*

Untuk melakukan proses penyebaran dan menyembunyikan sinyal informasi yang akan dikirimkan, maka setiap bit dari sinyal informasi di XOR dengan kode *PN Sequence*. Misalkan sinyal informasi yang dikirim merupakan satu urutan bit 1 0 :

```

Awal :           1           0
PN S  : 0 0 0 1 1 1 1 0 1 0 1 1 0 0 1 0 0 0 1 1 1 1 0 1 0 1 1 0 0 1
Kirim : 0 0 0 1 1 1 1 0 1 0 1 1 0 0 1 1 1 1 0 0 0 0 1 0 1 0 0 1 1 0

```

Pada sistem penerima sinyal yang diterima akan di XOR lagi dengan kode *PN Sequence* :

```

Rec   : 0 0 0 1 1 1 1 0 1 0 1 1 0 0 1 1 1 1 0 0 0 0 1 0 1 0 0 1 1 0
PN S' : 0 0 0 1 1 1 1 0 1 0 1 1 0 0 1 0 0 0 1 1 1 1 0 1 0 1 1 0 0 1
XOR   : 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
Final :           1           0

```

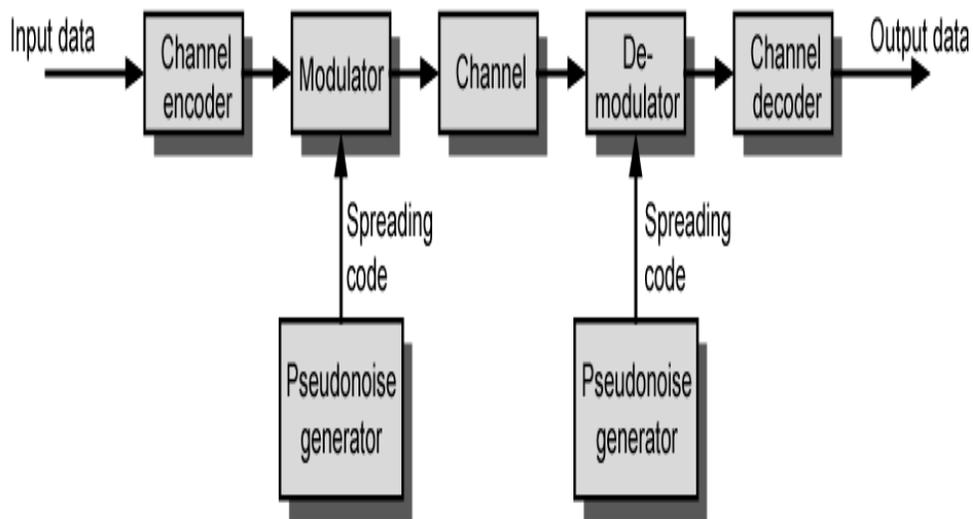
Jumlah bit dari informasi bisa kembali ke bentuk awalnya, karena setiap user memiliki variasi kode yang berbeda yang tidak diketahui user lain, untuk itu didalam sistem DSSS setiap user memiliki selalu memiliki variasi kode yang berbeda yang tidak diketahui user lain. Dengan tujuan untuk meningkatkan keamanan didalam proses transmisi data.

BAB III

METODOLOGI PERANCANGAN

SISTEM DIRECT SEQUENCE SPREAD SPECTRUM

Tujuan utama desain jaringan telekomunikasi adalah mendapatkan performansi terbaik dengan biaya implementasi yang minimal. Selain kualitas pensinyalan dan kanal yang harus diperhatikan, faktor keamanan juga merupakan bagian penting yang harus dipenuhi, agar data yang bersifat rahasia tetap terjaga sampai pada proses pengumpulan informasi di sistem penerima.



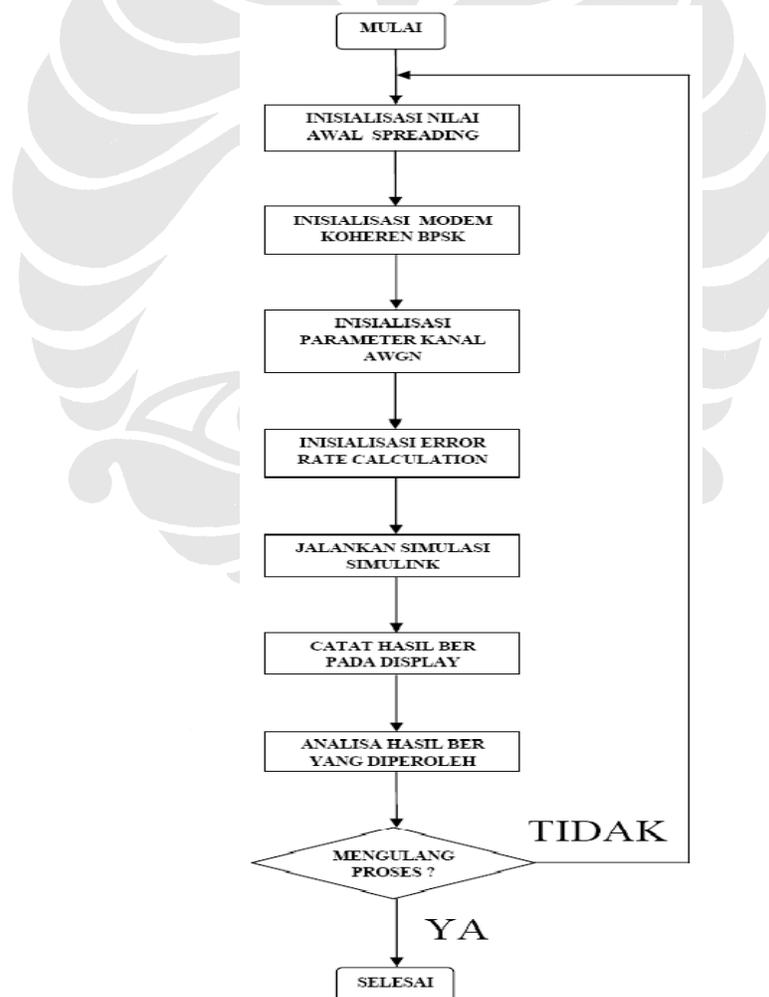
Gambar 3.1 Model Umum Sistem DSSS[9].

Gambar 3.1 menunjukkan suatu model umum sistem Direct Sequence Spread Spectrum, yang merupakan salah satu metode yang dapat digunakan untuk meningkatkan kualitas dan menjaga keamanan data yang ditransmisi. Pemanfaatan sistem pada Gambar 3.1 dapat dilakukan dengan cara dengan mengimplementasikan metode *Direct Sequence Spread Spectrum* pada sistem modulasi Koheren BPSK.

Perancangan simulasi sistem DSSS Koheren BPSK menggunakan software Matlab 7.6 dilakukan melalui 4 tahapan proses, yaitu :

1. Membuat *flowchart* sistem simulasi DSSS koheren BPSK yang dirancang.
2. Menentukan blok komponen-komponen tools simulink Matlab 7.6 yang akan digunakan untuk merancang sistem DSSS Koheren BPSK.
3. Merancang sistem *modulator* dan *demodulator* Koheren BPSK dengan kanal AWGN.
4. Merancang sistem DSSS Koheren BPSK yang lengkap dengan didalamnya menggunakan sistem *demodulator* dan *modulator* Koheren BPSK yang telah dirancang.

3.1 Flowchart Simulasi



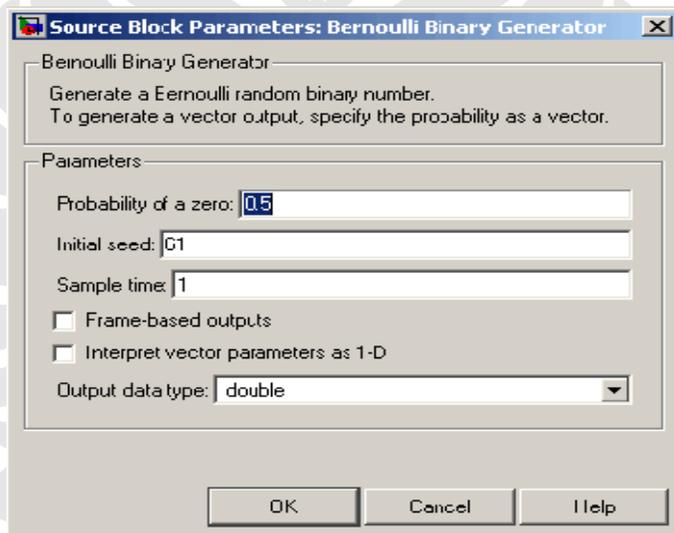
Gambar 3.2 Flowchart Simulasi DSSS Koheren BPSK.

3.2 Blokset Simulasi

Didalam merancang simulasi DSSS Koheren BPSK, blokset dari kumpulan tools pada simulink dari Matlab 7.6 adalah sebagai berikut :

a. Bernoulli Binary Generator

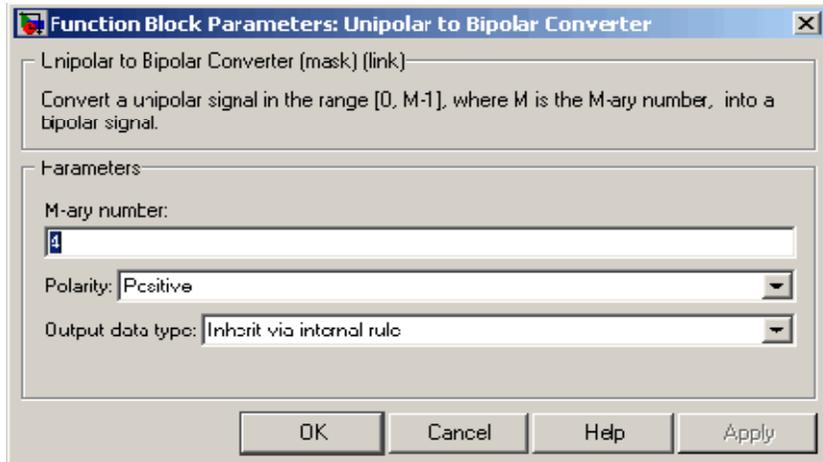
Input data pada sistem DSSS BPSK merupakan input yang didefinisikan oleh user. Input ini merupakan kumpulan bit-bit yang disebut *binary sequence*. Pada sistem DSSS BPSK kumpulan bit yang menjadi input pada NRZ *encoder* akan memiliki delay tertentu yang bertujuan untuk menjadi masukan pada proses *spreading* nanti. Didalam sistem DSSS Koheren BPSK yang dirancang digunakan *blokset Bernoulli Binary Generator* pada Gambar 3.3 untuk menghasilkan kumpulan input random bit “1” dan “0”.



Gambar 3.3 Blokset Bernoulli Binary Generator.

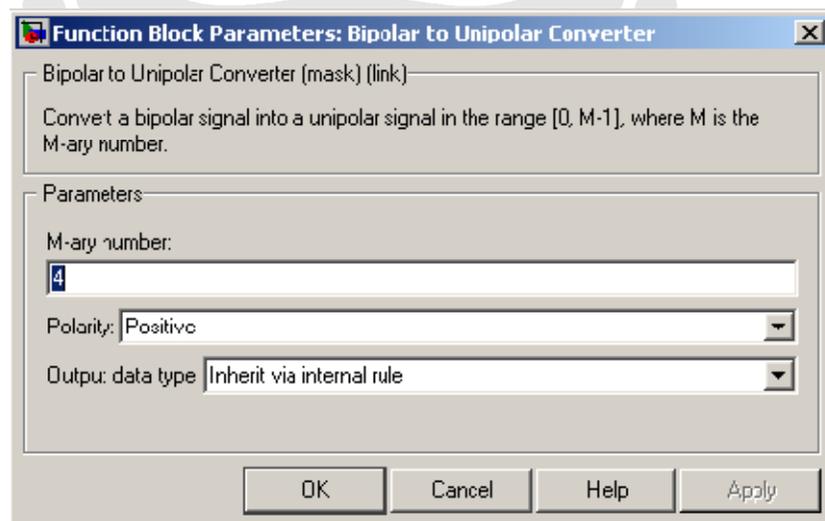
b. NRZ Encoder dan Decoder

Salah satu jenis *channel encoder* yang dapat digunakan pada sistem DSSS BPSK adalah NRZ *encoder*. NRZ *encoder* dapat digunakan pada proses *spreading* dari sistem DSSS BPSK. Hasil penggunaan NRZ *encoder* pada proses *spreading* akan menghasilkan sinyal data pada *transmitter* yang hanya akan memiliki level +1 dan -1. Untuk NRZ *encoder* pada simulasi digunakan *blokset Unipolar to Bipolar Converter* pada Gambar 3.4 yang akan mengubah bit “1” dan “0” dari Bernoulli Binary Generator menjadi sinyal data dengan level +1 dan -1.



Gambar 3.4 Blokset Unipolar to Bipolar Converter.

Pada setiap proses transmisi data melalui suatu kanal komunikasi, data yang diterima akan memiliki *noise*. Penggunaan NRZ *encoder* pada *transmitter* DSSS BPSK akan memberikan keuntungan, yaitu level sinyal yang hanya akan berada pada level +1 dan level -1 dari data informasi terkirim yang diterima pada *receiver* DSSS Koheren BPSK akan memudahkan proses *despreading* data pada *transmitter*. Untuk melakukan proses *decoding* dari sinyal NRZ *encoder* pada *transmitter* yang diterima pada *receiver* dibutuhkan NRZ *decoder*, pada simulasi DSSS Koheren BPSK yang dirancang digunakan *blokset Bipolar to Unipolar Converter* pada Gambar 3.5 yang akan mengembalikan level sinyal kembali ke dalam bentuk bit “1” dan “0”.

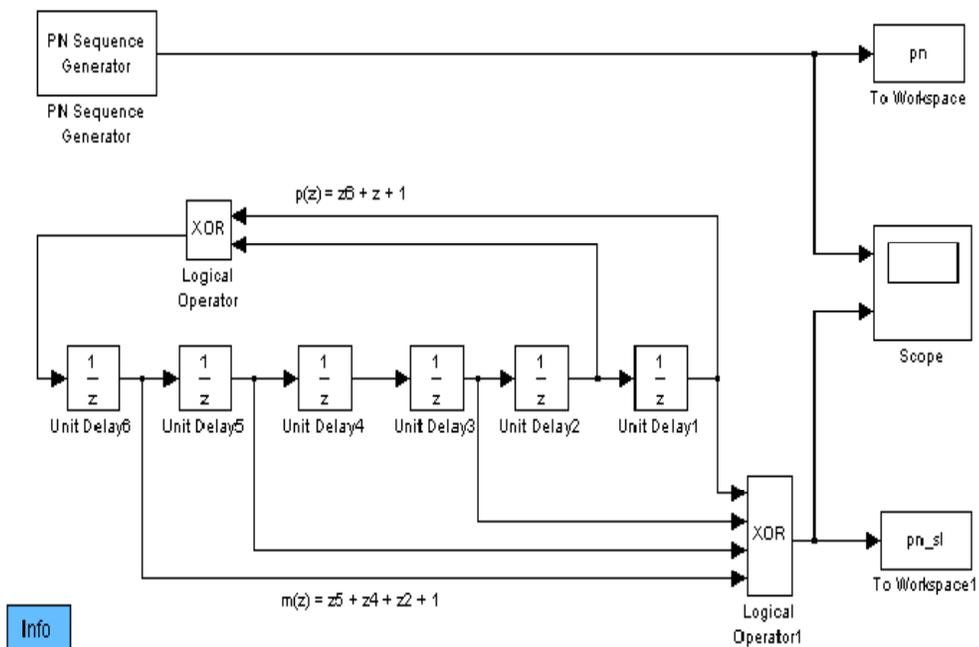


Gambar 3.5 Blokset Bipolar to Unipolar Converter.

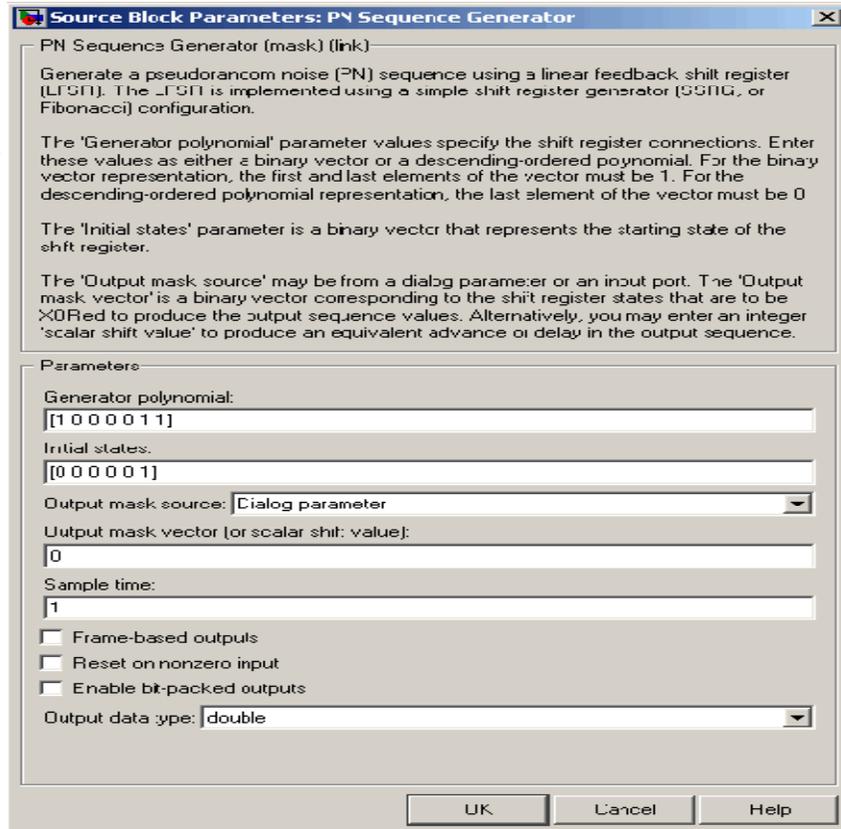
c. Pseudo Noise Generator

PN generator yang menghasilkan *PN sequence* merupakan salah satu parameter penting atau dapat dikatakan yang terpenting dari sistem DSSS BPSK, sebab komponen ini akan menentukan kinerja keseluruhan dari sistem DSSS dan keamanan dari data yang ditransmisi. Jenis *PN sequence* yang digunakan pada sistem DSSS akan mempengaruhi metode *processing gain* yang mempengaruhi terhadap lebar *bandwidth* spektrum sinyal transmisi, proses *match filter* dari *band pass filter* dan fungsi autokorelasi, fungsi transfer daya serta fungsi korelasi silang pada *receiver* sistem DSSS didalam melakukan proses *despreading* sinyal data. Untuk menghasilkan *PN sequence* yang dibutuhkan didalam merancang simulasi DSSS Koheren BPSK digunakan *PN Sequence Generator* yang akan menghasilkan kumpulan sekuensi bit “1” dan “0” sesuai fungsi yang diberikan. Gambar 3.7 Menunjukkan *blokset PN sequence generator* yang digunakan. dan Gambar 3.6 menunjukkan rangkaian yang terbentuk dari inialisasi nilai dari *generator polynomial* pada *blokset PN sequence generator*.

PN Sequence Generation



Gambar 3.6 Rangkaian PN sequence untuk isialisasi Generator Polynomial [1 0 0 0 0 1 1].



Gambar 3.7 Blokset PN sequence generator.

Perancangan PN *sequence generator* mengacu pada persamaan (3.1) yang merupakan persamaan daya spektrum sinyal *spread spectrum*. Sebab, selain merupakan persamaan umum untuk sinyal *spread spectrum*, persamaan (3.1) dapat menjadi persamaan umum sinyal modulasi dengan cara menetapkan nilai $p(t)$ bernilai 1.

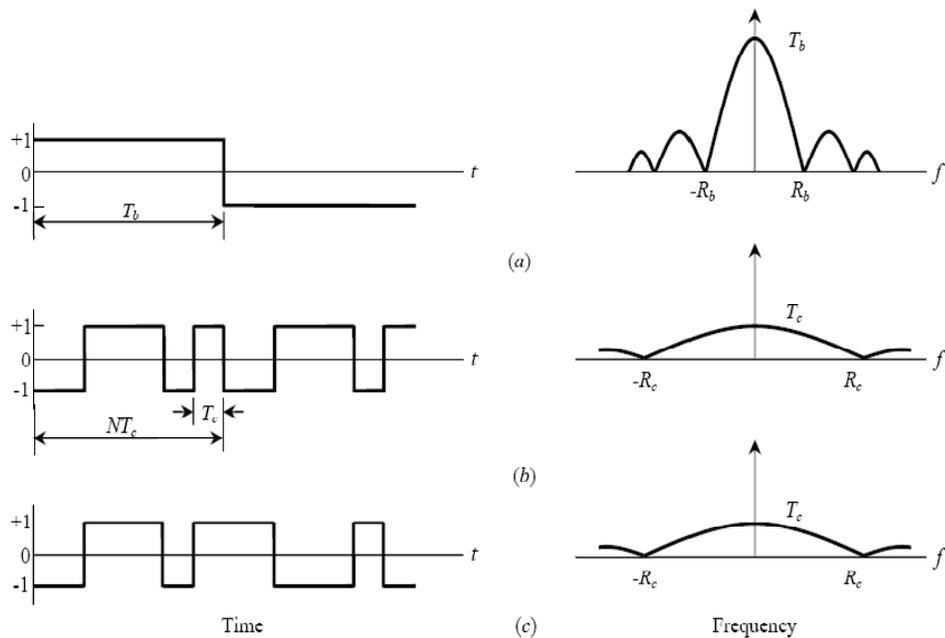
$$S_{ss} = \sqrt{\frac{2E_s}{T_s}} m(t)p(t) \cos(2\pi f_c t + \theta) \quad (3.1)$$

Dimana :

$m(t)$ = sekuensi data dengan durasi T_s

$p(t)$ = jumlah chip dengan durasi T_c

f_c = fekuensi sinyal pembawa pada modulasi (Hz)



Gambar 3.8 Skema Pembentukan Waveform DSSS[10].

Hal mendasar dari sistem *spread spectrum* adalah berapa besar pengamanan dari *spreading* dapat menanggulangi sinyal interferensi dengan daya yang terbatas. Pengaruh *Processing gain* dari sistem *spread spectrum* terhadap pelebaran *bandwidth* sinyal transmisi yang ditunjukkan oleh Gambar 3.8 dapat dicari melalui analisa keseluruhan sistem *direct sequence spread spectrum*. *Processing gain* pada DSSS Koheren BPSK didefinisikan oleh persamaan (3.2) :

$$PG = \frac{T_s}{T_c} = \frac{R_c}{R_s} = \frac{B_{SS}}{2R_s} \quad (3.2)$$

Dengan :

T_s = Periode data input (s)

T_c = Periode chip (s)

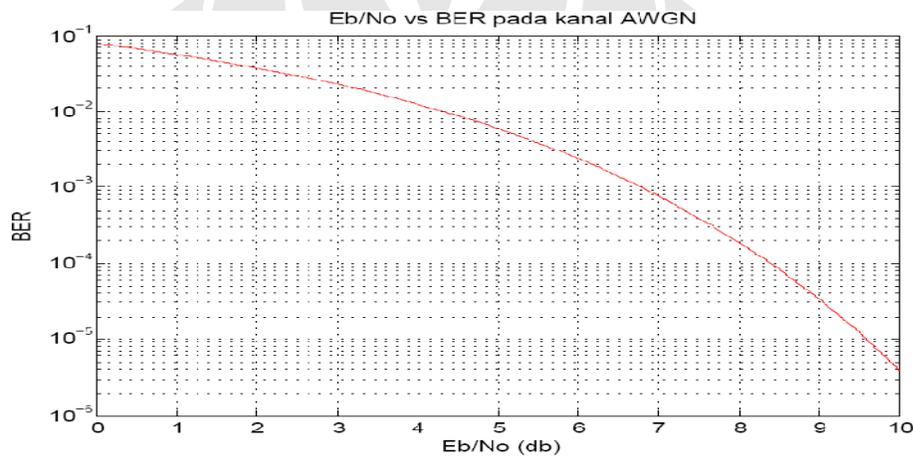
R_c = Rate simbol chip

R_s = Rate simbol data input

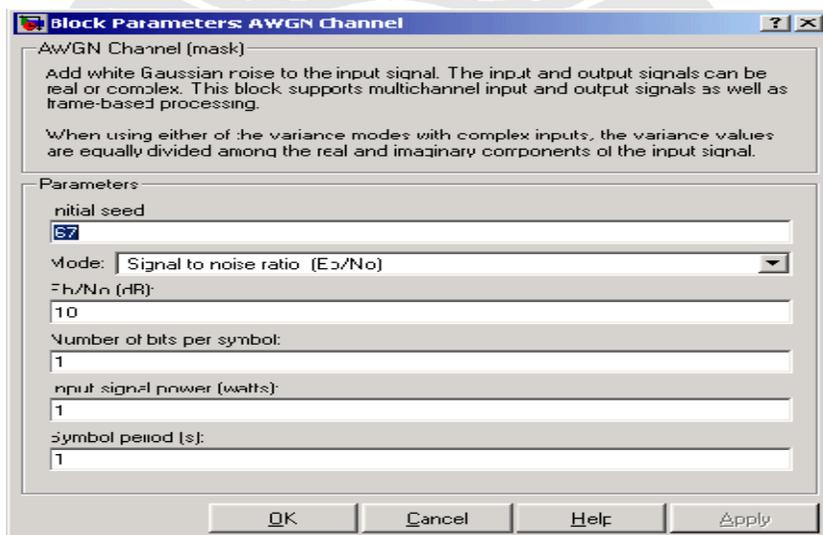
B_{SS} = Bandwidth spektrum spread spektrum

d. Kanal AWGN

Kanal AWGN memiliki sifat *additive*, *white* dan Gaussian. Sifat *additive* artinya *noise* yang terjadi dijumlahkan dengan sinyal, sifat *white* artinya *noise* tidak tergantung dari frekuensi operasi sistem dan sifat Gaussian artinya besarnya tegangan *noise* memiliki rapat peluang terdistribusi Gaussian. Dengan demikian *noise* AWGN akan terjadi pada sistem sistem DSSS pada saat transmisi data dari *transmitter* menuju *receiver*. Gambar 3.9 menunjukkan pemodelan modulasi digital pada kanal AWGN dan Gambar 3.10 menunjukkan *blokset* AWGN Channel yang digunakan sebagai kanal AWGN pada sistem DSSS Koheren BPSK yang dirancang.



Gambar 3.9 Pemodelan kurva E_b / N_0 vs BER pada kanal AWGN[5].



Gambar 3.10 Blokset AWGN Channel.

e. Modem Koheren BPSK

Sistem DSSS Koheren BPSK menggunakan *modulator* dan *demodulator* koheren BPSK. Didalam perancangannya sistem *modulator* dan *demodulator* koheren BPSK harus memiliki perangkat tambahan yang dinamakan *Phase Locked System* (PLL) yang berfungsi untuk menjaga agar fasa dari sinyal modulasi tidak mengalami perubahan fasa saat melewati kanal komunikasi yang digunakan, sebab adanya perubahan fasa dari sinyal akan menyebabkan data yang tersimpan didalam fasa gelombang sinyal modulasi akan mengalami salah interpretasi pada proses demodulasi sinyal *transmitter*.

Untuk merancang *modulator* dan *demodulator* Koheren BPSK pada simulink Matlab 7.6 dibutuhkan rangkaian yang terdiri dari :

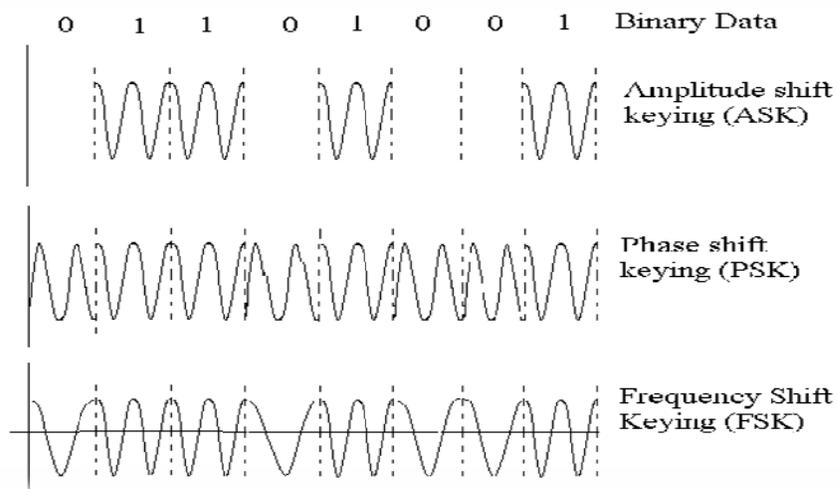
1. *Blokset Sine Wave* yang berfungsi untuk menghasilkan sinyal modulasi berbentuk sinus.
2. *Blokset Product* yang digunakan untuk melakukan proses perkalian antara bit “1” dan “0” dengan sinyal sinus yang dibangkitkan oleh *blokset Sine Wave*.
3. *Blokset Integrate and Dump filter* yang digunakan untuk melakukan fungsi integrasi dan filterisasi pada demodulator koheren BPSK.
4. *Blokset Decision device threshold* untuk menentukan bit “1” dan “0” dari sinyal yang didemodulasi serta *blokset Subsystem* yang digunakan untuk menyederhanakan rangkaian yang dibuat.

3.3 Perancangan Modem Koheren BPSK

Modulasi merupakan proses switching (biasa disebut keying) antara sinyal yang berbeda untuk mentransmisikan informasi yang sudah dikodekan [4]. Secara umum gelombang pembawa proses modulasi dapat dinyatakan oleh persamaan (2.4) yang memiliki formula :

$$C(t) = A \sin(2\pi ft + \phi)$$

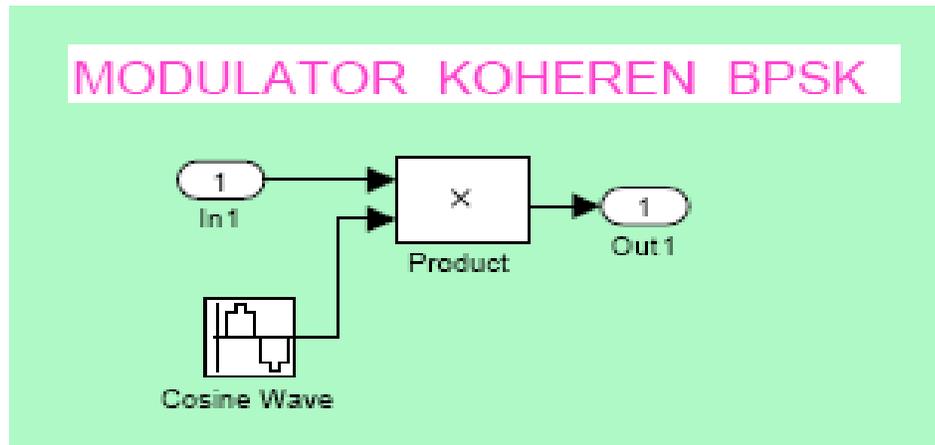
Gambar 3.11 menunjukkan skema dasar modulasi digital yang digunakan didalam komunikasi berdasarkan persamaan (2.4). Dari persamaan (2.4) terdapat tiga variable yang dapat divariasikan untuk mentransimisi informasi, yaitu : amplitudo A , frekuensi f dan fasa ϕ . Metode modulasi digital yang digunakan dengan mevariasikan kuantitas dari ketiga variable tersebut adalah *Amplitude Shift Keying (ASK)*, *Frequency Shift Keying (FSK)* and *Phase Shift Keying (PSK)* yang ditunjukkan oleh Gambar 3.11.



Gambar 3.11 Skema Dasar Modulasi Digital[11].

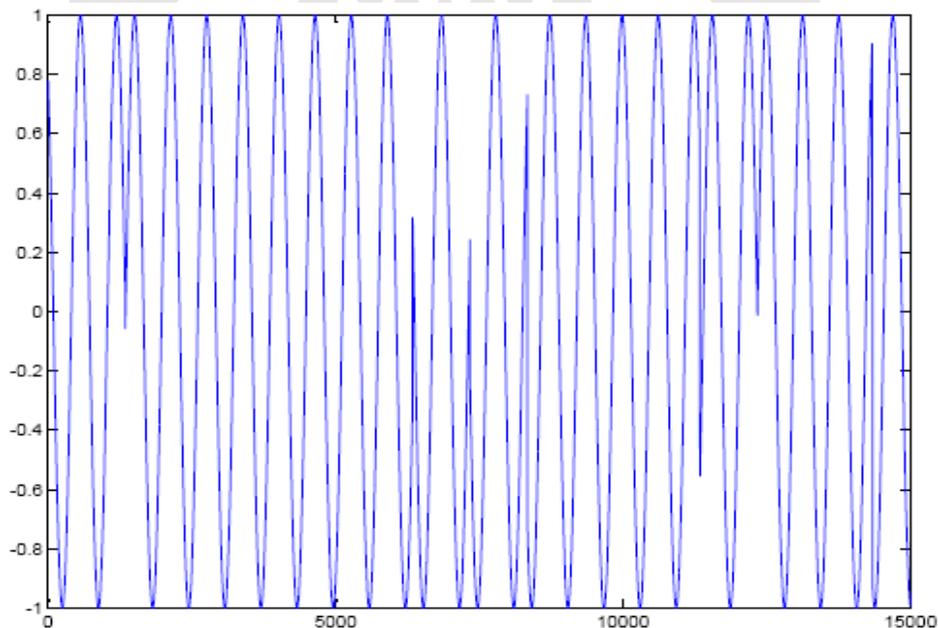
Untuk merancang modulator Koheren BPSK pada simulink Matlab 7.6 dibutuhkan *blokset Sine Wave* untuk menghasilkan gelombang pembawa proses modulasi seperti pada persamaan (2.4) dengan mengubah parameter variable fasa ϕ dan mengalikan gelombang yang persamaan (2.4) dan mengalikan gelombang yang terbentuk dengan sinyal output dari *NRZ encoder*.

Gambar (3.12) menunjukkan rangkaian *modulator* Koheren BPSK yang terbentuk menggunakan simulink Matlab 7.6. Untuk merancang *demodulator* Koheren BPSK pada simulink Matlab 7.6 dibutuhkan *blokset Sine Wave* untuk menghasilkan gelombang pembawa proses modulasi seperti pada persamaan (2.4), *blokset Integrate and Dump filter* untuk melakukan filterisasi gelombang termodulasi terhadap *noise* yang ada, dan *blokset Decision device threshold* yang berfungsi untuk menentukan bit output dari *Integrate and Dump filter* akan bernilai "1" atau "0".

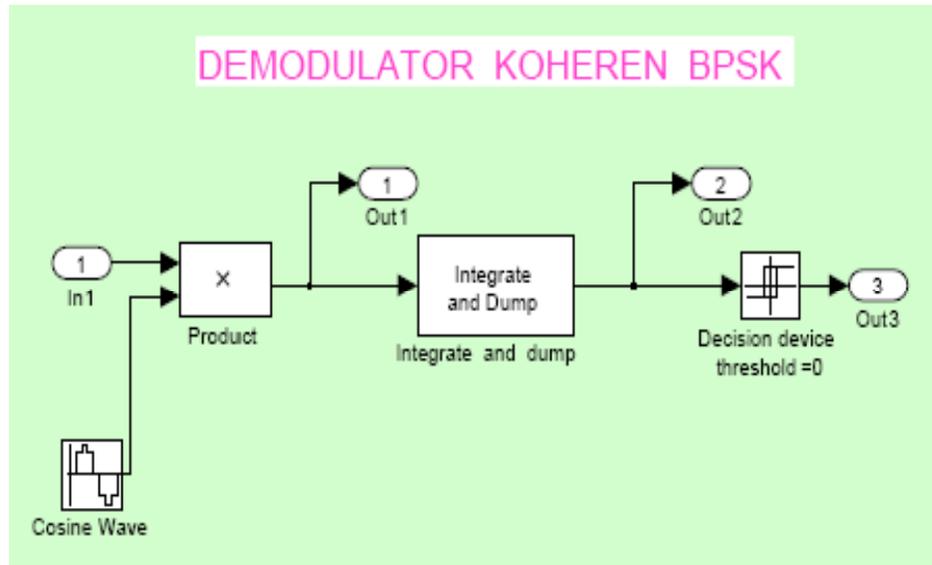


Gambar 3.12 Rangkaian Modulator Koheren BPSK pada Simulink Matlab 7.6.

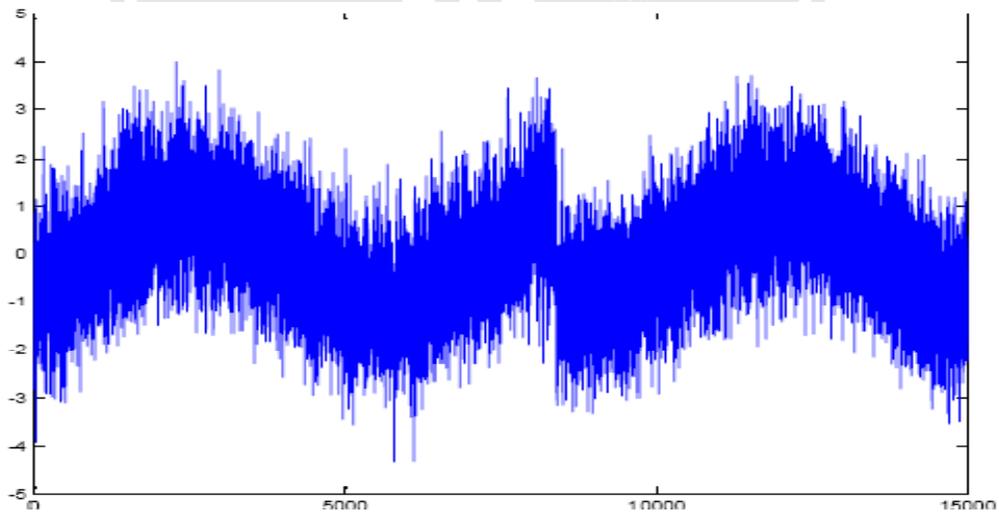
Pada Gambar 3.12, *In 1* merupakan input sinyal data hasil spreading yang akan dimodulasi secara Koheren BPSK, sinyal pada *In 1* memiliki level sinyal +1 dan -1 sebab merupakan output dari *NRZ encoder*. *Out 1* merupakan sinyal modulasi Koheren BPSK yang akan ditransmisi melalui media komunikasi kanal AWGN. Gambar 3.13 menunjukkan sinyal output modulasi Koheren BPSK yang dirancang menggunakan simulink Matlab 7.6.



Gambar 3.13 Sinyal Modulasi Rangkaian Koheren BPSK pada Simulink Matlab 7.6.



Gambar 3.14 Rangkaian Demodulator Koheren BPSK pada Simulink Matlab 7.6.



Gambar 3.15 Tampilan Sinyal AWGN dari Receiver Koheren BPSK pada Simulink Matlab 7.6.

Pada Gambar 3.14, *In 1* merupakan input sinyal data hasil *spreading* yang ditransmisi secara Koheren BPSK, sinyal transmisi dari *modulator* Koheren BPSK pada input ini akan bercampur dengan *noise* dari kanal AWGN seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 3.15.

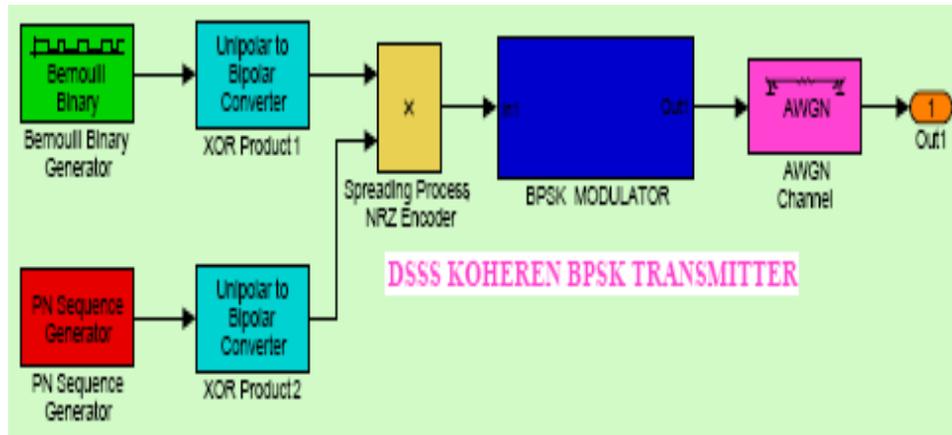
Out 1 merupakan sinyal hasil proses demodulasi secara Koheren BPSK, sinyal hasil demodulasi ini masih bercampur dengan *noise* AWGN. *Out 2* adalah sinyal hasil proses *Integrate and Dump filter* yang merupakan proses pemisahan data sinyal hasil *spreading* dari *transmitter* terhadap *noise* AWGN yang bercampur dengan sinyal. *Out 3* adalah sinyal data hasil *spreading* di *transmitter* yang sudah dipisahkan dari *noise* AWGN yang ada pada proses transmisi, sinyal ini akan menjadi input pada proses *despreading*. Sinyal pada *Out 1*, *Out 2*, dan *Out 3* akan menjadi input tampilan pada *blokset Display*.

3.4 Perancangan DSSS Koheren BPSK

Simulasi sistem DSSS Koheren BPSK yang dirancang merupakan pengembangan dari rangkaian *modulator* dan *demodulator* Koheren BPSK yang sudah dibuat. Bagian *transmitter* dari DSSS Koheren BPSK akan menghasilkan data *spreading* yang akan dimodulasi oleh *modulator* BPSK, sedangkan pada bagian *receiver* akan melakukan proses *despreading* untuk memisahkan data asli dari *PN sequence* dari proses *spreading* pada *transmitter*.

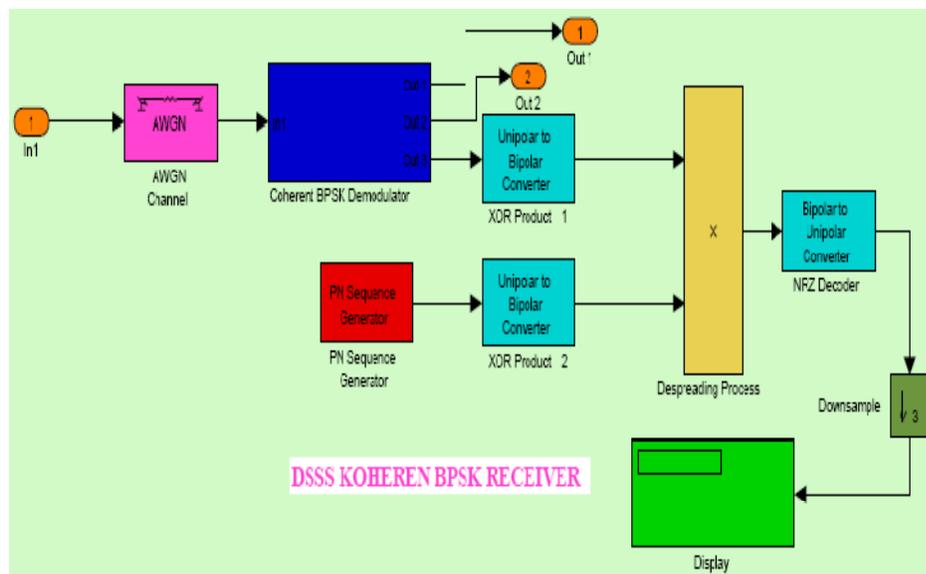
Pada bagian *transmitter* DSSS Koheren BPSK yang dirancang, sinyal yang dihasilkan oleh *blokset Bernoulli Binary Generator* yang berupa urutan bit “1” dan “0” akan di XOR dengan sinyal *noise* yang dibangkitkan oleh *PN Sequence Generator* yang berupa kumpulan bit “1” dan “0” untuk menghasilkan data *spreading*.

Selanjutnya data hasil *spreading* mengalami proses pengkodean oleh *NRZ encoder* yang akan menyebabkan level sinyal akan berada pada level +1 dan -1. Data output dari *NRZ encoder* akan dimodulasi oleh *modulator* Koheren BPSK sebelum ditransmisi melalui kanal AWGN. Gambar 3.16 menunjukkan rangkaian *transmitter* sistem simulasi DSSS Koheren BPSK yang dibuat dengan menggunakan Simulink Matlab 7.6.



Gambar 3.16 Rangkaian Transmitter DSSS Koheren BPSK pada Simulink Matlab 7.6.

Pada bagian *receiver* DSSS Koheren BPSK yang dirancang, proses pengembangan dilakukan untuk menghasilkan proses *despreading* dari sinyal data yang sudah didemodulasi oleh *demodulator* Koheren BPSK. Sinyal data hasil demodulasi harus di XOR oleh sinyal *PN Sequence Generator* yang memiliki karakteristik sama dengan *PN Sequence Generator* pada transmitter DSSS Koheren BPSK, sebab jika karakteristiknya berbeda maka proses *despreading* yang dilakukan akan menghasilkan error yang besar. Sinyal hasil proses *despreading* harus dikembalikan kepada level sinyal aslinya dengan cara menggunakan *NRZ decoder*. Hasil akhirnya akan diperoleh sinyal data asli berupa urutan bit “1” dan “0” sama seperti dengan urutan bit “1” dan “0” yang dihasilkan oleh *Bernoulli Binary Generator* di *transmitter* DSSS Koheren BPSK. Gambar 3.17 menunjukkan rangkaian *receiver* sistem simulasi DSSS Koheren BPSK yang dibuat dengan menggunakan Simulink Matlab 7.6

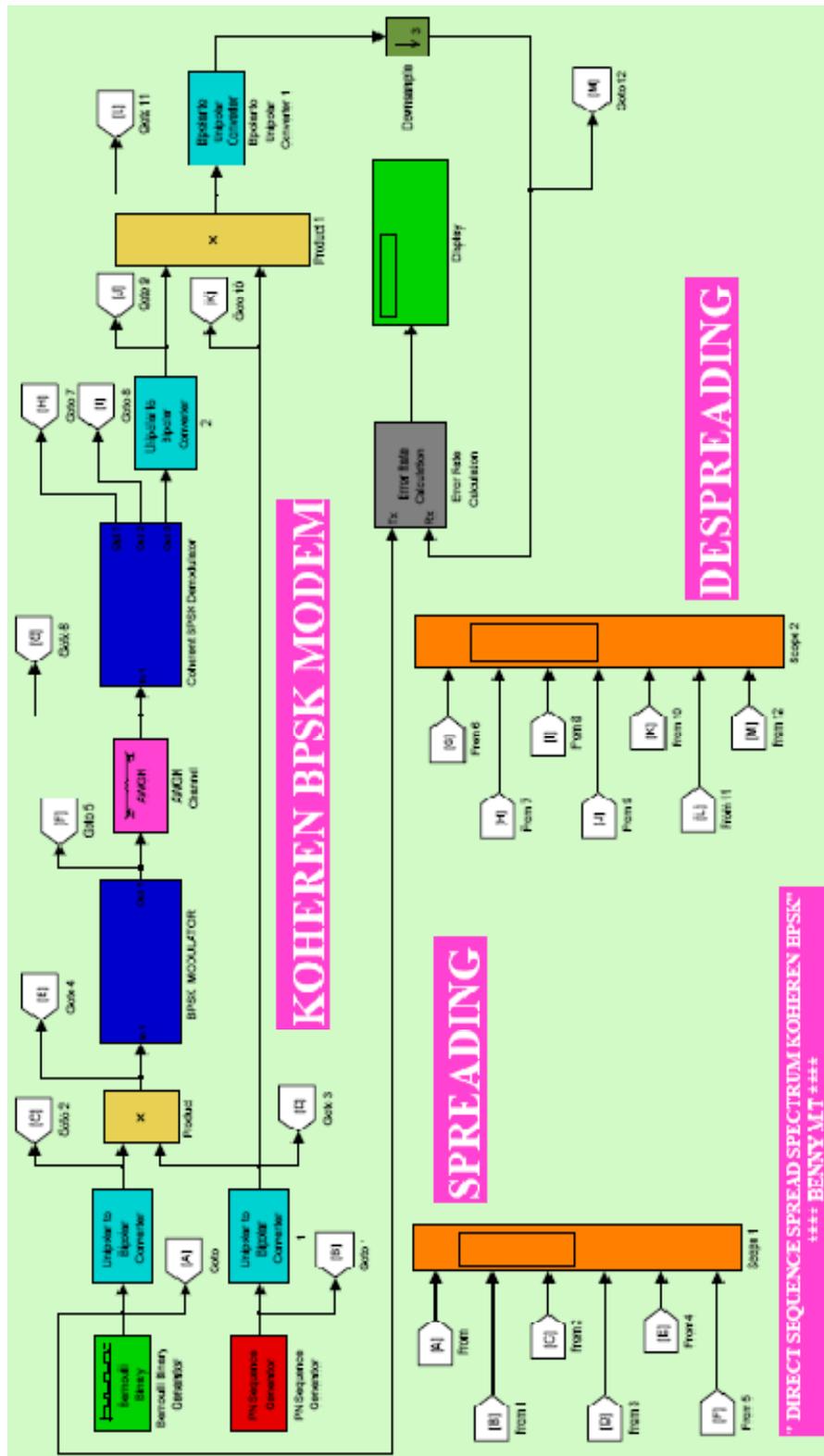


Gambar 3.17 Rangkaian Receiver DSSS Koheren BPSK pada Simulink Matlab 7.6.

Rangkaian sistem simulasi DSSS Koheren BPSK yang lengkap terdiri dari gabungan *transmitter* dan *receiver* DSSS Koheren BPSK yang telah dirancang pada Gambar 3.16 dan Gambar 3.17 ditambah komponen *blokset* tambahan yang terdiri :

1. *Blokset Bit Error Rate* yang berfungsi untuk menghitung error yang terjadi pada saat proses simulasi dilakukan.
2. *Blokset Scope* yang berfungsi untuk menampilkan secara visual sinyal simulasi pada saat proses simulasi sedang berlangsung.
3. *Blokset Display* yang berfungsi untuk menampilkan data hasil perhitungan dari *blokset Bit Error Rate*.

Rangkaian sistem simulasi DSSS Koheren BPSK yang selesai dirancang dengan menggunakan simulink Matlab 7.6 ditunjukkan oleh Gambar 3.18.

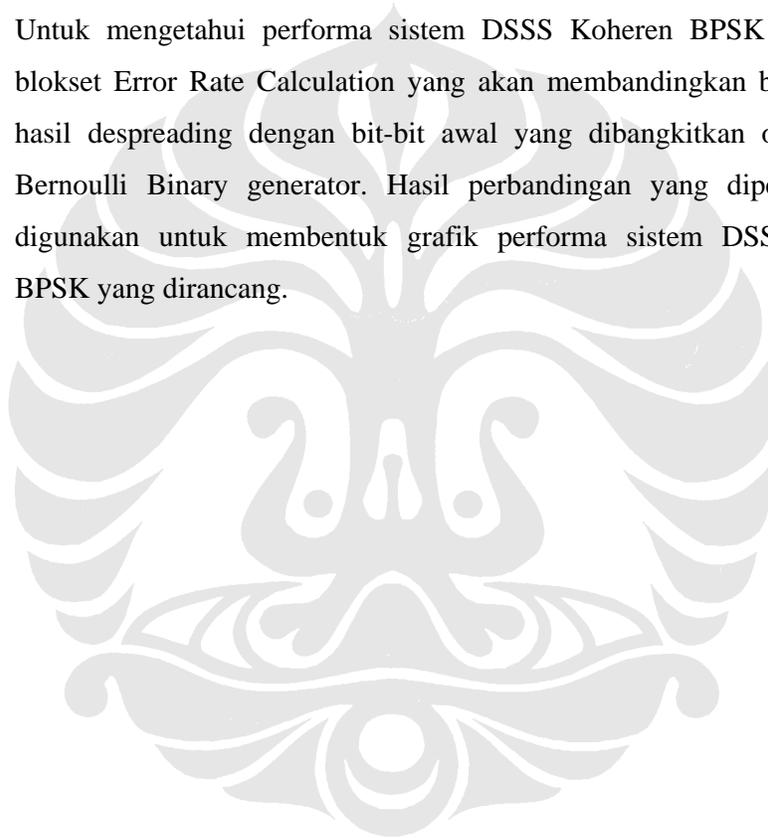


Gambar 3.18 Rangkaian DSSS Koheren BPSK pada Simulink Matlab 7.6.

Cara kerja sistem pada Gambar 3.18 dapat dinyatakan dalam beberapa langkah, yaitu :

1. Blokset Bernoulli Binary Generator akan membangkitkan bit-bit yang akan dianggap sebagai urutan informasi yang akan mengalami spreading. Pada saat yang sama Blokset Pseudo Noise Generator akan membangkitkan chip-chip dengan bit rate yang sama dengan bit-bit informasi, tujuannya adalah untuk menghasilkan proses spreading dengan processing gain bernilai 1.
2. Bit-bit informasi dan chip-chip yang dibangkitkan akan dispreading dengan cara menjadikan bit-bit dan chip-chip menjadi input masing-masing blokset Unipolar to Bipolar Converter, output dari masing-masing blokset Unipolar to Bipolar Converter akan menjadi input blokset Produk yang akan melakukan proses XOR untuk menghasilkan bit-bit spreading.
3. Pada subsystem Modulator Koheren BPSK, bit-bit yang sudah mengalami proses spreading akan dimodulasi dengan cara mengalikan masing-masing bit dari urutan bit yang dihasilkan dengan sinyal modulator yang dihasilkan oleh blokset Sine Wave, output dari subsystem ini adalah bit-bit yang sudah termodulasi secara Koheren BPSK.
4. Blokset AWGN Channel berfungsi untuk media komunikasi yang akan menghasilkan noise AWGN, blokset ini digunakan untuk menghasilkan grafik performa sistem DSSS Koheren BPSK yang dirancang.
5. Output dari blokset AWGN Channel adalah sinyal input untuk subsystem demodulator Koheren BPSK. Input yang diberikan pada subsystem demodulator Koheren BPSK merupakan bit-bit yang termodulasi secara Koheren BPSK yang bercampur dengan noise AWGN.
6. Proses demodulasi diawali dengan mengalikan sinyal input dengan sinyal yang dihasilkan oleh blokset Sine Wave, output dari proses ini akan menjadi input dari blokset Integrator and Dump yang akan memisahkan bit-bit informasi dengan noise yang ada, selanjutnya proses pada blokset Decision Device yang akan menentukan bit-bit hasil demodulasi bernilai "1" atau "0".

7. Hasil dari demodulasi pada subsystem Demodulator Koheren BPSK adalah bit-bit yang merupakan hasil spreading, untuk memperoleh bit-bit informasi asal dibutuhkan proses desprading yang dilakukan dengan cara mengalikan bit-bit hasil demodulasi dengan chip-chip yang dihasilkan blokset Pseudo Noise Generator. Proses despreading merupakan proses XOR yang dilakukan pada bit-bit informasi dengan chip-chip dengan bit rate yang sama pada blokset Product. Output dari proses despreading adalah bit-bit informasi awal.
8. Untuk mengetahui performa sistem DSSS Koheren BPSK dibutuhkan blokset Error Rate Calculation yang akan membandingkan bit-bit sinyal hasil despreading dengan bit-bit awal yang dibangkitkan oleh blokset Bernoulli Binary generator. Hasil perbandingan yang diperoleh akan digunakan untuk membentuk grafik performa sistem DSSS Koheren BPSK yang dirancang.



BAB IV

ANALISIS DATA SIMULASI DSSS KOHEREN BPSK

Untuk mengetahui kinerja dari suatu sistem simulasi yang dirancang harus dilakukan analisa terhadap data yang diperoleh dari proses simulasi yang dilakukan dan membandingkan data hasil simulasi terhadap data referensi yang diperoleh dari sumber yang kredibel dan mudah untuk dimengerti. Dengan demikian dapat diketahui performa sistem yang dibuat, yang dapat digunakan apabila akan melakukan proses pengembangan sistem untuk aplikasi yang sama.

Proses analisis hasil data yang diperoleh dari simulasi DSSS Koheren BPSK terbagi menjadi 3 bagian, yaitu :

1. Analisis performa sistem *modulator* dan *demodulator* Koheren BPSK dan membandingkan data hasil simulasi dengan data dari referensi.
2. Analisis performa sistem simulasi DSSS Koheren BPSK terhadap perubahan inialisasi nilai *Generator polynomial* dari *blokset PN Sequence Generator* dan perubahan inialisasi nilai *initial states* dari *blokset PN Sequence Generator*.
3. Analisis keamanan sistem DSSS Koheren BPSK berdasarkan data pada proses sebelumnya.

4.1 Analisis Performa Modem Koheren BPSK

Analisis performa sistem *modulator* dan *demodulator* Koheren BPSK mengacu pada dua sumber, yaitu : 1. Gambar 4.1 yang menunjukkan karakteristik dari respons kanal AWGN terhadap proses modulasi digital yang dilakukan pada kanal AWGN, 2. Persamaan (2.23) yang merupakan fungsi yang monoton turun, yang dapat digunakan untuk menentukan nilai BER dari sistem modulasi BPSK untuk setiap nilai E_b / N_0 yang terjadi pada sinyal yang diterima oleh *receiver* sistem *modulator* dan *demodulator* Koheren BPSK.

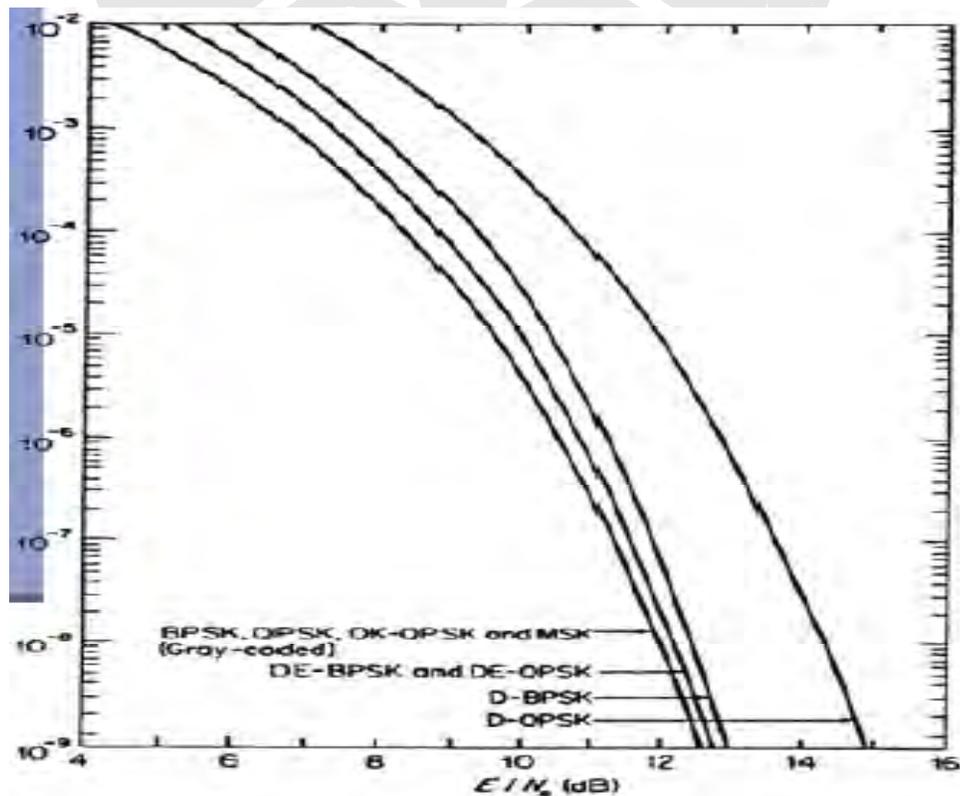
$$P(e) = \frac{1}{2} \operatorname{erfc} \left(\sqrt{\frac{E_b}{N_0}} \right)$$

Dimana :

E_b = Energi per bit (dBW atau Watt)

N_0 = Rapat daya *noise* (dB/Hz atau Watt/Hz)

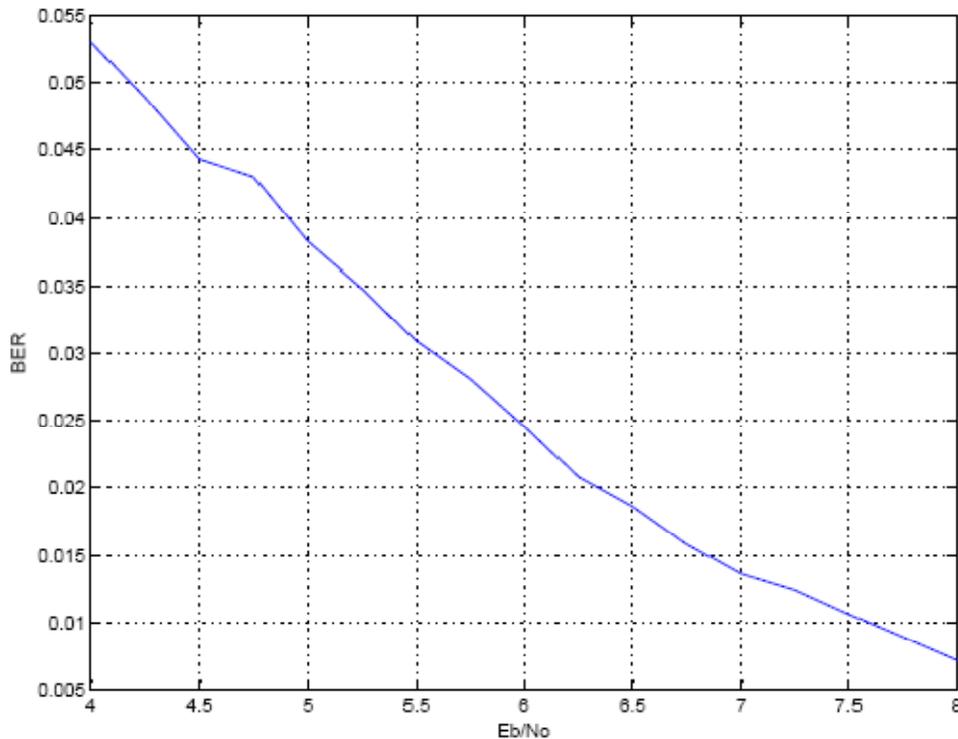
Gambar 4.1 menunjukkan karakteristik dari respons kanal AWGN terhadap proses modulasi digital yang dilakukan pada kanal AWGN, sumbu y mewakili BER pada *receiver* dari sistem modulasi digital yang digunakan, dan sumbu x mewakili E_b / N_0 . Dari Gambar 4.1 dapat dilihat bahwa modulasi digital jenis BPSK, QPSK, OK-QPSK dan MSK memiliki grafik performa BER yang paling baik, sebab modulasi ini memiliki perbandingan nilai E_b / N_0 terhadap BER sistem yang terkecil, artinya dengan nilai E_b / N_0 yang relatif kecil sistem akan memiliki nilai BER yang kecil.



Gambar 4.1 Kurva E_b / N_0 vs BER Kanal AWGN

Untuk Berbagai Jenis Modulasi Digital[12].

Gambar 4.2 menunjukkan grafik dari plot data menggunakan Matlab 7.6 yang merupakan data hasil percobaan dari Kurva E_b / N_0 vs BER Kanal AWGN Hasil Simulasi Modem Koheren BPSK yang dirancang menggunakan simulink Matlab 7.6. Gambar 4.2 berfungsi sebagai data pembandingan sistem modulasi Koheren BPSK yang dirancang dengan data referensi yang diwakili oleh Gambar 4.1. Tujuan utama dari proses perbandingan data yang diperoleh dari hasil simulasi dengan data referensi adalah untuk mengetahui apakah performa sistem modulasi Koheren BPSK yang dirancang memiliki performa yang baik atau tidak, sebab pada sistem DSSS Koheren BPSK yang dirancang, performa sistem modulasi Koheren BPSK sangat mempengaruhi keseluruhan performa sistem didalam proses transmisi data.



Gambar 4.2 Kurva E_b / N_0 vs BER Kanal AWGN Hasil Simulasi Modem Koheren BPSK (untuk transmisi 10000 bit).

Tabel 4.1 menunjukkan data hasil percobaan untuk mengetahui performa simulasi Modem Koheren BPSK untuk transmisi 10000 bit yang diplot pada simulink Matlab 7.6.

Proses pengambilan data berdasarkan transmisi 10000 bit dilakukan dengan alasan bahwa pada Gambar 4.1 yang menunjukkan performa Koheren BPSK sebagai referensi yang digunakan, performa modulasi Koheren BPSK pada E_b / N_0 8dB nilai BER yang diperoleh 0,0001 dengan demikian proses pengambilan data yang dilakukan dengan cara melakukan transmisi sebanyak 10000 bit, jumlah sampel yang digunakan sudah memenuhi kriteria pengolahan data secara statistik. Prinsip yang sama juga digunakan pada proses analisa dibagian sub bab 4.2 dan 4.3.

Dari data pada Tabel 4.1 dapat dilihat bahwa sistem *modulator* dan *demodulator* Koheren BPSK yang dirancang memiliki persentase error data terhadap data referensi terbesar pada nilai E_b / N_0 bernilai 3,2% untuk nilai E_b / N_0 sebesar 4,75dB. Sistem *modulator* dan *demodulator* Koheren BPSK juga memiliki kecenderungan persentase sekitar 3% untuk nilai E_b / N_0 antara 4dB dan 5dB serta persentase error yang menurun untuk adanya kenaikan nilai E_b / N_0 dimulainya diatas nilai 5dB. Hal ini menunjukkan bahwa sistem yang dirancang memiliki performa yang lebih baik untuk nilai E_b / N_0 yang semakin besar.

Tabel 4.1 Perbandingan Performa hasil simulasi Modem Koheren BPSK dengan data referensi (untuk transmisi 10000 bit).

E_b/N₀	BER (Ref)	BER (Simulasi)	Toleransi (%)
4,00	0,0234	0,0530	2,96
4,25	0,0178	0,0488	3,10
4,50	0,0135	0,0443	3,08
4,75	0,0103	0,0430	3,27
5,00	0,0078	0,0382	3,04
5,25	0,0060	0,0348	2,88
5,50	0,0046	0,0309	2,63
5,75	0,0035	0,0281	2,46
6,00	0,0027	0,0246	2,19
6,25	0,0020	0,0208	1,88
6,50	0,0016	0,0186	1,70
6,75	0,0012	0,0158	1,46
7,00	0,0009	0,0136	1,27
7,25	0,0007	0,0124	1,17
7,50	0,0005	0,0106	1,01
7,75	0,0004	0,0089	0,85
8,00	0,0003	0,0072	0,69

Secara total sistem modulator dan demodulator Koheren BPSK yang dirancang dengan menggunakan simulink Matlab 7.6 memiliki rata-rata persentase error 1,85% atau akan mendekati nilai sebesar 2% bila sampel data yang digunakan lebih banyak, yang tergolong kecil untuk suatu sistem yang dirancang. Hasil analisis menunjukkan sistem ini dapat dipakai untuk *modulator* dan *demodulator* sinyal secara Koheren BPSK untuk sistem DSSS Koheren BPSK karena memiliki rata-rata error yang kecil.

4.2 Analisis Performa DSSS Koheren BPSK

Proses analisis terhadap cara kerja sistem simulasi DSSS Koheren BPSK yang dirancang dengan simulink Matlab 7.6 terbagi menjadi dua bagian utama yaitu analisis data hasil percobaan dan parameter-parameter simulasi terhadap kualitas dan keamanan data yang dikirim.

Analisis performa sistem simulasi DSSS Koheren BPSK terhadap variasi inisialisasi nilai *generator polynomial* dari *blokset PN Sequence Generator* mengacu pada data hasil simulasi dari Tabel 4.2.

Tabel 4.2 Perbandingan data hasil simulasi DSSS Koheren BPSK dengan data referensi (untuk transmisi 10000 bit).

Eb/No	BER (Ref)	BER (1)	BER (2)	BER (3)	BER (4)	BER (5)
4,0	0,0234	0,0500	0,0475	0,0475	0,0475	0,0475
4,5	0,0135	0,0450	0,0425	0,0425	0,0425	0,0450
5,0	0,0078	0,0350	0,0325	0,0350	0,0275	0,0275
5,5	0,0046	0,0350	0,0325	0,0275	0,0200	0,0200
6,0	0,0027	0,0200	0,0175	0,0175	0,0175	0,0175
6,5	0,0016	0,0125	0,0125	0,0125	0,0125	0,0125
7,0	0,0009	0,0125	0,0100	0,0100	0,0100	0,0100
7,5	0,0005	0,0100	0,0090	0,0090	0,0090	0,0090
8,0	0,0003	0,0050	0,0050	0,0050	0,0050	0,0050

- Keterangan :
- (1) [1 0 0 0 0 0 0 0 0 1]
 - (2) [1 0 0 1 0 0 1 1 0 0 1 0 0 1 1]
 - (3) [1 0 0 1 0 0 1 1 0 0 1 0 0 1 1 0 0 1 1 1]
 - (4) [1 0 0 1 0 0 1 1 0 0 1 0 0 1 1 0 0 1 1 1 0 0 0 0 1]
 - (5) [1 0 0 1 0 0 1 1 0 0 1 0 0 1 1 0 0 1 1 1 0 0 0 0 1 0 0 1 0 1]

Tabel 4.2 menunjukkan data hasil percobaan untuk mengetahui performa simulasi Modem Koheren BPSK untuk transmisi 10000 bit pada simulink Matlab 7.6. Dari data hasil simulasi DSSS Koheren BPSK pada Tabel 4.2 yang diperoleh diketahui bahwa nilai BER sistem memiliki kecenderungan lebih kecil untuk nilai E_b / N_0 yang semakin besar, hal ini menunjukkan karakteristik sistem DSSS Koheren BPSK yang dirancang sesuai dengan karakteristik dari data referensi pada Gambar 4.1.

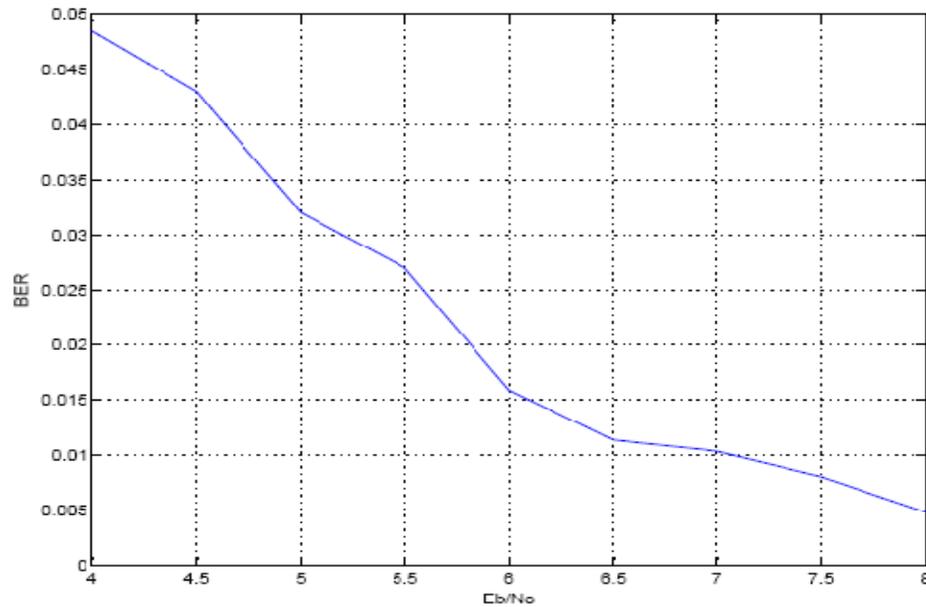
Performa sistem DSSS Koheren BPSK yang dirancang menunjukkan kecenderungan semakin baik untuk nilai inisialisasi *generator polynomial* yang semakin panjang, selain itu performa sistem yang paling baik diperoleh untuk inisialisasi *generator polynomial* yang paling panjang yaitu pada nilai inisialisasi [1 0 0 1 0 0 1 1 0 0 1 0 0 1 1 1 0 0 0 0 1 0 0 1 0 1] dimana secara teori bahwa semakin panjang nilai inisialisasi semakin sedikit terjadi periode pengulangan urutan bit yang terjadi yang akan mengurangi error yang terjadi pada saat proses *despreading* di *receiver*.

Tabel 4.3 Perbandingan data rata-rata hasil simulasi DSSS Koheren BPSK dengan data referensi (untuk transmisi 10000 bit).

E_b/N₀	BER (Ref)	BER (Rata-2)	Toleransi (%)
4,0	0,0234	0,0480	2,46
4,5	0,0135	0,0435	3,00
5,0	0,0078	0,0315	2,37
5,5	0,0046	0,0270	2,40
6,0	0,0027	0,0180	1,57
6,5	0,0016	0,0125	1,09
7,0	0,0009	0,0105	0,90
7,5	0,0005	0,0092	0,87
8,0	0,0003	0,005	0,47

Tabel 4.3 menunjukkan rata-rata data hasil percobaan yang diperoleh dengan cara mencari rata-rata nilai hasil dari 5 variasi percobaan yang dilakukan untuk setiap nilai E_b / N_0 yang sama, dengan demikian secara sederhana keseluruhan performa sistem DSSS Koheren BPSK untuk setiap variasi percobaan yang dilakukan dapat diwakili oleh data pada Tabel 4.3.

Secara total data hasil percobaan yang diperoleh yang ditunjukkan oleh Tabel 4.3 memiliki rata-rata persentase error 1,7% untuk keseluruhan 5 variasi yang nilai *generator polynomial* dari *blokset PN Sequence Generator* dilakukan. Hasil analisis menunjukkan perubahan panjang dan inisialisasi nilai *generator polynomial* DSSS Koheren BPSK tidak merusak performa keseluruhan sistem DSSS Koheren BPSK.



Gambar 4.3 Kurva E_b / N_0 vs BER Kanal AWGN dari rata-rata hasil simulasi DSSS Koheren BPSK pada Tabel 4.2.

Gambar 4.3 menunjukkan kurva E_b / N_0 vs BER kanal AWGN dari rata-rata hasil simulasi DSSS Koheren BPSK pada Tabel 4.3 yang diplot pada simulink Matlab 7.6. Dari data pada Gambar 4.3 dan membandingkan dengan data pada Gambar 4.2 dapat dilihat bahwa penggunaan *modulator* dan *demodulator* koheren BPSK untuk sistem DSSS Koheren BPSK akan menghasilkan performa sistem yang hampir menyerupai performa sistem modem Koheren BPSK, dengan kata lain melakukan proses implementasi sistem *direct sequence spread spectrum* pada suatu modulasi digital tidak merubah atau merusak performa sistem modulasi digital tersebut. Hasil analisis menunjukkan sistem *direct sequence spread spectrum* tidak mengurangi performa sistem modulasi digital.

Analisis performa sistem simulasi DSSS Koheren BPSK terhadap perubahan inialisasi nilai *initial states* dari *blokset PN Sequence Generator* [1 0 0 1 0 0 1 1 0 0 1 0 0 1 1 0 0 1 1 1] mengacu pada data hasil simulasi dari Tabel 4.3 dan data pada Tabel 4.4 yang menunjukkan data hasil percobaan untuk simulasi DSSS Koheren BPSK dengan memberikan variasi initial states untuk transmisi 10000 bit pada simulink Matlab 7.6.

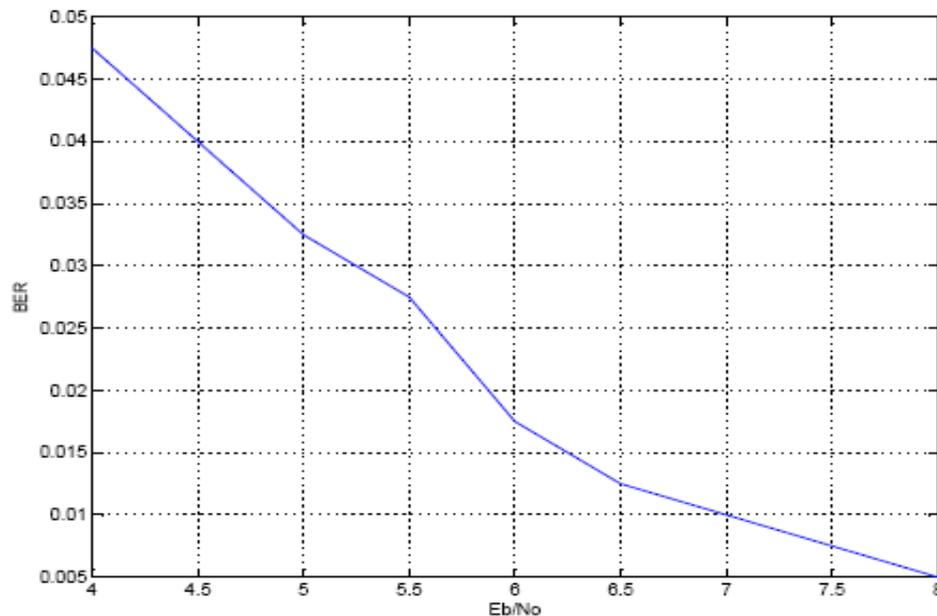
Tabel 4.4 Data hasil simulasi DSSS Koheren BPSK untuk variasi initial states (untuk transmisi 10000 bit).

Eb/No	BER (a)	BER (b)	BER (c)	BER (d)	BER (e)	Ber (Rata-2)
4,0	0,0475	0,0500	0,0475	0,0475	0,0500	0,0485
4,5	0,0450	0,0450	0,0450	0,0450	0,0475	0,0455
5,0	0,0350	0,0350	0,0350	0,0375	0,0375	0,0360
5,5	0,0275	0,0300	0,2750	0,2750	0,0300	0,0285
6,0	0,0175	0,0175	0,0175	0,0175	0,0200	0,0180
6,5	0,0125	0,0125	0,0125	0,0125	0,0125	0,0125
7,0	0,0100	0,0100	0,0100	0,0100	0,0100	0,0100
7,5	0,0075	0,0075	0,0075	0,0075	0,0075	0,0075
8,0	0,0050	0,0050	0,0050	0,0050	0,0050	0,0050

Keterangan : (a) [1 0 0 0 0 1 1 0 1 1 0 1 0 1 0 0 0 0 0 1]
 (b) [1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1]
 (c) [0]
 (d) [1]
 (e) [1 0 1 0 1 0 1 0 1 0 1 0 1 0 1 0 1 0 1 0]

Tabel 4.4 menunjukkan data hasil percobaan untuk mengetahui performa simulasi Modem Koheren BPSK untuk transmisi 10000 bit pada simulink Matlab 7.6. Kolom BER (rata-2) menunjukkan rata-rata data hasil percobaan yang diperoleh dengan cara mencari rata-rata nilai hasil dari 5 variasi percobaan yang dilakukan untuk setiap nilai E_b/N_0 yang sama, dengan demikian secara sederhana keseluruhan performa sistem DSSS Koheren BPSK untuk setiap variasi percobaan yang ada pada Tabel 4.4 dapat diwakili oleh data pada kolom BER (rata-2).

Dari data yang diperoleh diketahui bahwa nilai BER sistem relatif tidak berubah untuk setiap variasi nilai *initial states*, hal ini menunjukkan karakteristik sistem DSSS Koheren BPSK yang dirancang sesuai dengan karakteristik dari referensi yaitu performa sistem *direct sequence spread spectrum* tidak akan berubah jika variasi yang terjadi hanya pada *initial states* dari *PN Sequence Generator* yang digunakan. Secara total data hasil percobaan yang diperoleh memiliki rata-rata persentase error 0,05% terhadap performa sistem DSSS BPSK pada Tabel 4.3. Hasil analisis menunjukkan perubahan inisialisasi nilai *initial states* dari *generator polynomial PN Sequence Generator* tidak merusak performa keseluruhan sistem DSSS Koheren BPSK



Gambar 4.4 Kurva E_b / N_0 vs BER Kanal AWGN dari rata-rata hasil simulasi DSSS Koheren BPSK pada Tabel 4.3.

Gambar 4.4 menunjukkan kurva E_b / N_0 vs BER kanal AWGN dari rata-rata hasil simulasi DSSS Koheren BPSK pada Tabel 4.4 yang diplot pada simulink Matlab 7.6. Dari data pada Gambar 4.4 dan membandingkan dengan data pada Gambar 4.4 dan Gambar 4.3 serta Gambar 4.2 dapat dilihat bahwa setiap variasi nilai *initial states* sistem DSSS Koheren BPSK akan menghasilkan performa sistem yang hampir menyerupai performa sistem modem Koheren BPSK dan performa untuk variasi perubahan panjang dan inisialisasi nilai

generator polynomial DSSS Koheren BPSK serta variasi nilai *initial states*. Hasil analisis menunjukkan bahwa setiap variasi pada *PN sequence generator* hanya memberikan pengaruh yang sangat sedikit terhadap performa keseluruhan sistem DSSS Koheren BPSK.

4.3 Analisis Keamanan Sistem DSSS Koheren BPSK

Analisis terhadap sistem keamanan dari sistem simulasi DSSS Koheren BPSK yang dirancang dengan simulink Matlab 7.6 dilakukan berdasarkan data dari Tabel 4.1 dan table 4.2 yang menunjukkan bahwa dengan adanya variasi dari parameter inisialisasi nilai *initial states* dan inisialisasi nilai *generator polynomial* dari *PN Sequence Generator*, sistem DSSS Koheren BPSK yang dibuat memiliki performa yang baik dengan persentase error yang rendah sebesar 2,1 %. Proses analisis keamanan sistem terhadap *jammer* pada sinyal transmisi memberikan hasil :

1. Untuk setiap variasi panjang digit dari inisialisasi nilai *generator polynomial* *PN Sequence Generator* yang ditetapkan, jumlah kombinasi sistem yang harus dilakukan oleh *jammer* adalah :

$$X = 2^{(n)}$$

Dimana :

n = panjang digit dari inisialisasi nilai *generator polynomial*.

5 = merupakan jumlah dari panjang minimum dari inisialisasi *generator polynomial* yang dapat ditetapkan ditambah ketentuan bahwa digit terakhir dari inisialisasi nilai *generator polynomial* harus bernilai "1".

2. Untuk setiap variasi panjang digit dari inisialisasi nilai *initial states* *PN Sequence Generator* yang ditetapkan, jumlah kombinasi sistem yang harus dilakukan oleh *jammer* adalah :

$$Y = 2^{m_1}$$

Dimana :

m_1 = panjang digit dari inisialisasi nilai *initial states* ($m_1 = n - 1$).

3. Untuk setiap variasi panjang digit dari inisialisasi nilai *generator polynomial* PN Sequence Generator dan nilai *initial states* PN Sequence Generator yang ditetapkan, jumlah kombinasi sistem yang harus dilakukan oleh *jammer* adalah :

$$Z = 2^{(n)} \times 2^{n-1} = 2^{2n-1}$$

Sebagai contoh untuk inisialisasi nilai *generator polynomial* PN sequence generator [1 0 0 1 0 0 1 1 0 0 1 0 0 1 1 0 0 1 1 1 0 0 0 0 1] yang memiliki panjang digit 25 dengan nilai *initial states* sepanjang 24 digit yang tidak berubah (tidak divariasikan) seorang *jammer* harus mencari kombinasi sebanyak 2^{24} atau sebanyak 16.777.216 dari variasi yang dapat dilakukan. Sedangkan untuk inisialisasi nilai *generator polynomial* PN sequence generator [1 0 0 1 0 0 1 1 0 0 1 0 0 1 1 0 0 1 1 1 0 0 0 0 1] yang memiliki panjang digit 25 dengan nilai *initial states* sepanjang 24 digit yang berubah (divariasikan) seorang *jammer* harus mencari kombinasi sebanyak $2^{20} \times 2^{24}$ atau sebanyak 17.592.186.040.000 dari variasi yang dapat dilakukan.

Hasil analisis menunjukkan bahwa dengan semakin memperpanjang rangkaian urutan *shift register* pada *generator polynomial* dari PN Sequence Generator yang digunakan pada sistem DSSS Koheren BPSK akan semakin meningkatkan keamanan sistem.

BAB V

KESIMPULAN

1. Sistem *modulator* dan *demodulator* sinyal Koheren BPSK baik digunakan untuk sistem DSSS Koheren BPSK karena memiliki rata-rata error yang kecil.
2. Sistem *direct sequence spread spectrum* tidak mengurangi performa sistem modulasi digital.
3. Perubahan inisialisasi nilai *Generator polynomial* DSSS Koheren BPSK tidak merusak performa keseluruhan sistem DSSS Koheren BPSK.
4. Memperpanjang rangkaian urutan *shift register* pada *generator polynomial* dari *PN Sequence Generator* yang digunakan pada sistem DSSS Koheren BPSK akan semakin meningkatkan keamanan sistem.

DAFTAR ACUAN

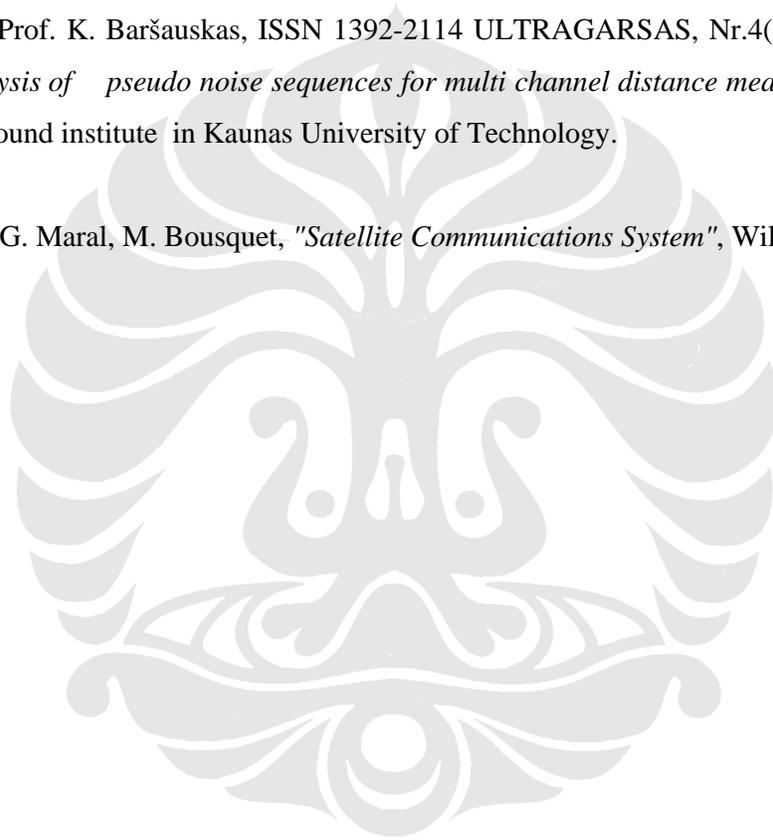
- [1] Dimitrios Antsos, "*Mars Technology Program Communications and Tracking Technologies for Mars Exploration*", Jet Propulsion Laboratory California Institute of Technology, 4800 Oak Grove Drive Pasadena, CA 91109.
- [2] Stephen Burd, "*System Architecture*", chapter 8 (*Data and Network Communication Technology*), Thompson Course of Technology (2004).
- [3] Samuel C. Yang, "*CDMA RF System Engineering*", Artech House, (1998).
- [4] Intuitive Guide to Principles of Communications, "*Carrier Modulation Methods ASK-PSK-FSK*", diakses tanggal 1 Maret 2008 <http://www.complextoreal.com>.
- [5] Muhammad Arief Nograho, "*Simulasi Kinerja Kanal AWGN dan Kanal Fading Pada Komunikasi Jaringan Wireless*", hal 103.
- [6] Maxim Dallas "*An Introduction to Direct-Sequence Spread-Spectrum Communications*", application Note 1890: Feb 18, (2003).
- [7] Nonot Harsono, "*Bab 3: Dasar-dasar Komunikasi Radio (wireless)*".
- [8] Modul CDMA Planning, Proficiency Level 5 : Planning and Design, Bab 1 Network Planning, hal 67.
- [9] John Fakatselis, "*Processing Gain for Direct Sequence Spread Spectrum Communication Systems and PRISM*", Application Note, 12 Agustus 1996.

[10] Pavel Nikitin, Erik Normark, Cherry Wakayama, and Richard Shi, "*VHDL-AMS modeling and simulation of BPSK transceiver system University of Washington*", Department of Electrical Engineering, Seattle, WA 98195-2500, USA.

[11] Rahmad Fauzi, ST, MT, "*Makalah Tentang Spread Spectrum*", Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Sumatera Utara.

[12] Prof. K. Baršauskas, ISSN 1392-2114 ULTRAGARSAS, Nr.4(37). (2000), "*Analysis of pseudo noise sequences for multi channel distance measurements*", ultrasound institute in Kaunas University of Technology.

[13] G. Maral, M. Bousquet, "*Satellite Communications System*", Wiley, (2002).



DAFTAR PUSTAKA

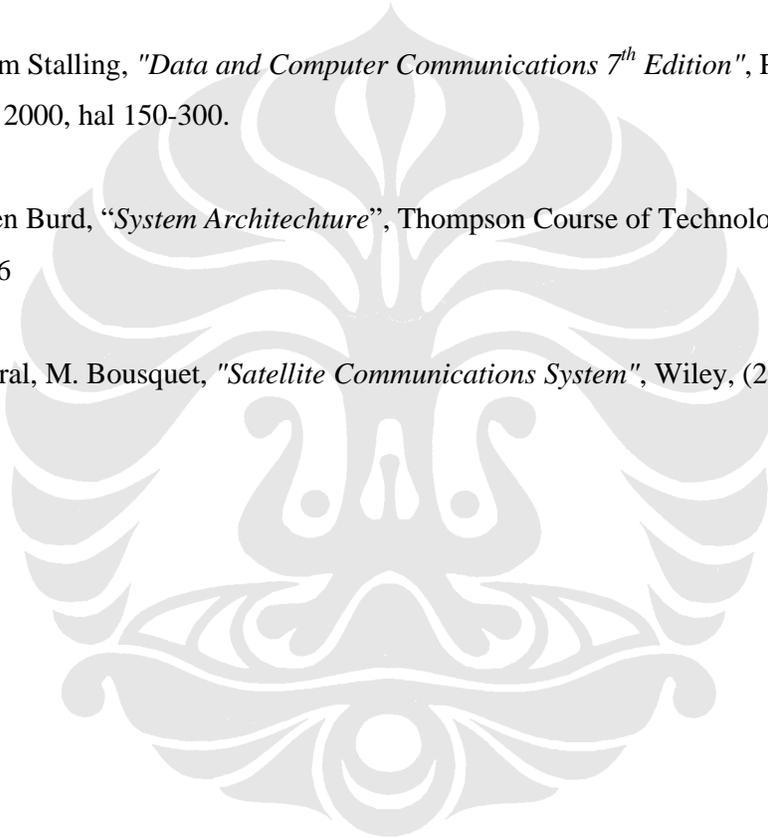
Simon Haykin, "*Communication Systems 3rd Edition*", John Wiley & Sons, (1994), hal 230-369.

Theodore S. Rapaport, "*Wireless Communications Principles and Practice 2nd Edition*", (New York: Prentice Hall Int, 2002), hal 100-189.

William Stallng, "*Data and Computer Communications 7th Edition*", Prentice Hall, 2000, hal 150-300.

Stephen Burd, "*System Architecture*", Thompson Course of Technology, (2004), hal 56

G. Maral, M. Bousquet, "*Satellite Communications System*", Wiley, (2002)



LAMPIRAN

Source Code Simulasi Kanal AWGN

```
% Menghilangkan isi memori dan membersihkan gambar pada Matlab
clear all;      % Membersihkan isi memori
clf;           % Membersihkan gambar

% Variabel N merupakan jumlah dari bit. Dipilih dari N = 1000000 untuk

% Eb/No 8 db BERnya akan mendekati 0,00001 sehingga memenuhi N >
1/BER
N=1000000;

% Variabel n merupakan jumlah pengurangan Monte Carlo sebanyak 5
kali
n=5;

% Nilai Eb/No yang dipakai 0,2,4,6, dan 8 dB EbNO = [ 0 2 4 6 8 ]
EbNo=[0:2:8];

% Dilakukan setiap perhitungan untuk setiap nilai Eb/No yang diukur
energinya

for i=1:length(EbNo)

    % Inisialisasi BER awal
    BER(i)=0;

    % Memulai metode Monte Carlo untuk n kali pengulangan
    for j=1:n
        ber(1,j)=0;

        % Membangkitkan data binari bipolar sebanyak N buah
        data=sign(randn(N,1));

        % Membangkitkan noise AWGN
```

```

noise=1/sqrt(10^(EbNo(i)/10)*2);

% Data hasil yang diterima oleh receiver
hasil=sign(data);

% Menghitung jumlah bit yang salah dengan fungsi symerr ( )
% ber = jumlah bit yang salah / jumlah total bit
ber(i,j)=symerr(data,hasil)./(N);

% Menghitung BER total untuk tiap Eb/No yang berbeda
BER(i)=BER(i)+ber(i,j);

% Membuat plot Eb/No untuk tiap Eb/No
semilogy(EbNo(i),ber(i,j));
hold on;
end

%  $Q(z) = 0.5 \cdot \text{erfc}(z/\sqrt{2})$ 
% untuk  $z = \sqrt{Eb/No}$  diperoleh  $BER = Q(\sqrt{Eb/No}) = 0.5 \cdot \text{erfc}(\sqrt{Eb/No})$ 
Pe(i) = 0.5*erfc(sqrt(10.^(EbNo(i)/10)));
end

% Membuat kurva BER terhadap Eb/No
x=[0:0.01:10];
Q=0.5.*erfc(sqrt(10.^(x./10)));
semilogy(x,Q,'r');
grid on;

% Memberi label pada kurva
title('Eb/No vs BER pada kanal AWGN');
xlabel('Eb/No (db)');
ylabel('BER');

```

% Perbandingan teori dengan simulasi, BER merupakan rata-rata hasil simulasi

% Hasil yang ditunjukkan akan menyerupai hasil teori $BER = BER/n$ dan Pe

