

**ADAPTIVE CODED MODULATION (ACM) MENGGUNAKAN
KODE REED SOLOMON-CONVOLUTIONAL DAN
MODULASI DIGITAL PADA WIMAX**

SKRIPSI

Diajukan untuk memenuhi sebagian persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik



Disusun Oleh:

PRAYOGI S. GAMAWIJAYA

NIM. 0610632028 - 63

KEMENTERIAN PENDIDIKAN NASIONAL

UNIVERSITAS BRAWIJAYA

FAKULTAS TEKNIK

MALANG

2010

**ADAPTIVE CODED MODULATION (ACM) MENGGUNAKAN
KODE REED SOLOMON-CONVOLUTIONAL DAN
MODULASI DIGITAL PADA WIMAX**

SKRIPSI

Diajukan untuk memenuhi sebagian persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik



Disusun Oleh:

PRAYOGI S. GAMAWIJAYA

NIM. 0610632028 - 63

Telah diperiksa dan disetujui oleh :

DOSEN PEMBIMBING

Ali Mustofa, ST, MT
NIP. 19710601 200003 1 001

Dwi Fadila Kurniawan, ST., MT
NIP. 19720630 200003 1 002

**ADAPTIVE CODED MODULATION (ACM) MENGGUNAKAN
KODE REED SOLOMON-CONVOLUTIONAL DAN
MODULASI DIGITAL PADA WIMAX**

Disusun oleh:

PRAYOGI S. GAMAWIJAYA

NIM. 0610632028 - 63

Skripsi ini telah diuji dan dinyatakan lulus pada
tanggal 29 Juli 2010

Majelis Penguji:

Ir. Endah Budi P., MT.
NIP. 19621116 198903 2 002

Ir. Wahyu Adi Priyono, MSc.
NIP. 19600518 198802 1 001

Rusmi Ambarwati, ST., MT.
NIP. 19720204 200003 2 002

Mengetahui:
Ketua Jurusan Teknik Elektro

Rudy Yuwono, ST., M.Sc
NIP. 19710615 199802 1 003

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah, segenap puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT. yang telah melimpahkan rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi dengan judul ”*Adaptive Coded Modulation (ACM) Menggunakan Kode Reed Solomon-Convolutional dan Modulasi Digital pada WIMAX*” yang diajukan untuk memenuhi sebagian persyaratan memperoleh gelar Sarjana Teknik.

Penulis ingin mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada berbagai pihak yang telah membantu dan mendukung dalam penyelesaian skripsi ini, yaitu seluruh keluarga dan kerabat penulis atas doa dan dukungannya, seluruh jajaran dosen dan karyawan Universitas Brawijaya khususnya Teknik Elektro atas bimbingan dan bantuannya, serta seluruh rekan-rekan Teknik Elektro atas segala dukungannya.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih memiliki kekurangan sehingga saran dan kritik membangun sangat penulis harapkan. Akhirnya, semoga skripsi ini bermanfaat untuk kita semua, khususnya Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.



Malang, Juli 2010

Penulis

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	i
DAFTAR ISI	ii
DAFTAR TABEL	iv
DAFTAR GAMBAR	v
ABSTRAK	vii
BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Ruang Lingkup	2
1.4 Tujuan	2
1.5 Sistematika Penulisan	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 WIMAX	4
2.1.1 Deskripsi Umum WiMAX	4
2.1.2 Fitur pada WiMAX	5
2.1.3 OFDM	6
2.1.4 MIMO	7
2.1.5 Modulasi Adaptif	8
2.1.6 FEC (Foward Error Control)	8
2.2 Pengkodean dan Modulasi	9
2.2.1 Pengkodean Kanal	9
2.2.1.1 Kode <i>Reed Solomon</i>	11
2.2.1.2 Kode Konvolusional	12
2.2.2 Modulasi	14
2.2.2.1 BPSK (<i>Binary Phase Shift Keying</i>)	14
2.2.2.2 QPSK (<i>Quadrature Phase Shift Keying</i>)	14
2.2.2.3 QAM (<i>Quadrature Amplitude Modulation</i>)	15



BAB III METODOLOGI

3.1 Pengambilan Data 17

3.2 Pemodelan Sistem 18

3.3 Perhitungan dan Analisa Data..... 22

 3.3.1 Pengkodean Reed Solomon..... 22

 3.3.2 Pengkodean Konvolusi..... 22

 3.3.3 Convolution Coding..... 22

 3.3.4 *Noise* AWGN 24

 3.3.5 Dekode Konvolusi..... 24

 3.3.6 Dekode Reed Solomon..... 24

 3.3.7 *Bit Error Rate* (BER) 26

3.4 Conclusion 26

BAB IV HASIL SIMULASI DAN PEMBAHASAN

4.1 Pembangkitan Data 27

4.2 Enkode Reed-Solomon..... 28

4.3 Enkode Konvolusi 30

4.4 Modulasi 33

4.5 *Noise* AWGN 35

4.6 Demodulasi 36

4.7 Dekode Konvolusional 37

4.8 Dekode *Reed-Solomon* 38

4.9 Perhitungan BER 39

 4.9.1 Analisis BER dan *Eb/No* terhadap Pengaruh Pengkodean 41

 4.9.2 Analisis BER terhadap Pengaruh Modulasi 46

 4.9.3 *Coding Gain* terhadap Pengaruh Modulasi dan Pengkodean 51

BAB V PENUTUP

5.1 Kesimpulan 52

5.2 Saran 53

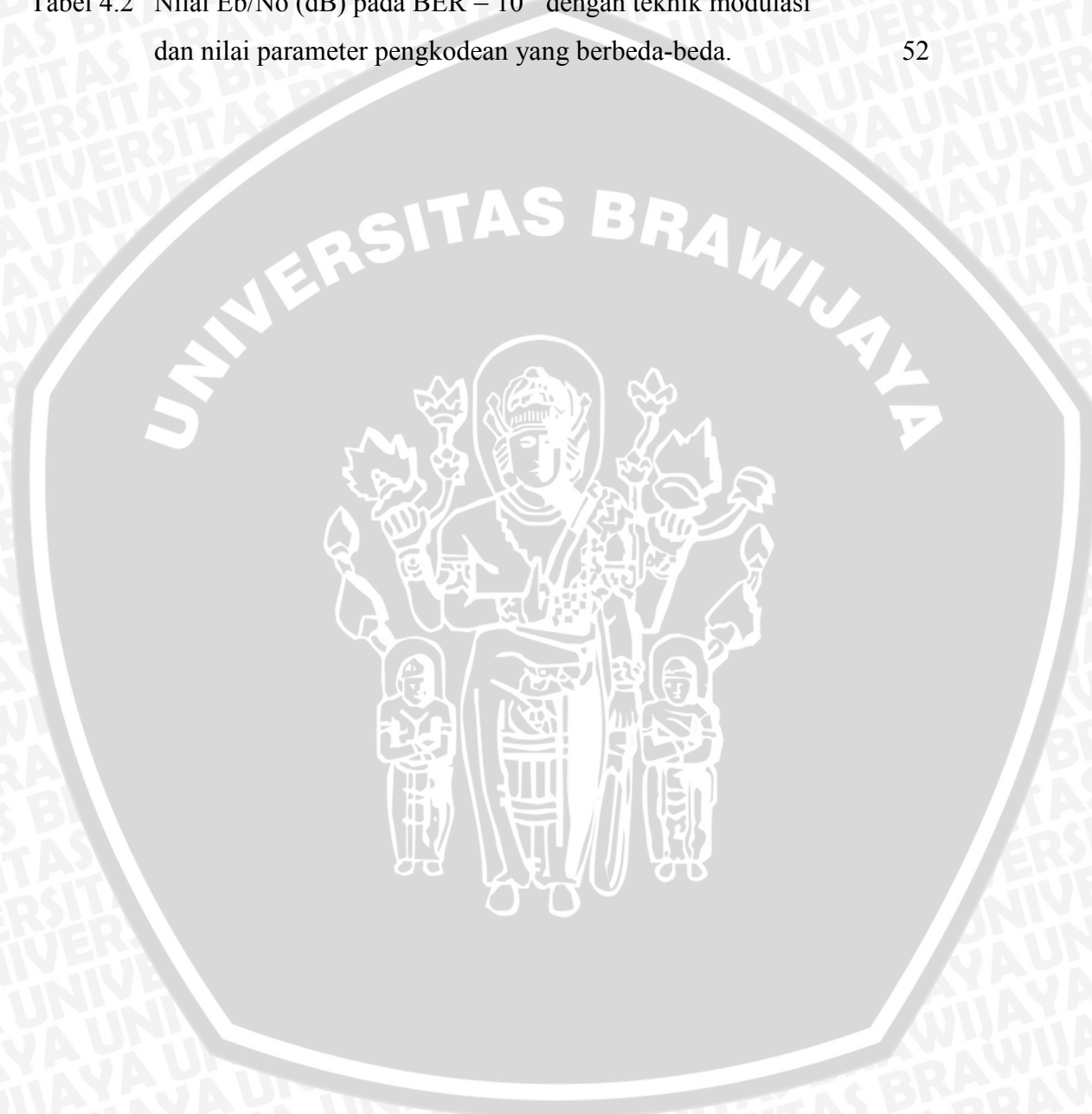
DAFTAR PUSTAKA 42

LAMPIRAN 43



DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Standar Parameter WiMAX	5
Tabel 4.1	Nilai BER pada $E_b/N_0 = 0.0010$ dB dengan Parameter Modulasi BPSK; Pengkodean Reed Solomon [63,47,8]	39
Tabel 4.2	Nilai E_b/N_0 (dB) pada $BER = 10^{-3}$ dengan teknik modulasi dan nilai parameter pengkodean yang berbeda-beda.	52



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Blok Diagram WiMAX	5
Gambar 2.2 Blok Diagram Sistem OFDM	6
Gambar 2.3 Multiplexing OFDMA	6
Gambar 2.4. Multiplexing OFDM-TDMA	7
Gambar 2.5 Multiplexing OFDM-CDMA	7
Gambar 2.6 Sistem MIMO	8
Gambar 2.7 Blok Diagram ACM pada WiMAX	10
Gambar 2.8 Peta Skematik Modulasi	10
Gambar 2.9 Data Reed Solomon	12
Gambar 3.1 Model Sistem pengkodeaan Reed-Solomon - Konvolusional	18
Gambar 3.2 Diagram Alir Proses ACM tanpa menggunakan Pengkodeaan	19
Gambar 3.3 Diagram Alir Proses ACM menggunakan Pengkodeaan Reed-Solomon dan Konvolusional	21
Gambar 3.4 Alir pembangkitan data acak	22
Gambar 3.5 Diagram Alir Pengkodean Reed Solomon	23
Gambar 3.6 Diagram Alir Pengkodean Konvolusi	23
Gambar 3.7 Diagram Alir Pembangkitan Noise AWGN	24
Gambar 3.8 Diagram Alir Dekode Konvolusi	25
Gambar 3.9 Diagram Alir Dekode Reed Solomon	25
Gambar 3.10 Diagram Alir Perhitungan BER	26
Gambar 4.1 Tampilan sinyal data acak ke-1 hingga data ke-80	27
Gambar 4.2 Diagram Blok Proses Enkode Reed Solomon	28
Gambar 4.3 Tampilan sinyal data hasil encode <i>Reed Solomon</i>	30
Gambar 4.4 Diagram Blok Proses Enkode Konvolusi	31
Gambar 4.5 Diagram enkoder Konvolusi untuk nilai parameter $k=3, n=2, m=2$.	31
Gambar 4.6 Tampilan sinyal data ke-1 hingga data ke-192 dengan kode Konvolusional	33
Gambar 4.7 Hubungan bit dan fasa pada modulasi BPSK	34
Gambar 4.8 Diagram Blok Proses Modulasi BPSK	34
Gambar 4.9 Plot Data Termodulasi BPSK	35
Gambar 4.10 Plot Data <i>Noise</i> AWGN	36

Gambar 4.11 Sinyal termodulasi BPSK yang telah ditambahkan <i>Noise</i> AWGN	37
Gambar 4.12 Tampilan sinyal data ke-1 hingga data ke-192 dengan kode Konvolusional	38
Gambar 4.13 Tampilan sinyal data ke-1 hingga data ke-192 dengan kode <i>Reed Solomon</i>	38
Gambar 4.14 Grafik hubungan antara nilai BER dan $E_b/N_0 = 0.0010$ dB dengan Parameter Modulasi BPSK; Pengkodean Reed Solomon [63,47,8]	41
Gambar 4.15 Grafik Hasil Simulasi parameter <i>Reed-Solomon</i> [63,47] (a.), [127,111] (b.), [191,175] (c.), [255,239] (d.) berdasarkan modulasi BPSK	29
Gambar 4.16 Grafik Hasil Simulasi parameter <i>Reed-Solomon</i> [63,47] (a.), [127,111] (b.), [191,175] (c.), [255,239] (d.) berdasarkan modulasi QPSK	30
Gambar 4.17 Grafik Hasil Simulasi parameter <i>Reed-Solomon</i> [63,47] (a.), [127,111] (b.), [191,175] (c.), [255,239] (d.) berdasarkan modulasi 16QAM	31
Gambar 4.18 Grafik Hasil Simulasi parameter <i>Reed-Solomon</i> [63,47] (a.), [127,111] (b.), [191,175] (c.), [255,239] (d.) berdasarkan modulasi 64QAM	32
Gambar 4.19 Grafik Hasil Simulasi berdasarkan parameter <i>Reed-Solomon</i> [63,47] modulasi BPSK (a.), QPSK (b.), 16-QAM (c.) dan 64-QAM (d.)	34
Gambar 4.20 Grafik Hasil Simulasi berdasarkan parameter <i>Reed-Solomon</i> [127,111] modulasi BPSK, QPSK, 16-QAM dan 64-QAM	35
Gambar 4.21 Grafik Hasil Simulasi berdasarkan parameter <i>Reed-Solomon</i> [191,175] modulasi BPSK, QPSK, 16-QAM dan 64-QAM	36
Gambar 4.22 Grafik Hasil Simulasi berdasarkan parameter <i>Reed-Solomon</i> [255,239] modulasi BPSK, QPSK, 16-QAM dan 64-QAM	37

ABSTRAK

Prayogi Science Gamawijaya, Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, 2010, *Adaptive Coded Modulation (ACM) Menggunakan Kode Reed Solomon-Convolutional dan Modulasi Digital pada WiMAX*, Dosen Pembimbing: Ali Mustofa, ST., MT. dan Dwi Fadila Kurniawan, ST., MT.

Sistem komunikasi *wireless* seperti pada WiMAX merupakan kanal paling rentan dibandingkan kanal-kanal fisik yang lain. Faktor derau, interferensi, dan fading membuat kanal *wireless* lebih sering mengalami kerusakan data. Mekanisme retransmisi memungkinkan pengiriman kembali data yang rusak namun mengurangi kinerja. Teknik ACM meminimalkan retransmisi dengan pengkodean dan juga modulasi adaptif yang digunakan. Penggunaan pengkodean pada sistem komunikasi *wireless* berperan untuk mengurangi retransmisi dengan memberikan bit-bit redundansi (tambahan) sehingga akan meningkatkan kinerja. Pada skripsi ini, pengkodean yang digunakan adalah dengan menggunakan penggabungan kode *Reed Solomon* dan kode Konvolusional.

Parameter kode *Reed Solomon* seperti panjang kode (n), jumlah simbol (k) dan kode Konvolusional seperti *constraint length* (K), *matriks generator* yang mempengaruhi kinerja sistem akan diperlihatkan melalui simulasi komputer menggunakan Matlab. Pemodelan sistem yang dirancang menggunakan satu *transmitter* dan satu *receiver* dimana *noise* yang ditambahkan adalah *noise* AWGN.

Hasil simulasi memperlihatkan bahwa BER mengalami penurunan sehingga komunikasi data dapat berjalan lebih baik. Grafik E_b/N_0 terhadap BER menjadi parameter dari skripsi ini yang memperlihatkan perbandingan dengan pengkodean *Reed Solomon*-Konvolusional dan *uncoded* channel pada kanal AWGN. Untuk nilai BER 10^{-3} didapatkan coding gain sekitar 1,7 - 2,8 dB bergantung pada nilai n dalam pengkodean *Reed Solomon*. Selain itu, hasil simulasi memperlihatkan bahwa nilai E_b/N_0 yang digunakan untuk mendapatkan BER 10^{-4} sekitar 2-5 dB. Hal ini membuktikan bahwa dengan menggunakan pengkodean tersebut, nilai BER yang sama dapat diperoleh dengan nilai E_b/N_0 yang lebih kecil. Selain itu dengan adanya coding gain tersebut, maka prinsip retransmisi akibat data yang rusak dapat ditekan.

Kata Kunci : Wimax, BER, *Reed Solomon coding*, *Convolutional coding*, E_b/N_0 , *Adaptive Coded Modulation*

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Saat ini kebutuhan masyarakat akan informasi sangat tinggi, baik informasi tersebut berupa suara, gambar, maupun video. Dan dengan tingkat mobilitas masyarakat yang tinggi pula, maka diperlukan suatu teknologi telekomunikasi yang sangat handal dan dapat menawarkan berbagai layanan multimedia. Teknologi telekomunikasi tersebut adalah teknologi *Broadband Wireless Access* (BWA), dan teknologi ini menjadi sebuah tren teknologi saat ini maupun masa depan. *Worldwide Interoperability for Microwave Access* atau lebih dikenal dengan WiMAX merupakan salah satu teknologi BWA yang telah dikembangkan.

Teknologi WiMAX yang menggunakan gelombang radio menjadikannya lebih rentan terhadap gangguan seperti derau, interferensi, *multipath*, maupun redaman sinyal yang lain. Prinsip *Adaptive Coded Modulation* (ACM) digunakan untuk mengurangi retransmisi yang terjadi akibat menurunnya *throughput*. Dalam ACM terdapat dua proses yaitu teknik Pengkodean dan Modulasi.

Teknik Pengkodean yang digunakan ada dua macam yaitu kode *Block* dan kode Konvolusi. Skripsi ini nantinya akan menitikberatkan pada gabungan teknik kode *Block* (*Reed-Solomon*) dan kode Konvolusi. Dimana dua pengkodean tersebut merupakan suatu teknik pengkodean pada sistem komunikasi *wireless* seperti pada WiMAX.

Sedangkan teknik Modulasi yang digunakan adalah modulasi digital BPSK, QPSK, 16QAM dan 64 QAM sesuai dengan standar WiMAX 802.16e. Nantinya, skripsi ini akan mengkaji teknik modulasi digital dalam mengatasi masalah yang timbul tersebut. Sehingga dengan teknik modulasi digital ini, parameter dari daya pancar, laju simbol, ukuran konstelasi, perbandingan *Energy Bit to Noise Ratio* (E_b/N_0) terhadap *Bit Error Rate* (BER) dan kombinasi diantara parameter tersebut yang akan diubah mengikuti perilaku kanal. Namun dalam penelitian skripsi ini akan lebih dititikberatkan kepada perhitungan nilai *Energy Bit to Noise Ratio* (E_b/N_0) terhadap BER yang diterima oleh penerima sehingga akan mempengaruhi modulasi yang akan digunakan.

1.2 Rumusan Masalah

Dengan latar belakang yang telah dijelaskan sebelumnya, maka dirumuskan beberapa masalah antara lain:

1. Bagaimana pengaruh metode pengkodean *Reed Solomon*-Konvolusional terhadap performansi WiMAX?
2. Bagaimana pengaruh perbedaan teknik modulasi terhadap performansi pada WiMAX?

1.3 Ruang Lingkup

Berkaitan dengan rumusan masalah yang telah disebutkan sebelumnya, maka pokok bahasan akan dibatasi oleh beberapa hal sebagai berikut:

1. Pada skripsi ini akan membahas gabungan teknik pengkodean *Reed Solomon* dan Konvolusional.
2. Simulasi yang dilakukan dibatasi dengan nilai *code rate* yang sama sebesar 0,5.
3. Teknik modulasi yang akan dibahas menggunakan BPSK, QPSK, 16 QAM dan 64 QAM.
4. Teknik modulasi akan disesuaikan dengan perbandingan nilai E_b/N_0 terhadap BER yang ingin dicapai sebesar 10^{-4} .
5. Data dan *noise* dibangkitkan dengan menggunakan bilangan acak.
6. Kanal yang digunakan adalah kanal ideal.
7. *Noise* yang digunakan adalah *noise Additive White Gaussian Noise* (AWGN).
8. Simulasi pengkodean *Reed Solomon*-Konvolusional menggunakan kombinasi empat parameter *Reed Solomon* terhadap satu parameter Konvolusional.
9. Perancangan model sistem komunikasi dilakukan dengan menggunakan program Matlab 7.5.0 (R2007b).
10. Sistem komunikasi yang dilakukan hanya sebatas sebuah *transmitter* dan sebuah *receiver*.
11. Parameter performansi yang diukur adalah *Bit Error Rate* (BER) terhadap *Energy Bit to Noise Ratio* (E_b/N_0).

1.4 Tujuan

Berdasarkan rumusan masalah yang ada, tujuan dari penulisan skripsi ini adalah:

1. Mempelajari pengkodean dengan menggunakan kode *Reed Solomon*-Konvolusional.

2. Menganalisis pengaruh pengkodean berdasarkan karakteristik parameter yang dimiliki oleh kode *Reed Solomon*-Konvolusional.
3. Mempelajari teknik modulasi digital dari perbandingan EbNo terhadap BER yang digunakan pada WiMAX.
4. Menganalisis penggunaan teknik kode *Reed Solomon*-Konvolusional dan modulasi digital terhadap keuntungan yang diperoleh baik berupa *coding gain* dan juga hasil simulasi.

1.5 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan dan gambaran yang terdapat dalam laporan skripsi ini adalah sebagai berikut :

BAB I Pendahuluan

Berisi latar belakang, rumusan masalah, ruang lingkup, tujuan, dan sistematika penulisan.

BAB II Tinjauan Pustaka

Berisi tentang fitur WiMAX, teori pengkodean kanal khususnya kode *Reed Solomon*-Konvolusional, dan juga modulasi yang digunakan.

BAB III Metodologi

Bab ini berisikan metodologi simulasi yang dilakukan pada skripsi ini.

BAB IV Hasil Simulasi dan Pembahasan

Berisi tentang hasil yang didapatkan dari proses simulasi. Bab ini juga akan memberikan analisis dan pembahasan mengenai hasil simulasi yang didapatkan. Selain itu, perbandingan mekanisme dari teknik kode *Reed Solomon*-Konvolusional terhadap kekurangan yang didapatkan dari hasil simulasi akan dibahas lebih lanjut.

BAB V Penutup

Membahas kesimpulan dan saran tentang skripsi yang telah direncanakan.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 WiMAX

2.1.1 Deskripsi Umum WiMAX

Teknologi WiMAX merupakan teknologi yang dikembangkan berdasarkan standar IEEE 802.16 atau ETSI HiperMAN dimana persyaratan *interoperability* ditentukan oleh suatu badan yang dinamakan WiMAX Forum. Pada WiMAX Forum, dilakukan pembahasan standar-standar yang dikeluarkan untuk teknologi WiMAX. Forum tersebut beranggotakan perusahaan terkemuka yang mempunyai komitmen untuk melakukan open *interoperability* atas semua produk yang dipergunakan dalam BWA (*Broadband Wireless Access*). Dan berdasarkan keputusan forum tersebutlah hadir teknologi yang disepakati bernama WiMAX.

WiMAX merupakan teknologi *broadband* yang memiliki kecepatan akses yang tinggi dan jangkauan yang luas. WiMAX merupakan evolusi dari teknologi BWA sebelumnya dengan fitur-fitur yang lebih menarik. Disamping kecepatan data yang tinggi mampu diberikan, WiMAX juga membawa isu *open* standar. Dalam arti komunikasi perangkat WiMAX diantara beberapa vendor yang berbeda tetap dapat dilakukan. Dengan kecepatan data yang besar (sampai 70 MBps), WiMAX layak diaplikasikan untuk '*last mile*' *broadband connections*, *backhaul*, dan *high speed enterprise*.

Oleh karena itu, WiMAX mempunyai sifat *interoperability* diantara pabrikan dimana perusahaan terkemuka tersebut bergabung didalam satu forum. Teknologi yang ditawarkan oleh WiMAX mempunyai koneksi *broadband* pada jangkauan yang jauh. Sehingga diharapkan kedepannya nanti, WiMAX menjadi teknologi generasi empat dengan kemampuan *interoperability*. Faktor *interoperability* merupakan hal terpenting dalam teknologi WiMAX sehingga dapat menjadi teknologi masa depan.

Teknologi WiMAX dengan standar 802.16 dipublikasikan pada April 2002 dengan *air interface* yang menggunakan MAC protocol, frekuensi kerja 10-66 GHz, *single carrier*, dan hanya komunikasi LOS. Seiring waktu, standar baru pun dikeluarkan diantaranya dapat dilihat pada Tabel 2.1.

Standar 802.16a dipublikasikan pada Januari 2003 dimana terdapat perubahan yang memasukkan frekuensi kerja 2-11 GHz baik pada spektrum dengan lisensi maupun tanpa lisensi. Standar 802.16-2004 dipublikasikan pada Juli 2004 dimana merupakan

tonggak bersejarah dari teknologi WiMAX karena merevisi dan mengganti standar sebelumnya yaitu 802.16, 802.16a, dan 802.16rev.d. Sedangkan standar 802.16e baru disetujui pada Desember 2005 yang merupakan kelanjutan perbaikan standar 802.16a untuk mendukung portabilitas (mobilitas).

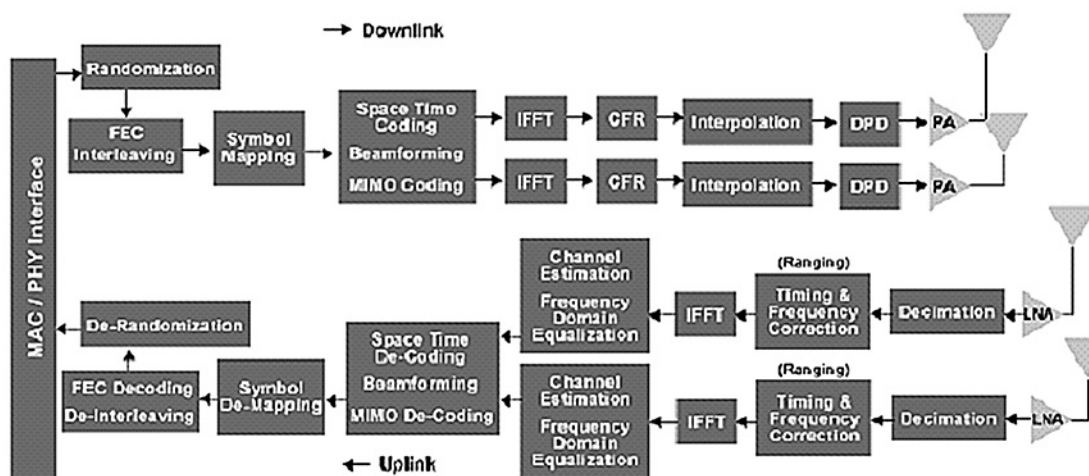
Tabel 2.1 Standar Parameter WiMAX

802.16	802.16a/Rev. d	802.16e
Line of Sight	Near Line of Sight	Near Line of Sight
10-66 GHz	2-11 GHz	2-6 GHz
32-134 Mbps	75 Mbps	15 Mbps
1-3 mil	3-5 mil, maks. 30 mil	1-3 mil
Fixed	Fixed	Metropolitan Mobility Roaming
Modulation: QPSK, 16 QAM, 64 QAM	OFDM 256, QPSK, 16 QAM, 64 QAM	BPSK, QPSK, 16 QAM, 64 QAM
Channel Bandwidth: 20, 25, dan 28 MHz	Selectable 1,25-20 MHz	20, 25, dan 28 MHz

Sumber : <http://www.ednasia.com/documents/>

2.1.2 Fitur pada WiMAX

Untuk mendukung teknologi *broadband*, WiMAX mempunyai beberapa fitur yang membuatnya bisa menjadi teknologi masa depan. Fitur-fitur tersebut diantara lain adalah OFDM, MIMO, Modulasi Digital, dan FEC. Penggambaran besar blok diagram pada WiMAX dapat dilihat pada Gambar 2.1.



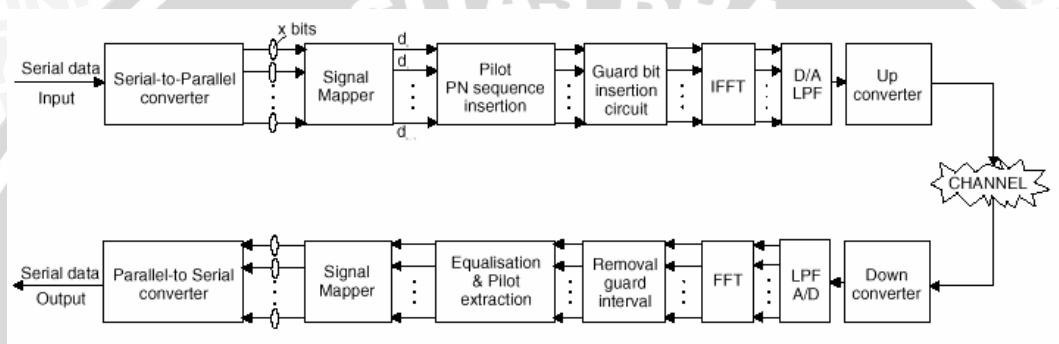
Gambar 2.1 Blok Diagram WiMAX

Sumber : <http://www.ednasia.com/documents/>



2.1.3 OFDM

Fitur OFDM (*Orthogonal Frequency Division Multiplexing*) merupakan prinsip pembagian kanal lebar *frequency selective* ke dalam sub kanal sempit *flat fading*. Selain itu, OFDM merupakan suatu skema modulasi efisien pada sistem komunikasi *wireless* kecepatan tinggi. Ide utama dari OFDM adalah membagi data *stream* ke dalam N buah *stream* paralel dengan data *rate* lebih rendah $1/N$ kali dan mengirimkannya pada sub pembawa yang terpisah. Sehingga nantinya akan ada pembagian kanal menjadi sub kanal yang berbeda-beda dengan frekuensi yang berbeda pula. Hal utama dari pembagian kanal tersebut adalah sifat ortogonalitas diantara frekuensi sehingga spektrum dimungkinkan tumpang tindih tanpa saling mengganggu.

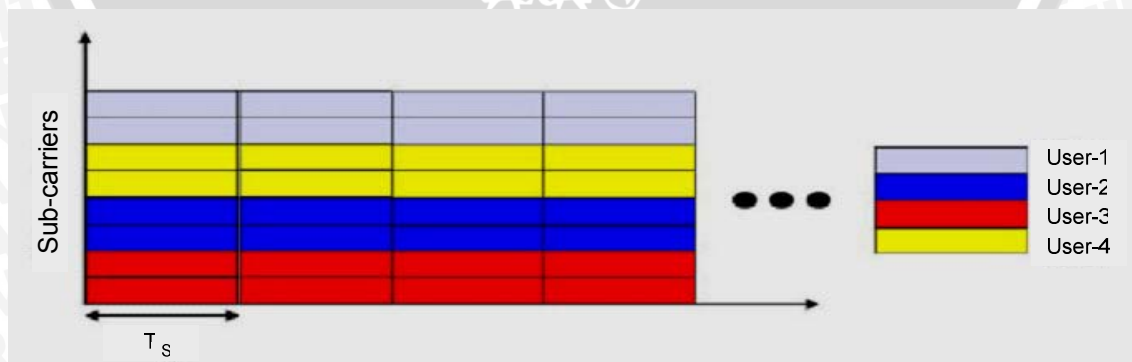


Gambar 2.2 Blok Diagram Sistem OFDM

Sumber: <http://www.wirelesscommunication.nl/reference/chaptr05/ofdm/>

Terdapat tiga tipe utama *multiplexing* pada OFDM:

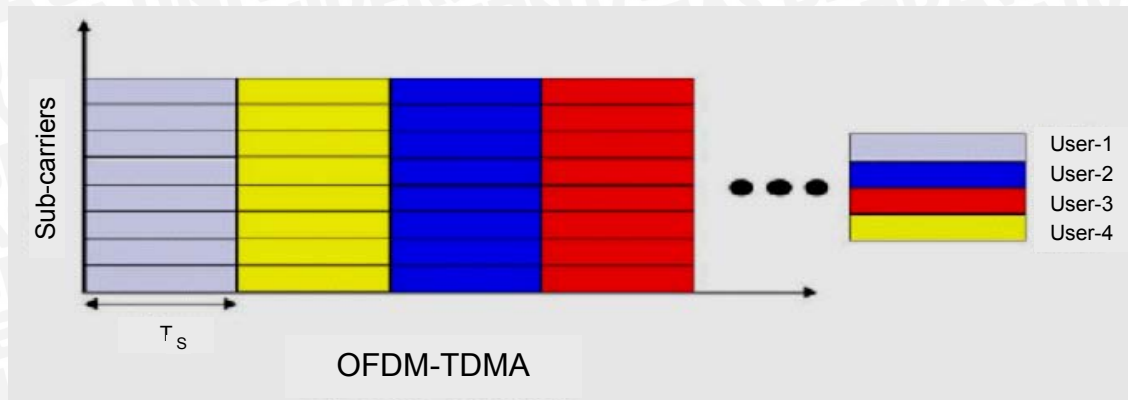
- OFDM-FDMA (*Frequency Division Multiple Access*), sub pembawa yang ada didistribusikan diantara pengguna untuk keperluan transmisi pada suatu waktu t. Merupakan skema *multiplexing* yang paling sederhana yang disebut juga dengan nama OFDMA.



Gambar 2.3 Multiplexing OFDMA

Sumber : <http://www.wirelesscommunication.nl/reference/chaptr05/ofdm/>

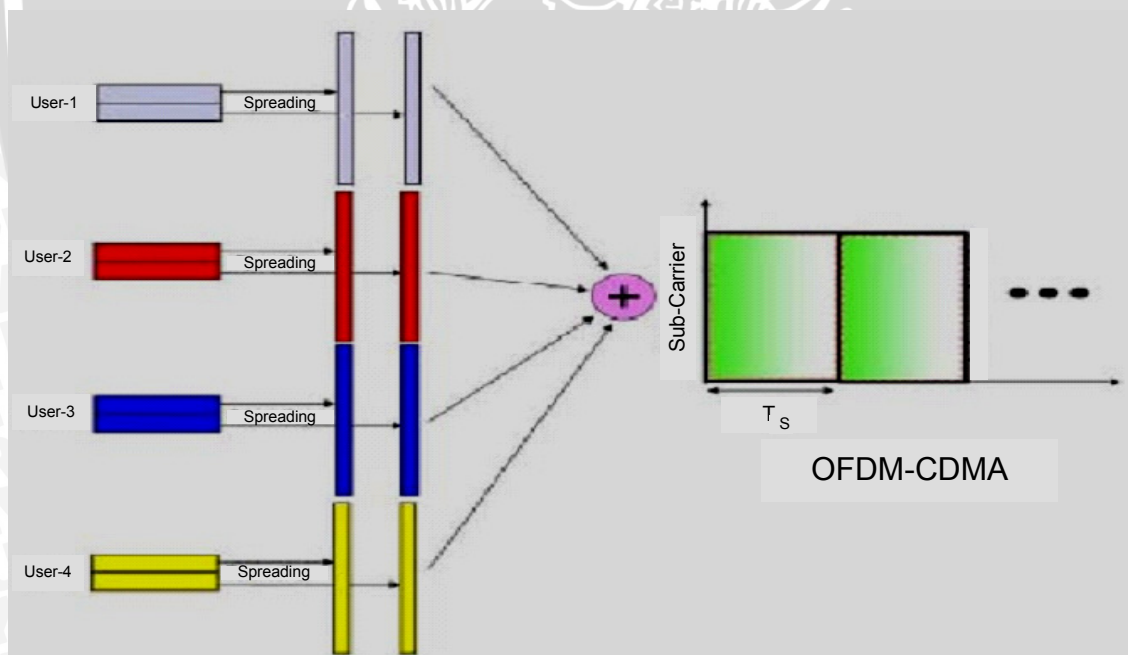
- OFDM-TDMA (*Time Division Multiple Access*), pengguna diberikan semua sub pembawa pada suatu celah waktu berdurasi satu simbol.



Gambar 2.4 Multiplexing OFDM-TDMA

Sumber : <http://www.wirelesscommunication.nl/reference/chaptr05/ofdm/>

- OFDM-CDMA (*Code Division Multiple Access*), data yang akan dikirim oleh seorang pengguna disebar di beberapa sub pembawa dan atau simbol OFDM dengan menggunakan kode penebar dan digabung dengan sinyal yang berasal dari pengguna lainnya.



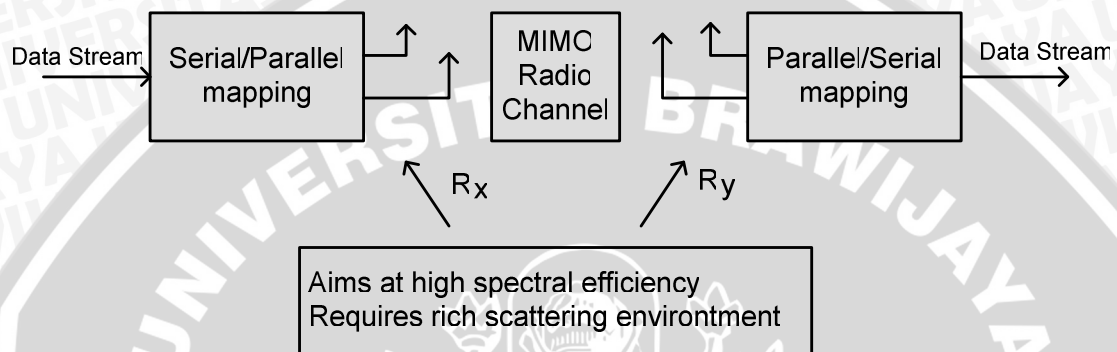
Gambar 2.5 Multiplexing OFDM-CDMA

Sumber : <http://www.wirelesscommunication.nl/reference/chaptr05/ofdm/>

2.1.4 MIMO

Prinsip MIMO (*Multiple-Input and Multiple-Output*) pada WiMAX merupakan suatu teknik diversitas antena dimana kanal akan mempunyai banyak masukan dan juga

keluaran. Prinsip MIMO adalah pemetaan suatu *stream* data ke dalam sejumlah *stream* data paralel dan melakukan pemetaan kembali dari sinyal yang diterima ke dalam *stream* data tunggal. Tujuan dari MIMO itu sendiri adalah untuk memperoleh efisiensi spektral yang tinggi atau laju data yang tinggi. Secara sederhana, sistem MIMO yang digunakan pada WiMAX adalah penggunaan banyak antenna pada penerima maupun pengirim. Peningkatan kinerja yang diperoleh pada WiMAX dengan penggunaan MIMO adalah meningkatnya *coverage*, kecepatan *link* data, *reuse*, kapasitas, dan efisiensi daya.



Gambar 2.6 Sistem MIMO

Sumber : <http://www.iss.rwth-aachen.de/Projekte/Theo/MIMO>

2.1.5 Modulasi Adaptif

Modulasi adaptif merupakan salah satu fitur WiMAX, dimana sistem komunikasi memungkinkan menggunakan skema modulasi yang berubah untuk menyesuaikan dengan kondisi kanal radio atau nilai SNR. Bila kondisi kanal membaik, maka skema modulasi *multilevel* bisa digunakan untuk memperbesar kapasitas kanal. Namun bila terjadi *fading*, WiMAX akan beradaptasi dengan cara mengubah skema modulasi yang levelnya lebih rendah sehingga komunikasi yang kontinyu tetap terjaga. Selain untuk menjaga komunikasi yang kontinyu, penggunaan modulasi adaptif ini juga bisa dimanfaatkan untuk menyesuaikan skema modulasi dengan jarak BTS ke pengguna. Pada WiMAX, dikenal empat tipe modulasi yaitu BPSK, QPSK, 16 QAM, dan 64 QAM. Teknik modulasi adaptif pada WiMAX ini akan dibahas sebagai salah satu bahan penelitian tugas akhir.

2.1.6 FEC (*Foward Error Control*)

Teknik FEC merupakan salah satu teknik pengkodean kanal yang diperlukan untuk memproteksi informasi terhadap gangguan transmisi dengan menambahkan bit-bit dengan cara tertentu, yang disebut juga sebagai penambahan redundansi. Pada sistem

komunikasi *wireless* mutakhir, pengkodean kanal biasanya dikombinasikan dengan teknik modulasi dan biasa disebut sebagai teknik ACM.

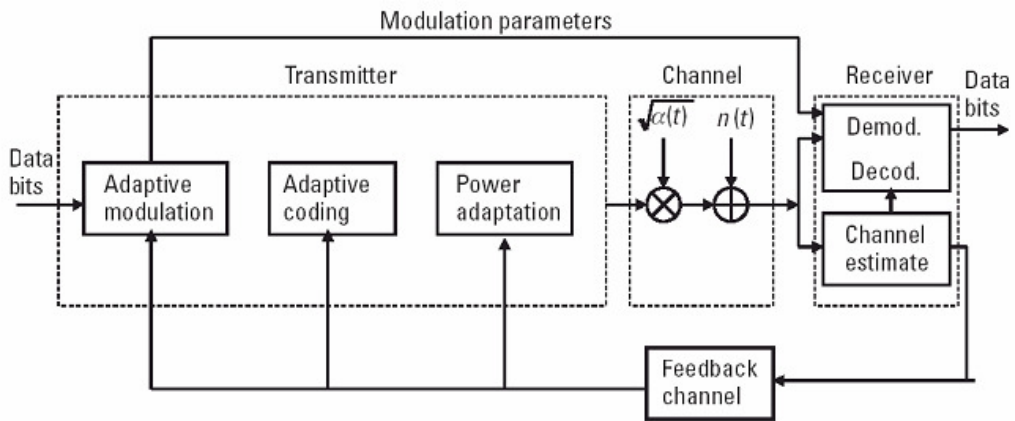
Ada dua tipe pengkodean kanal yaitu kode *Block* dan kode Konvolusional. Pada kode *Block*, bit-bit informasi dikodekan dalam bentuk blok-blok bit. Sedangkan pada kode Konvolusional mempunyai perbedaan dimana bit-bit informasi dikodekan secara kontinyu dan serial. Pada WiMAX, pengkodean kanal yang dilakukan adalah keduanya yaitu dengan menggunakan kode *Block* dan kode Konvolusional. Ada berbagai macam kode *Block* seperti kode *Hamming*, kode *Hadamard*, kode *Reed Solomon*, dan lain-lain. Kode *Reed Solomon* digunakan pada WiMAX sebelum nantinya dikodekan dengan menggunakan kode Konvolusional. Pada tugas akhir ini, penelitian akan memfokuskan pada kode *Reed Solomon* sehingga pembatasan penelitian tidak sampai pada kode Konvolusional. Teknik ACM inilah yang akan dibahas pada penelitian tugas akhir ini.

2.2 Pengkodean dan Modulasi

2.2.1 Pengkodean Kanal

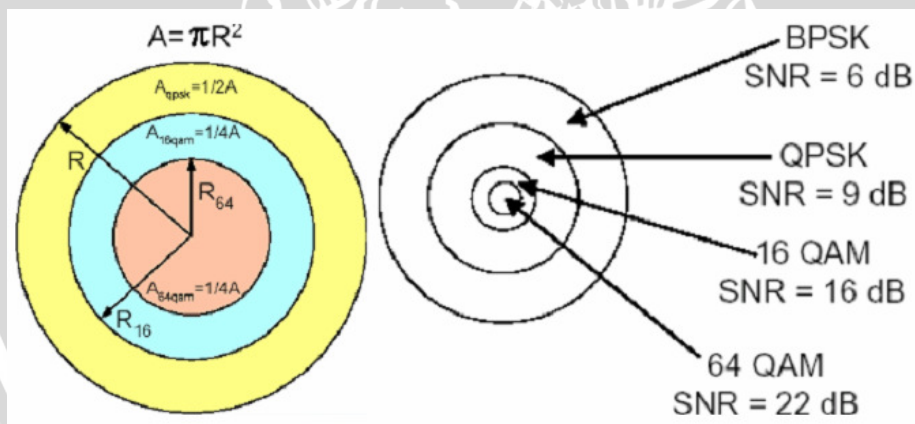
Untuk mengirimkan suatu informasi dari pengirim ke penerima khususnya pada sistem komunikasi *wireless*, dilakukan beberapa proses dahulu terhadap informasi tersebut. Salah satunya adalah proses pengkodean kanal yang termasuk ke dalam teknik ACM. Pengkodean kanal berfungsi untuk menjaga informasi atau data digital dari *error* yang mungkin terjadi selama proses transmisi dengan cara menambahkan bit redundansi (tambahan) ke dalam data yang akan dikirimkan. Pengkodean kanal yang digunakan untuk mendeteksi *error* disebut deteksi *error*, sedangkan yang juga mampu untuk mengoreksi kesalahan disebut koreksi *error*. Pengkodean kanal lebih merupakan pilihan yang lebih baik dibandingkan dengan ARQ. Hal ini karena retransmisi mengurangi *throughput* dan menyebabkan *delay* yang tidak sesuai dengan aplikasi *real time* seperti suara ataupun percakapan video. Oleh karena itu, prinsip pengkodean kanal mempunyai peranan penting pada sistem komunikasi *wireless* khususnya karena sifat kanalnya yang dispersif sehingga akan mengurangi retransmisi.

Sistem komunikasi WiMAX yang merupakan salah satu sistem komunikasi *wireless* memerlukan teknik pengkalan koding dan juga modulasi pada sistemnya. Diagram blok yang digunakan pada sistem komunikasi WiMAX dapat dilihat pada Gambar 2.7.



Gambar 2.7 Blok Diagram ACM pada WiMAX
 Sumber: www.altera.com/literature/wp/

Pada tugas akhir ini, fokus akan dilakukan pada blok *adaptive modulation* dan blok *adaptive coding*. Mekanisme *adaptive coding* pada tugas akhir ini menggunakan kode Konvolusional. Sedangkan modulasi yang digunakan pada WiMAX menggunakan modulasi 64 QAM, 16 QAM, QPSK, dan BPSK. Secara skematik, tipe modulasi yang digunakan pada WiMAX tersebut dapat dipetakan ke dalam radius sel seperti pada Gambar 2.8.



Gambar 2.8 Peta Skematik Modulasi
 Sumber: Anonim, wimax(2).pdf

Menurut Shannon, *error* yang terjadi akibat induksi kanal ataupun media penyimpanan yang bersifat *noisy* dapat ditekan mencapai level tertentu tanpa mengorbankan *rate* transmisi informasi atau *rate* penyimpanan dengan menerapkan suatu mekanisme pengkodean pada informasi. Teori Shannon ini dapat direpresentasikan dalam persamaan 2.1.

$$C = B \times \log_2 (1 + P/NoB) \tag{2.1}$$



Dimana C adalah kapasitas kanal, B adalah *bandwidth* transmisi (Hz), P adalah daya sinyal yang diterima (Watt), dan N_0 adalah *single sided noise power density* (Watt/Hz). Daya yang diterima oleh penerima ditunjukkan pada persamaan 2.2 .

$$P = E_b R_b \quad (2.2)$$

Dimana E_b adalah energi rata-rata tiap bit, dan R_b adalah *bit rate* transmisi. Dengan mensubstitusikan persamaan 2.2 ke persamaan 2.1 maka akan didapat persamaan 2.3.

$$C/B = \log_2 (1 + E_b R_b / N_0 B) = \log_2 (1 + S/N) \quad (2.3)$$

dimana:

C/B : efisiensi *bandwidth*.

S : $E_b R_b / B$

Tujuan utama dari teknik deteksi dan koreksi *error* ini adalah untuk memperbaiki performa sistem transmisi data digital. Dengan menambahkan bit redundansi kedalam data yang akan dikirim, maka akan meningkatkan *rate* transmisi atau dengan kata lain menambah *bandwidth* yang dibutuhkan jika data *rate* dari data aslinya diinginkan tetap. Hal ini berarti akan mengurangi efisiensi *bandwidth* jika kondisi E_b/N_0 yang diinginkan tetap tinggi. Tetapi dengan pengkodean kanal, akan dihasilkan BER yang baik pada kondisi E_b/N_0 yang rendah. Inilah yang menjelaskan teori Shannon, yaitu bagaimana caranya memperbaiki *error* tanpa mengorbankan *bit rate* yaitu dengan bekerja pada E_b/N_0 yang cukup rendah tetapi BER yang dihasilkan tetap baik (kecil). Prinsip Shannon itulah yang menjadi acuan dari penggunaan pengkodean kanal. Meskipun *bandwidth* yang digunakan menjadi lebih besar, namun efisiensi dari *gain* (penguatan) yang didapat pada BER yang sama memberikan hasil yang lebih baik. Pengkodean kanal beroperasi pada data digital dengan mengkodekan sumber informasi ke dalam urutan kode untuk ditransmisikan melalui kanal. Ada dua macam tipe dasar pengkodean kanal yaitu kode *Block* dan kode Konvolusional.

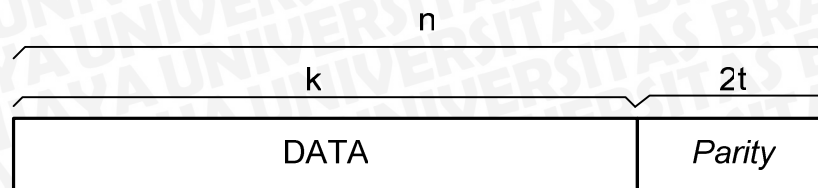
2.2.1.1 Kode Reed Solomon

Pengkodean *reed-solomon* merupakan kelas dari linier, *non-binary*, *cyclic Block codes*. Kelas ini adalah *subfamily* dari *family linier, non-binary, cyclic BCH codes* yang merupakan generalisasi dari *Galois Field GF(q)*. Sebuah kode RS (n,k) dengan simbol dari GF (2^m) mempunyai parameter-parameter sebagai berikut:

$n = 2m - 1$ panjang kode dalam simbol

$k = n - 2t$ jumlah simbol informasi

$n-k = 2t$ jumlah simbol pariti
 $d_{\min} = 2t+1$ jarak minimum kode



Gambar 2.9 Data Reed Solomon

Sumber: Anonim, wimax(2).pdf

Kode ini mampu mengoreksi sampai t simbol dalam sebuah *codeword*. *Galois Field* (GF) adalah *field* terbatas dari suatu blok pengkodean, $GF(2^m)$ artinya kode RS mempunyai 2^m simbol biner, dimana m menunjukkan jumlah bit per simbol.

Jika α adalah *primitive element* dari $GF(2^m)$ dan $\alpha^{n-1} = 1$, sebuah RS *code* $C_{RS}(n,k)$ dengan panjang $n = 2m - 1$ dan dimensi k adalah *linier, cyclic*, maka blok RS e dalam bentuk *Polynomial* ditunjukkan padapersamaan 2.4.

$$\begin{aligned} g(X) &= (X - \alpha)(X - \alpha^2) \dots (X - \alpha^{n-k}) \\ &= (X - \alpha)(X - \alpha^2) \dots (X - \alpha^{2t}) \\ &= g_0 + g_1X + g_2X^2 + \dots + g_{2t-1}X^{2t-1} + g_{2t}X^{2t} \end{aligned} \quad (2.4)$$

Polynomial dibentuk dengan koefisien - koefisien yang merupakan unsur - unsur dari *Galois Field* $GF(2^m)$. Kode *Polynomial* adalah perkalian dari generator *Polynomial* $g(X)$ termasuk semua akar - akarnya. Bentuk *message Polynomial* ditunjukkan pada persamaan 2.5.

$$m(X) = m_0 + m_1X + \dots + m_{k-1}X^{k-1} \quad (2.5)$$

Message Polynomial ini juga dibentuk dengan koefisien - koefisien yang merupakan elemen - elemen dari *Galois Field* $GF(2^m)$. Bentuk sistematis dari pengkodean ini diperoleh dengan cara yang sama untuk *binary BCH codes*. Adapun bentuk sistematis RS *code* ditunjukkan pada persamaan 2.6.

$$X^{n-k}m(X) = q(X)g(X) + p(X) \quad (2.6)$$

2.2.1.2 Kode Konvolusional

Kode Konvolusional adalah jenis kode yang memiliki perbedaan mendasar dari Kode *Block* dimana urutan bit informasi tidak dikelompok-kelompokkan dalam blok-blok yang berbeda sebelum dikodekan. Proses yang terjadi adalah bit informasi sebagai masukan secara kontinu di-*mapping* kedalam urutan bit keluaran *encoder*. Teknik ini

mampu meningkatkan *coding gain* yang lebih besar dibandingkan jika digunakan kode *Block* dengan kompleksitas yang sama.

Kode Konvolusional biasanya mempunyai dua parameter yaitu *code rate* (kecepatan kode) dan *constraint length*. *Code rate* (k/n) biasa diekspresikan sebagai rasio dari jumlah bit yang masuk ke Konvolusional *encoder* (k) terhadap jumlah bit keluaran simbol (n) pada suatu siklus *encoder*. *Constraint length* (K) mendefinisikan “panjang” dari Konvolusional *encoder* dimana merupakan banyaknya tahapan k -bit yang mungkin untuk masuk kedalam kombinasi logik pada Konvolusional *encoder* sehingga menghasilkan simbol keluaran. Parameter lain yang mempunyai relasi yang sama dengan K adalah parameter m , dimana mengindikasikan berapa banyak bit masukan siklus *encoder* yang ditahan dan digunakan untuk di-*encode* setelah bit masukan pertama masuk ke dalam kode Konvolusional. Parameter m bisa juga diartikan sebagai panjang memori dari *encoder*.

Pada pengkodean Konvolusional ini, tiap *codeword* selain bergantung pada pesan yang bersesuaian juga tergantung pada m blok pesan sebelumnya. Satu set *codeword* dengan k masukan, n keluaran dan tingkat memori m disebut dengan kode Konvolusional (n,k,m) . *Rate* kode didefinisikan $R = k/n$. Suatu kode konvolusi (n,k) dengan panjang *konstraint* K mempunyai parameter-parameter sebagai berikut :

k = banyaknya input port

n = banyaknya output port/modulo-2 adder

K = panjang *konstraint*, banyaknya memori

Code rate : $\left(\frac{k}{n}\right)$ dengan $k > n$ atau $R < 1$

Suatu kode konvolusi dengan *rate* $R=k/n$ dan panjang *konstraint* K dapat digambarkan oleh satu set urutan generator seperti pada persamaan 2.7.

$$g_i^{(j)} = (g_{i,0}^{(j)}, g_{i,1}^{(j)}, \dots, g_{i,m-1}^{(j)}, g_{i,m}^{(j)}) \quad (2.7)$$

$$i=1,2,3,\dots,k$$

$$j=1,2,3,\dots,n$$

Juga dapat digambarkan sebagai polinomial berderet m pada persamaan 2.8.

$$g_i^{(j)}(D) = (g_{i,0}^{(j)}, g_{i,1}^{(j)}D, \dots, g_{i,m-1}^{(j)}D^{m-1}, g_{i,m}^{(j)}D^m) \quad (2.8)$$

Bila urutan informasi dan output enkoder sesuai persamaan 2.9 dan 2.10.

$$d^{(i)} = (d_0^{(i)}, d_1^{(i)}, d_2^{(i)}, \dots) \quad (2.9)$$

$$c^{(i)} = (c_0^{(i)}, c_1^{(i)}, c_2^{(i)}, \dots) \quad (2.10)$$

2.2.2 Modulasi

Tujuan dari sistem komunikasi digital seperti *wireless* pada WiMAX adalah untuk mengirimkan informasi yang direpresentasikan oleh urutan simbol biner melalui kanal fisik hingga sampai ke penerima. Pemetaan simbol-simbol informasi tersebut menjadi sinyal sehingga sesuai dengan kanal fisik dinamakan modulasi digital.

Modulasi yang digunakan pada WiMAX menggunakan metode modulasi yaitu menggunakan modulasi 64 QAM, 16 QAM, QPSK, dan BPSK. Mekanisme pemilihan modulasi digunakan berdasarkan kondisi kanal yang biasanya sesuai dengan jarak user dengan pengirim yaitu BTS. User yang berada dekat akan menggunakan 64 QAM hingga BPSK untuk jarak yang jauh. Semakin tinggi level modulasi yang dipakai maka *throughput* akan semakin lebih tinggi.

2.2.2.1 BPSK (*Binary Phase Shift Keying*)

Modulasi BPSK merupakan jenis transmisi data M-ary dengan M=2, yang menggunakan prinsip PSK (*Phase Shift Keying*). Pada BPSK, satu simbol informasi direpresentasikan dengan satu bit. Kemungkinan untuk terjadinya simbol *error* (P_s) dan bit *error* (P_b) adalah sama, seperti ditunjukkan pada persamaan 2.11.

$$P_b = P_s = Q\left(\sqrt{\frac{2E_b}{N_0}}\right) \quad (2.11)$$

dimana:

P_b : kemungkinan untuk terjadinya simbol *error*

P_s : kemungkinan untuk terjadinya bit *error*

E_b/N_0 : *energy bit per noise ratio*

Karena hanya hanya satu bit per simbol yang ditransmisikan, maka peluang terjadinya kesalahan simbol maupun bit sama pada BPSK.

2.2.2.2 QPSK (*Quadrature Phase Shift Keying*)

Modulasi QPSK merupakan jenis transmisi data M-ary dengan M=4, yang menggunakan prinsip PSK (*Phase Shift Keying*). QPSK merepresentasikan 2 bit dalam setiap *symbol* dengan cara mengubah fasa *carrier*.

Kemungkinan untuk terjadinya *symbol error*, P_s , dan bit *error*, P_b , pada modulasi QPSK ditunjukkan pada persamaan 2.12 dan 2.13 dengan nilai E_s QPSK = $2xE_b$.

$$P_s = \operatorname{erfc}\left(\sqrt{\frac{E_s}{2N_0}}\right) \quad (2.12)$$

$$P_b = \frac{1}{2} \operatorname{erfc}\left(\sqrt{\frac{E_b}{N_0}}\right) \quad (2.13)$$

dimana:

P_b : kemungkinan untuk terjadinya simbol *error*

P_s : kemungkinan untuk terjadinya bit *error*

E_s : energi per *symbol*

E_b : energi per bit

N_0 : *Noise power spectral density*

2.2.2.3 QAM (*Quadrature Amplitude Modulation*)

Modulasi QAM merupakan modulasi yang mengubah data berdasarkan nilai amplitudo dan fasa dari dua gelombang *carrier*. Sehingga skema modulasi QAM bisa juga disebut modulasi *hybrid amplitude-phase keying* (APK), yang merupakan kombinasi antara M-ary ASK (Amplitude Shift Keying) dan M-ary PSK. Pengiriman sinyal transmisi QAM dapat direpresentasikan berdasarkan persamaan 2.14.

$$s(t) = I(t)\cos(2\pi f_0 t) + Q(t)\sin(2\pi f_0 t) \quad (2.14)$$

dimana:

$s(t)$: sinyal transmisi

$I(t)$: sinyal informasi (berdasarkan amplitudo)

$Q(t)$: sinyal informasi (berdasarkan fasa)

f_0 : frekuensi *carrier*

Karena data yang dikirimkan adalah biner, maka pemakaian modulasi QAM merupakan kelipatan pangkat 2. Namun skema modulasi yang sering digunakan terbatas pada 16 QAM, 64 QAM, dan 256 QAM. Khusus pada WiMAX digunakan 16 QAM dan 64 QAM. Keterbatasan pemilihan skema modulasi tersebut bisa dijelaskan melalui diagram konstelasi. Pada QAM, diagram konstelasi biasanya mempunyai bentuk *grid* kotak yang sama untuk setiap horizontal dan vertikal. Semakin tinggi orde konstelasi, maka akan memungkinkan untuk mengirimkan bit per simbol. Jumlah bit per simbol dapat direpresentasikan melalui persamaan 2.15.

$$M=2^n$$

(2.15)

dimana:

M : skema modulasi yang digunakan

N : jumlah bit per simbol

Semakin tinggi orde modulasi maka titik konstelasi akan semakin rapat dan akan semakin mudah berpindah ke titik konstelasi lain jika terkena *error* yang akan mengakibatkan nilai yang lebih besar pada BER. Sehingga akan ada *trade off* dimana semakin besar orde modulasi maka semakin besar pengiriman data namun makin riskan realibilitasnya.

Keterbatasan tersebut menyebabkan banyak sistem komunikasi *wireless* pada umumnya dan khususnya WiMAX menggunakan orde modulasi 16 QAM dan 64 QAM. Dimana 64 QAM akan mampu membawa data yang lebih banyak sehingga *throughput* yang dihasilkan pun akan semakin besar dibandingkan dengan 16 QAM.



BAB III METODOLOGI

Dalam penyusunan skripsi ini, metode yang digunakan pada penyusunan skripsi ini yaitu:

1. Pengambilan Data
2. Pemodelan Sistem
3. Perhitungan dan Analisa Data
4. Pengambilan Kesimpulan

3.1 Pengambilan Data

Pengambilan data yang digunakan dalam penyusunan skripsi ini adalah :

3.1.1 Pengambilan Data Sekunder

Data sekunder berupa studi literatur diambil dari buku teks, jurnal, internet, maupun data dari sumber lain yang berhubungan dengan sistem ACM (Adaptive Coded Modulation) dan teknik Modulasi pada jaringan WiMAX. Literatur yang diperlukan adalah hal – hal yang berhubungan dengan :

- WiMAX
Meliputi pengertian dan prinsip kerja WiMAX
- ACM
Meliputi pengertian dan prinsip kerja ACM yang meliputi Pengkodean dan Modulasi.

Beberapa data sekunder dan asumsi adalah:

Data Asumsi :

1. Jumlah bit informasi = 1.000.000 bit
2. Iterasi simulasi = 5

Data Sekunder :

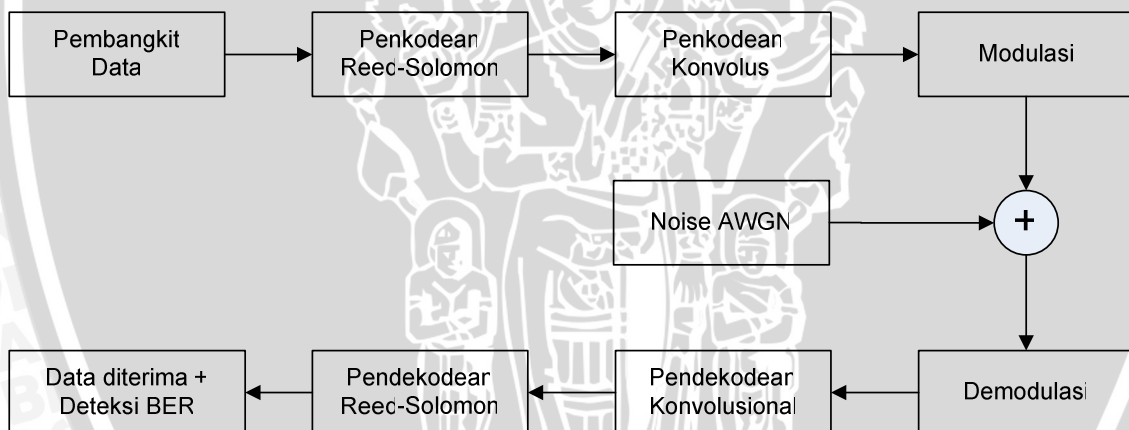
<http://www.eetimes.com/design/signal-processing-dsp/4012945/The-designer-s-basic-guide-to-WiMAX>, Emiyati 2005 :

1. Parameter pengkodean Reed Solomon :
 - Galois Field (t) = 8
 - Code length (n) = 63; 127; 191; 255
 - Number of symbol (k)= 47; 111; 175; 239

2. Pengkodean Konvolusi
 - *Constraint length* = 3
 - *Input port* = 2
 - *Output port* = 4
 - *Code generator* = [7,5]
3. *Modulation level* BPSK = 2
4. *Modulation level* QPSK = 4
5. *Modulation level* 16QAM = 16
6. *Modulation level* 64QAM = 64
7. *Energi bit to Noise ratio* (E_b/N_o) = 0 – 10 dB

3.2 Pemodelan Sistem

Model yang dibuat untuk melihat unjuk kinerja pengkodean Reed-Solomon - Konvolusional pada lapisan fisik pada WiMAX seperti diperlihatkan pada gambar 3.1

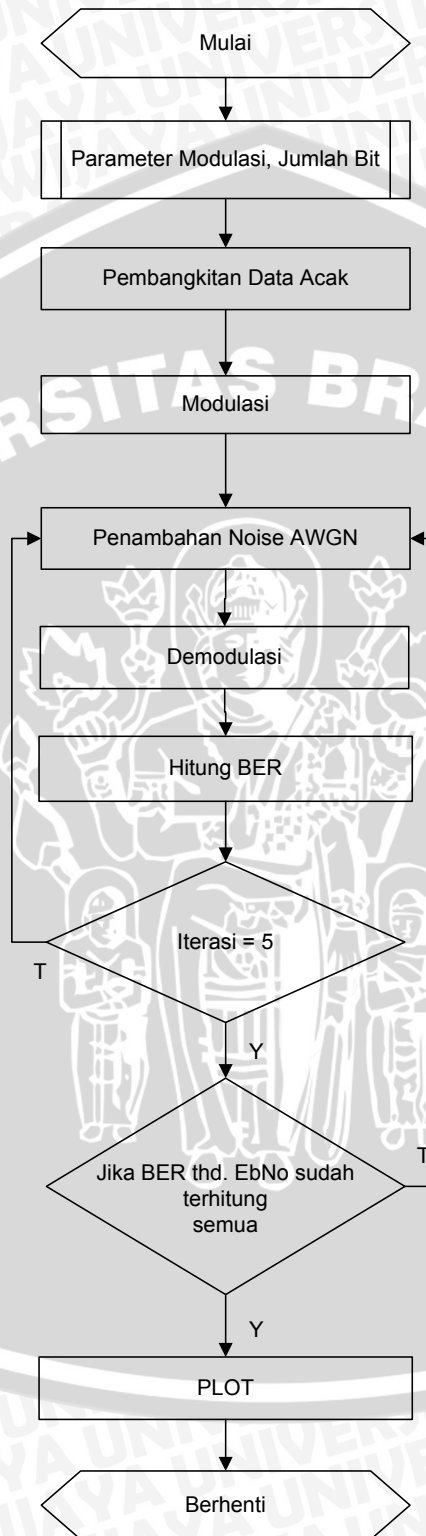


Gambar 3.1 Model Sistem pengkodean Reed-Solomon - Konvolusional
Sumber: Perancangan

Pada sistem ini data yang dibangkitkan secara acak dikodekan dengan metode Reed Solomon. Blok data yang dihasilkan dikodekan dengan metode konvolusi dan kemudian dimodulasikan. Asumsi yg digunakan adalah menggunakan kanal ideal dan ditambahkan noise AWGN. Data yang sudah ditambahkan noise kemudian didemodulasikan. Selanjutnya hasil demodulasi didekodekan dengan metode konvolusi dan Reed Solomon. Proses terakhir adalah menghitung jumlah data yang salah dibandingkan dengan data acak yang dibangkitkan.

3.2.1 Perancangan Algoritma Pemrograman

Berikut ini adalah diagram alir rancangan simulasi kinerja pengkodean Reed-Solomon - Konvolusional dan kinerja tanpa menggunakan pengkodean.



Gambar 3.2 Diagram Alir Proses ACM tanpa menggunakan Pengkodean
Sumber: Perancangan

Tahapan simulasi yang dilakukan pada skripsi ini dapat dilihat pada diagram alir gambar 3.2 dan gambar 3.3. Masing-masing sub proses simulasi adalah sebagai berikut:

1. Pembangkitan Data Acak

Data yang digunakan dalam simulasi adalah data acak yang continuous berupa biner 1 atau 0.

2. Pengkodean Reed Solomon

Parameter yang digunakan pada pengkodean *Reed Solomon* antara lain n (length), k (dimensi) dan GF (*generator fungsi polynomial*). Proses encoding ini mengkodekan data biner acak dari pembangkit data menjadi blok-blok kode.

3. Pengkodean Konvolusi

Proses encoding ini mengkodekan kode blok menjadi kode konvolusional.

4. Modulasi

Data yang telah dikodekan selanjutnya dimodulasi dengan menggunakan modulasi BPSK, QPSK, 16QAM, 64QAM.

5. Penambahan Noise AWGN

Data yang telah dimodulasikan selanjutnya akan ditambahkan dengan derau AWGN.

6. Iterasi

Iterasi yang digunakan dalam simulasi ini sebanyak lima kali.

7. Demodulasi

Mendemodulasi data yang diterima oleh receiver sesuai dengan sistem modulasinya.

8. Pendekodean Konvolusi

Proses decoding yang digunakan pada simulasi tugas akhir ini menggunakan algoritma Viterbi. Metode decoding yang dilakukan pada simulasi ini menggunakan metode hard decision. Metode hard decision memberikan kemudahan aplikasi decoding yang dilakukan dengan hanya memperhatikan dua nilai biner untuk setiap level tegangan yang diterima.

9. Pendekodean Reed Solomon

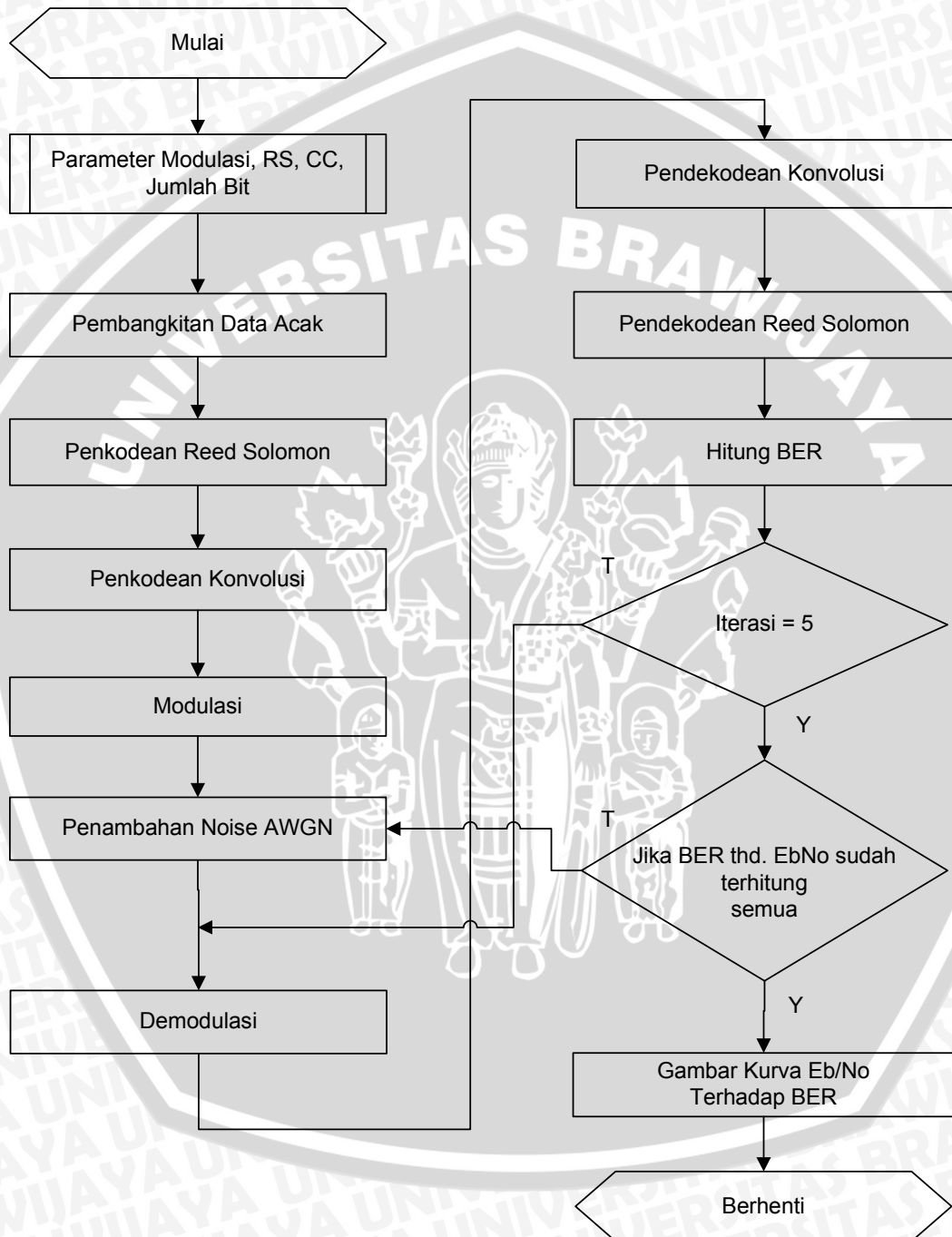
Mendekodekan data hasil dari keluran konvolusional decode.

10. Perhitungan BER

BER dihitung dengan membandingkan jumlah data salah yang diterima terhadap data yang dibangkitkan.

11. Gambar Kurva

Menggambar kurva perbandingan antara simulasi pengkodean Reed-Solomon dan Konvolusional dengan simulasi tanpa menggunakan pengkodean.



Gambar 3.3 Diagram Alir Proses ACM menggunakan Pengkodean Reed-Solomon dan Konvolusional
 Sumber: Perancangan

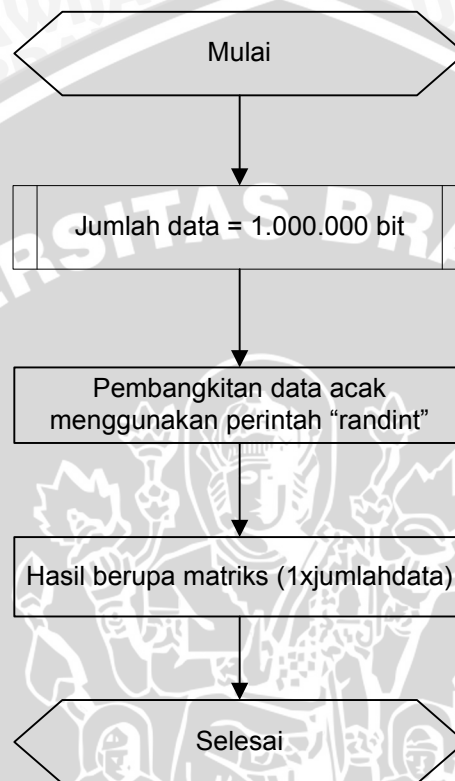


3.3 Perhitungan dan Analisa Data

Analisis pada skripsi ini dilakukan dengan mengamati sistem secara keseluruhan. Pengamatan yang dilakukan antara lain :

3.3.1 Data Acak

Data acak yang digunakan dalam simulasi ini adalah data biner yang bernilai 1 dan 0, sebanyak 10^6 data biner.



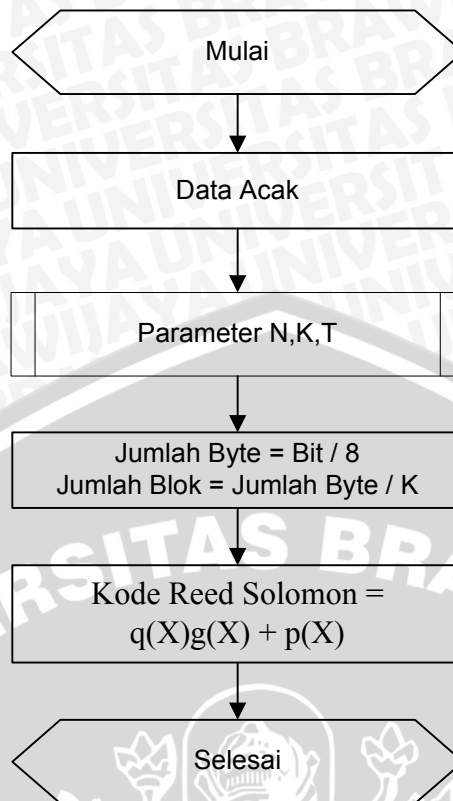
Gambar 3.4 Diagram Alir pembangkitan data acak
Sumber: Perancangan

3.3.2 Pengkodean Reed Solomon

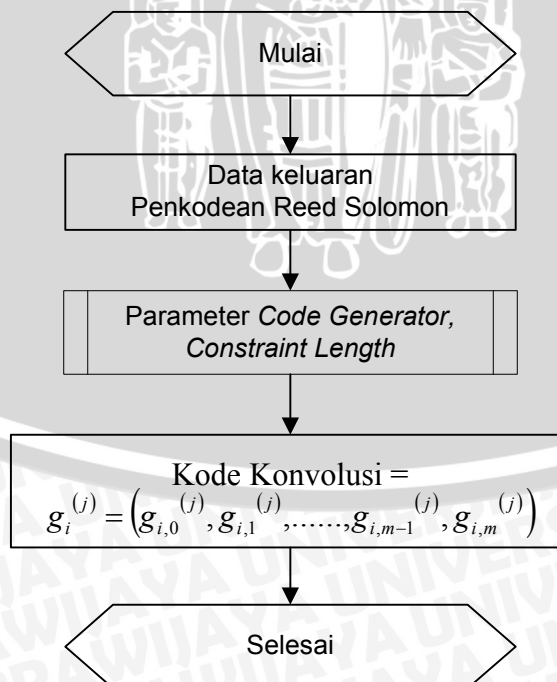
Proses encoding ini mengkodekan data biner acak dari pembangkit data menjadi blok-blok kode. Parameter yang digunakan pada pengkodean *Reed Solomon* antara lain n (length), k (dimensi) dan GF (*generator fungsi polynomial*). Diagram alir pengkodean Reed Solomon dapat dilihat pada Gambar 3.5.

3.3.3 Pengkodean Konvolusi

Hasil keluaran dari penkodean Reed Solomon akan diteruskan ke proses pengkodean Konvolusi. Diagram alir pengkodean Konvolusi dapat dilihat pada Gambar 3.6.



Gambar 3.5 Diagram Alir Pengkodean Reed Solomon
Sumber: Perancangan



Gambar 3.6 Diagram Alir Pengkodean Konvolusi
Sumber: Perancangan

3.3.4 Noise AWGN

Noise berupa data acak yang memiliki nilai real dan imajiner. Diagram alir pembangkitan noise AWGN dapat dilihat pada Gambar 3.7.



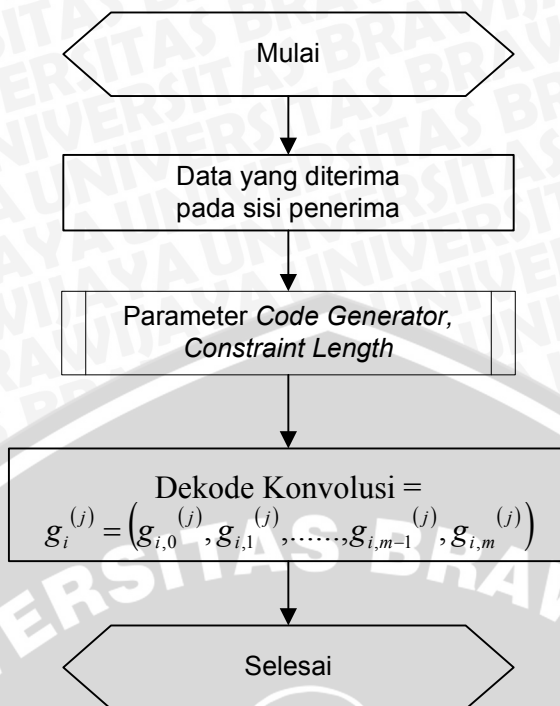
Gambar 3.7 Diagram Alir Pembangkitan Noise AWGN
Sumber: Perancangan

3.3.5 Dekode Konvolusi

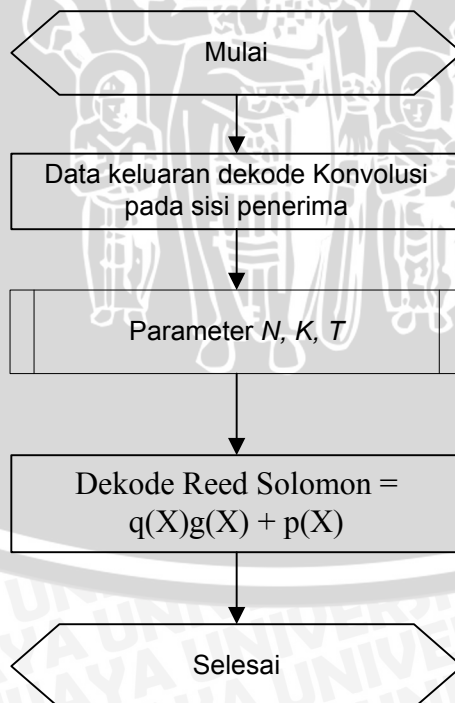
Proses ini adalah kebalikan dari proses pengkodean Konvolusi, dimana data yang telah dikodekan akan diubah kembali menjadi data asli (data sebelum pengkodean). Diagram alir dekode Konvolusi dapat dilihat pada Gambar 3.8.

3.3.6 Dekode Reed Solomon

Proses ini adalah kebalikan dari proses pengkodean Reed Solomon, dimana data keluaran dekode konvolusi akan diubah kembali menjadi data asli (data sebelum pengkodean). Diagram alir dekode Reed Solomon dapat dilihat pada Gambar 3.9.



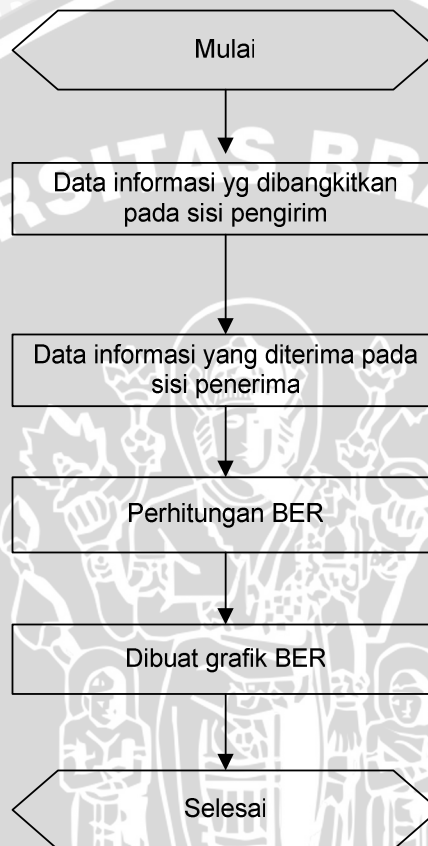
Gambar 3.8 Diagram Alir Dekode Konvolusi
Sumber: Perancangan



Gambar 3.9 Diagram Alir Dekode Reed Solomon
Sumber: Perancangan

3.3.7 Bit Error Rate (BER)

Didefinisikan sebagai rata-rata bit yang diterima dalam keadaan *error* setelah melalui proses transmisi. Beberapa faktor yang mempengaruhi error diantaranya adalah noise. Sebuah sinyal noise dapat menyebabkan sebuah bit salah diterjemahkan. Sehingga besarnya nilai BER akan mempengaruhi throughput. Gambar 3.10 menunjukkan proses perhitungan BER.



Gambar 3.10 Diagram Alir Perhitungan BER
Sumber: Perancangan

3.4 Pengambilan Kesimpulan

Kesimpulan diambil berdasarkan simulasi dan analisis pada sistem ACM pada WIMAX. Sedangkan saran berisi tentang pengembangan dari sistem yang dirancang dalam skripsi ini.

BAB IV

HASIL SIMULASI DAN PEMBAHASAN

Bab ini berisi tentang hasil simulasi dan pembahasan berdasarkan studi literatur, rumusan masalah dan ruang lingkup yang telah dijelaskan pada bab sebelumnya. Proses simulasi dilakukan sesuai dengan blok diagram pada Gambar 3.1 dan penjelasan blok diagram tersebut akan dijelaskan pada subbab selanjutnya.

4.1 Pembangkitan Data

Data yang digunakan dalam proses simulasi merupakan data *random* keluaran program matlab dengan menggunakan perintah `randint()`. Perintah tersebut berfungsi sebagai pembangkit data acak integer bernilai 1 dan 0. Data acak yang dibangkitkan sejumlah 10^6 bit. Contoh data acak ke-1 hingga data ke-80 yang dihasilkan dalam proses simulasi ini adalah

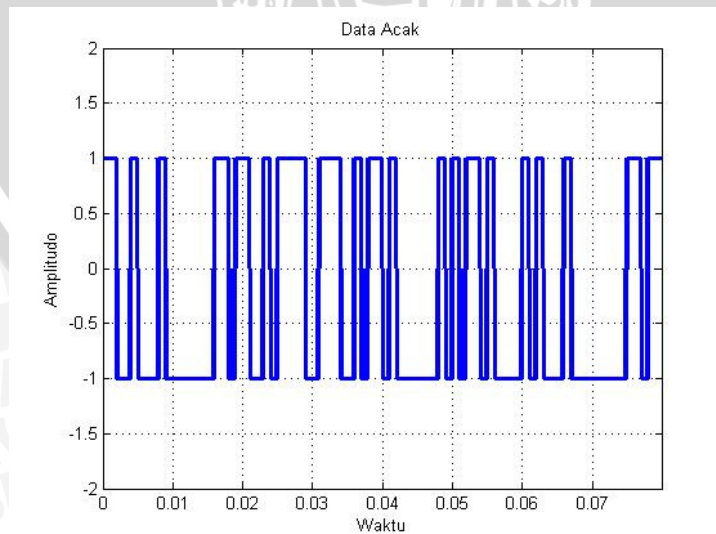
```
Data ke 1 hingga 19
1 1 0 0 1 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0 0 1 1 0

Data ke 20 hingga 38
1 1 0 0 1 0 1 1 1 1 0 0 1 1 1 0 0 1 0

Data ke 39 hingga 57
1 1 0 1 0 0 0 0 0 0 1 0 1 0 1 1 0 1 0

Data ke 58 hingga 76
0 0 0 1 0 1 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0 0 0 1

Data ke 77 hingga 80
1 0 1 1
```



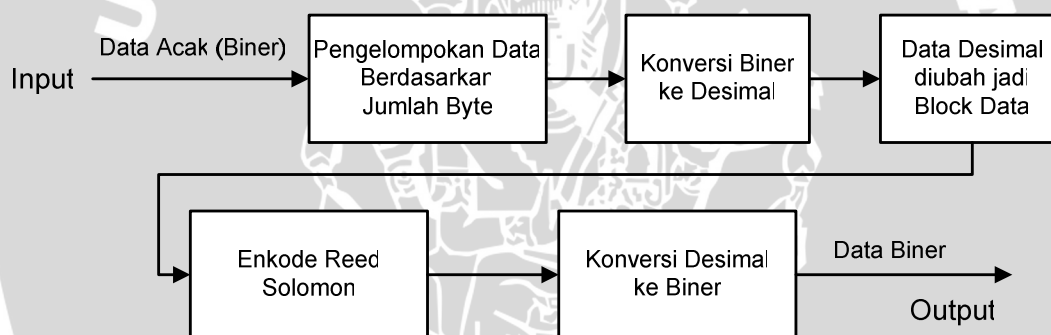
Gambar 4.1 Tampilan sinyal data acak ke-1 hingga data ke-80
Sumber: Hasil simulasi

Gambar 4.1 memperlihatkan tampilan sinyal data acak yang dibangkitkan dalam simulasi, mulai data acak ke-1 hingga data ke-80.

4.2 Enkode Reed-Solomon

Data acak hasil keluaran pada proses sebelumnya kemudian akan diproses menggunakan enkoder *Reed-Solomon* yaitu mengkodekan data biner acak dari pembangkit data menjadi blok-blok kode. Parameter yang digunakan pada pengkodean *Reed solomon* antara lain n (*length*), k (*dimensi*) dan GF (*generator fungsi polynomial*).

Nilai n adalah panjang kode dalam simbol, nilai k adalah jumlah simbol informasi sedangkan nilai GF adalah *field* terbatas dari suatu blok pengkodean. Simulasi kali ini menggunakan beberapa nilai parameter $[n,k,GF]$ yaitu $[63,47,8]$, $[127,111,8]$, $[191,175,8]$, $[255,239,8]$ untuk menganalisa pengaruh digunakannya pengkodean *Reed-Solomon* tersebut terhadap BER WiMAX. Dibawah ini adalah diagram blok untuk proses enkode Reed Solomon.



Gambar 4.2 Diagram Blok Proses Enkode Reed Solomon

Sumber: Perancangan

Proses enkoder *Reed-Solomon* untuk data ke-1 hingga data ke-80 untuk nilai parameter $[63,47,8]$ adalah

Input dan perhitungan:

Jumlah data acak = 80

Jumlah blok data = 4

Jumlah byte = $80/8 = 10$

Proses dekoder Reed Solomon :

Data acak dikelompokkan menjadi 10 bagian, dimana tiap bagian terdiri dari 8 bit. Selanjutnya tiap bagian tersebut diubah dari bilangan "biner" menjadi bilangan "desimal". Sehingga prosesnya sebagai berikut:

Data acak ke-1 hingga ke-8 = 1 1 0 0 1 0 0 0 = 200 (desimal),
 Data acak ke-9 hingga ke-16 = 1 0 0 0 0 0 0 0 = 128 (desimal),
 Data acak ke-17 hingga ke-24 = 1 1 0 1 1 0 0 1 = 217 (desimal),
 Data acak ke-25 hingga ke-32 = 1 1 1 1 1 0 0 1 = 121 (desimal),
 Data acak ke-33 hingga ke-40 = 1 1 0 0 1 0 1 1 = 203 (desimal),
 Data acak ke-41 hingga ke-48 = 0 1 0 0 0 0 0 0 = 64 (desimal),
 Data acak ke-49 hingga ke-64 = 0 0 0 0 1 0 1 0 = 10 (desimal),
 Data acak ke-65 hingga ke-72 = 0 0 1 0 0 0 0 0 = 32 (desimal),
 Data acak ke-73 hingga ke-80 = 0 0 0 1 1 0 1 1 = 27 (desimal),

Maka didapat:

byte=

data ke-1 hingga ke-10

200 128 217 121 203 64 173 10 32 27

Karena jumlah blok data pada Reed Solomon adalah 4, maka data “byte” akan diubah dari matriks [1x10] menjadi matriks [4xN]. Dimana N adalah hasil pembulatan keatas dari perhitungan Jumlah byte dibagi Jumlah blok data. Sehingga diperoleh $10/4 = 2,5$ dan dibulatkan ke atas sehingga didapat nilai $N = 3$. Maka matriks tersebut adalah matriks [4x3]. Bagian matrik yang kosong diisi dengan nilai 255, diakhir matrik (kolom ke-3, baris ke-4) diisi dengan nilai 0. Berikut ini adalah blok data encode Reed Solomon :

data_blok=

Kolom ke-1 hingga ke-3

200 203 32
 128 64 27
 217 173 255
 121 10 0

Langkah selanjutnya adalah encode Reed Solomon menggunakan perintah “rsenc()” dalam program matlab. Dimana perintah ini meminta masukan berupa bilangan desimal. Hasil keluaran dari encode Reed Solomon sebagai berikut:

Encode Reed-Solomon=

Columns 1 through 3

218 100 230
 150 177 172
 11 60 255
 233 230 0

Hasil data encode *Reed-Solomon* diatas kemudian di ubah kembali menjadi bilangan biner. Dengan proses pengubahan bilangan desimal menjadi biner dan menghasilkan keluaran dengan matriks [1x96]. Gambar 4.3 memperlihatkan tampilan sinyal data hasil encode. Selanjutnya data biner tersebut akan diproses pada encode Konvolusi.

Keluaran *Reed-Solomon*=

Data ke-1 hingga ke-17

0 0 1 1 0 1 0 0 0 0 1 0 1 1 1 0 0

Data ke-18 hingga ke-34

0 0 1 1 0 1 0 0 1 0 0 1 0 1 1 1 1

Data ke-35 hingga ke-51

1 0 1 0 1 0 0 1 0 0 1 1 0 1 1 0

Data ke-52 hingga ke-68

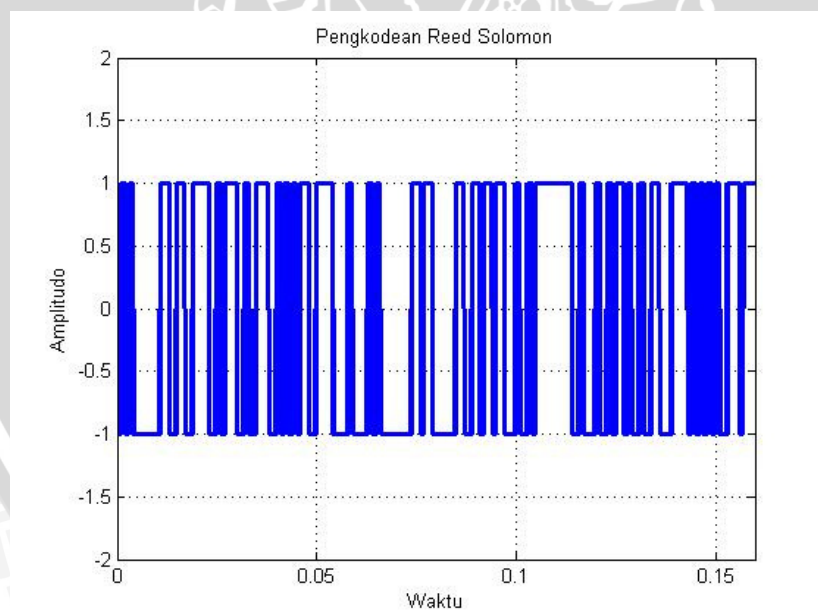
0 0 1 1 0 0 0 1 0 0 0 0 1 1 1 1 1

Data ke-69 hingga ke-85

1 1 1 0 1 0 0 1 1 0 0 1 1 0 1 0 1

Data ke-86 hingga ke-96

1 0 1 0 1 0 1 1 1 1 0



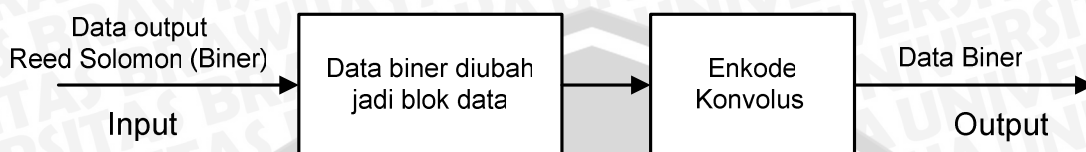
Gambar 4.3 Tampilan sinyal data hasil encode *Reed Solomon*

Sumber: Hasil simulasi

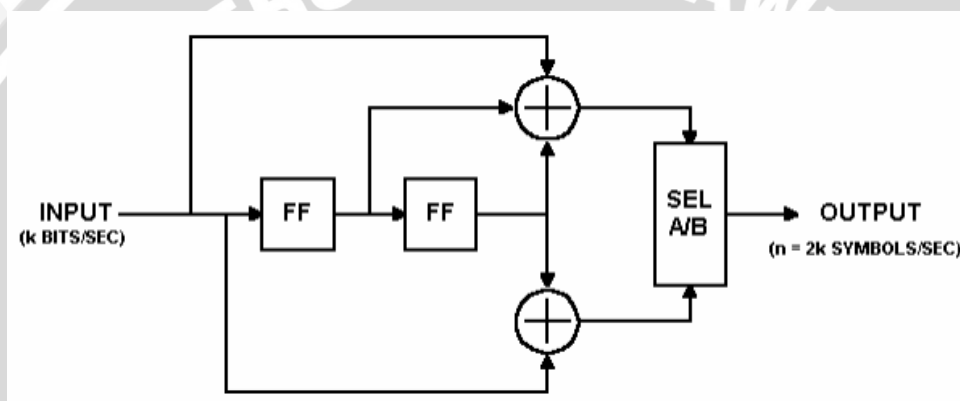
4.3 Enkode Konvolusi

Data yang dihasilkan enkoder *Reed-Solomon* kemudian akan diproses menggunakan enkoder Konvolusional yaitu bit informasi sebagai masukan secara kontinu di-*mapping* kedalam urutan bit keluaran encoder. Kode Konvolusional (n,k,m)

terdiri dari satu set simbol dengan k masukan, n keluaran dan tingkat memori m . Dimana parameter yang dipakai dalam simulasi ini adalah $k=3$, $n=2$, $m=2$. Berikut adalah diagram enkoder Konvolusi untuk nilai parameter $k=3$, $n=2$, $m=2$. Berikut ini adalah diagram blok proses encode konvolusi.



Gambar 4.4 Diagram Blok Proses Enkode Konvolusi
Sumber: Perancangan



Gambar 4.5 Diagram enkoder Konvolusi untuk nilai parameter $k=3$, $n=2$, $m=2$.
Sumber: www.mathwork.com

Pada Konvolusional enkoder diatas, bit data memberikan kecepatan k bit tiap detiknya. Simbol keluaran enkoder mempunyai kecepatan $n= 2k$ simbol tiap detik. Bit masukan stabil selama siklus enkoder. Siklus enkoder mulai ketika masukan *clock edge* terjadi. Ketika masukan *clock edge* terjadi, keluaran dari *flip-flop* sebelah kiri akan *clock* menuju *flip-flop* sebelah kanan. Kemudian masukan bit berikutnya akan *clock* kembali menuju *flip-flop* sebelah kiri dan bit masukan baru akan diulang kembali. Selanjutnya keluaran dari atas dan bawah *modulo two adder* stabil. Keluaran dari selektor (SEL A/B blok) melalui dua *state*, dimana yang pertama menyeleksi dan mengeluarkan keluaran dari *modulo two adder* sebelah atas. Sedangkan *state* kedua menyeleksi dan mengeluarkan keluaran dari *modulo two adder* sebelah bawah.

Konvolusional encoding yang dibahas sebagai contoh mempunyai $K= 3$ dan generator matrik $(7,5)$. Angka 7 dan 5 merupakan bilangan oktal yang merepresentasikan *polynomial* kode generator, yang jika dibaca dalam biner adalah



111_2 dan 101_2 , berkorespondensi terhadap koneksi *shift register* sebelah atas dan bawah *modulo two adder*. Nilai tersebut merupakan nilai yang terbaik untuk kecepatan $\frac{1}{2}$ dan $K=3$.

Berikut adalah contoh dari Konvolusional encoding menggunakan Konvolusional encoding seperti pada gambar diatas. Misalkan terdapat deretan masukan sebagai berikut [0101 1100 1010 001]₂. Asumsikan bahwa keluaran dari kedua *flip-flop* pada *shift register* adalah inisialisasi nol (kosong). Siklus *clock* pertama pada bit masukan pertama adalah nol yang masuk ke dalam encoding. Maka keluaran kedua *flip-flop* akan nol. Masukan ke *modulo two adder* semuanya nol sehingga keluaran dari encoding adalah 00_2 .

Siklus *clock* kedua membuat masukan bit kedua bisa masuk ke dalam encoding. *Flip-flop* sebelah kiri akan *clock* pada bit sebelumnya, dimana nilainya adalah nol, dan *flip-flop* sebelah kanan akan *clock* pada keluaran nol dari *flip-flop* sebelah kiri. Masukan pada *modulo two adder* sebelah atas adalah 100_2 sehingga keluarannya adalah satu. Masukan pada *modulo two adder* sebelah bawah adalah 10_2 sehingga keluarannya juga satu. Oleh karena itu, keluaran encoding adalah 11_2 yang akan masuk ke kanal simbol.

Input dari encode Konvolusi adalah data keluaran dari encode Reed solomon seperti berikut:

Keluaran Reed-Solomon = input encode konvolusi=

Data ke-1 hingga ke-17

0 0 1 1 0 1 0 0 0 0 1 0 1 1 1 0 0

Data ke-18 hingga ke-34

0 0 1 1 0 1 0 0 1 0 0 1 0 1 1 1 1

Data ke-35 hingga ke-51

1 0 1 0 1 1 0 0 1 0 0 1 1 0 1 1 0

Data ke-52 hingga ke-68

0 0 1 1 0 0 0 1 0 0 0 0 1 1 1 1 1

Data ke-69 hingga ke-85

1 1 1 0 1 0 0 1 1 0 0 1 1 0 1 0 1

Data ke-86 hingga ke-96

1 0 1 0 1 0 1 1 1 1 0

Dengan cara diagram encoding pada gambar 4.5 maka didapat hasil encode konvolusi sebagai berikut:

Keluaran encode konvolusi:

Data ke-1 hingga ke-17

1 1 1 0 1 0 0 1 1 0 0 1 1 0 1 0 1

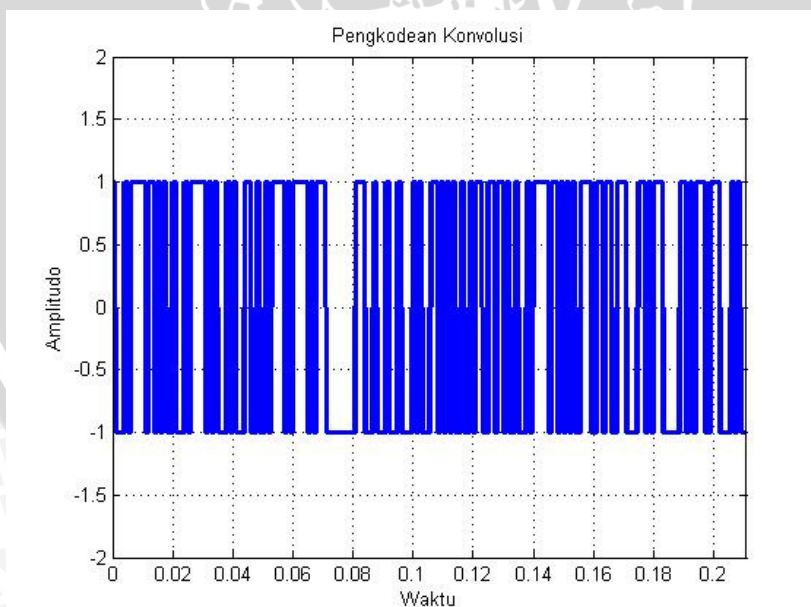
Data ke-18 hingga ke-34

1 0 1 0 1 1 0 0 1 0 0 1 1 0 1 1 0

Data ke-35 hingga ke-51

1 1 1 0 1 0 0 0 1 0 0 1 1 0 1 1 0

Hasil keluaran dari encode konvolusi adalah matriks $[1 \times 192]$, hal ini karena encode konvolusi yang dipakai memiliki kecepatan $n = 2k$ simbol tiap detik. Sehingga keluaran encode Konvolusi sama dengan dua kali keluaran encode Reed Solomon ($2 \times 96 = 192$). Jadi umlah data biner keluaran encode Konvolusional menjadi dua kalinya karena dengan menggunakan parameter kode generator = $[7 \ 5]$ dan $K=3$, encode memiliki 1 simbol masukan dan 2 simbol keluaran. Dalam program matlab, pengkodean Konvolusi ini menggunakan perintah "convenc()". Hasil keluaran enkoder Konvolusional untuk data acak ke-1 hingga data ke-80 dengan $m=2$, $k=3$ dan kode generator $[7 \ 5]$ adalah seperti pada Gambar 4.6.

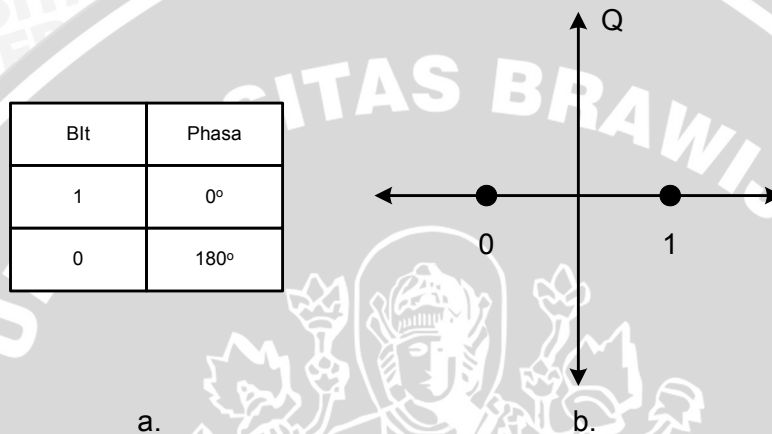


Gambar 4.6 Tampilan sinyal data ke-1 hingga data ke-192 dengan kode Konvolusional

Sumber: Hasil simulasi

4.4 Modulasi

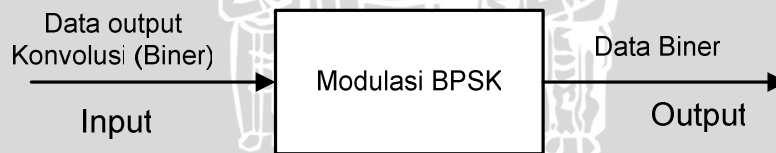
Tahap simulasi selanjutnya setelah proses enkoding data adalah proses modulasi dimana teknik modulasi yang digunakan adalah modulasi BPSK, QPSK, 16QAM, 64QAM. Fungsi modulasi adalah untuk memetakan simbol-simbol informasi tersebut menjadi sinyal sehingga sesuai dengan kanal spesifikasi WiMAX. Untuk modulasi BPSK hanya menggunakan dua simbol yaitu simbolsinyal dengan beda fasa 180° , dan sebuah simbol sinyal tersebut mewakili sebuah bit data seperti ditunjukkan pada Gambar 4.7.



Gambar 4.7 a. Hubungan bit dan fasa pada modulasi BPSK;
 b. Konstelasi Modulasi BPSK

Sumber: IEEE Standard for Local and Metropolitan Area Networks, Oktober 2004

Dibawah ini adalah diagram blok untuk proses Modulasi BPSK:

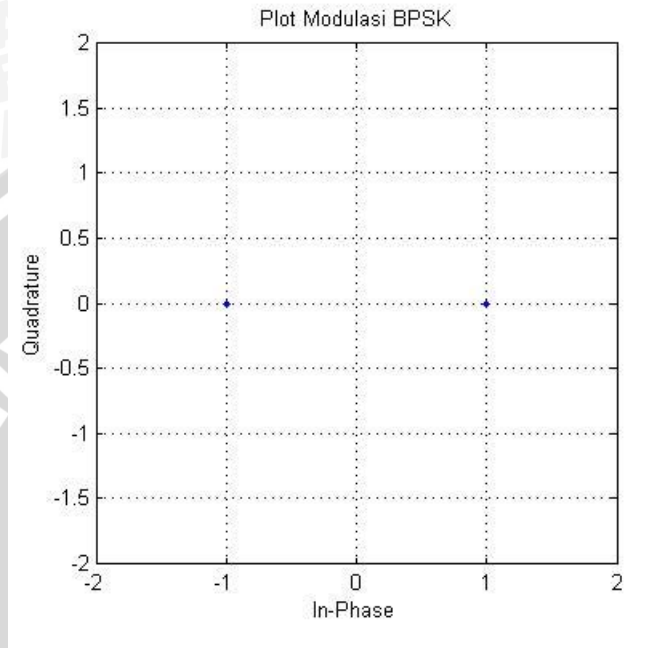


Gambar 4.8 Diagram Blok Proses Modulasi BPSK
 Sumber: Perancangan

Dalam modulasi BPSK hanya terdapat dua kondisi, untuk nilai biner 0 maka mempunyai keluaran -1.0000 dan untuk nilai biner 1 maka mempunyai keluaran 1.0000 seperti tampak pada Gambar 4.9. Hasil keluaran proses modulasi BPSK untuk data ke-1 hingga data ke-192 adalah

1.0000	data ke-1
1.0000	data ke-2
1.0000	data ke-3
-1.0000	data ke-4

1.0000	data ke-5
.	.
.	.
.	.
-1.0000	data ke-190
1.0000	data ke-191
1.0000	data ke-192



Gambar 4.9 Plot Data Termodulasi BPSK
Sumber: Hasil Simulasi

4.5 Noise AWGN

Proses yang dilakukan selanjutnya pada data hasil modulasi adalah penambahan *Noise* AWGN sehingga dapat dilakukan perhitungan BER pada proses selanjutnya. Pengkondisian kanal disini dimaksudkan agar data yang dimodulasi mengalami perubahan nilai atau terjadi kesalahan. Sehingga pada akhirnya dapat dibandingkan data yang diterima dengan data yang dikirim dan selanjutnya digunakan untuk menghitung BER. Untuk membangkitkan noise AWGN dapat dirumuskan sebagai berikut:

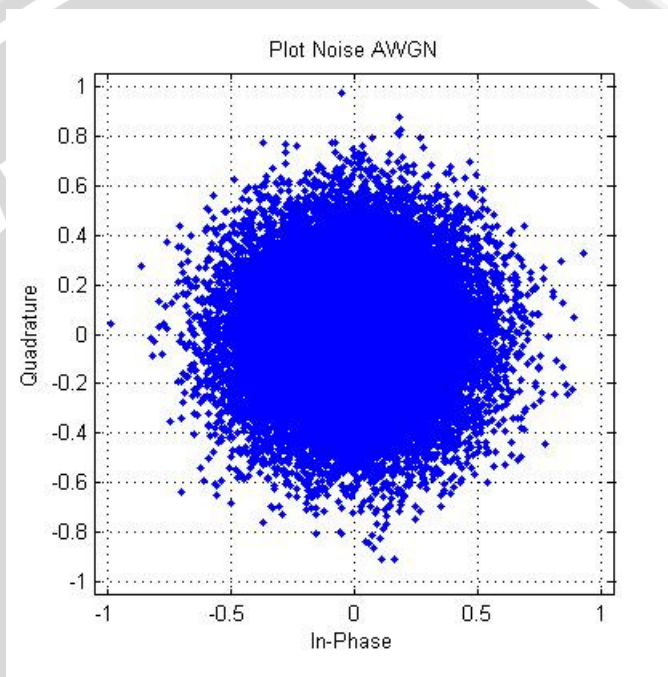
$$\text{Noise AWGN} = \left(\frac{1}{\sqrt{10^{(Ebno/10)} \times 2}} \right) (\text{nilai_acak} + j * \text{nilai_acak})$$

Dengan nilai EbNo yang telah ditetapkan, maka noise AWGN akan memiliki nilai yang acak juga. Contoh *Noise* AWGN yang dibangkitkan dalam simulasi adalah

```
0.2100 + 0.2928i
0.0621 - 0.2862i
```



$-0.0548 + 0.0016i$
 $0.3244 + 0.1277i$
 $0.1389 + 0.2310i$
 $-0.0939 + 0.0302i$
 $0.0440 - 0.1538i$
 $-0.2826 - 0.1737i$
 $0.0990 - 0.1252i$
 \vdots
 \vdots
 \vdots
 $0.2186 - 0.1631i$
 $-0.2382 - 0.1641i$
 $-0.0123 - 0.0680i$



Gambar 4.10 Plot Data *Noise* AWGN

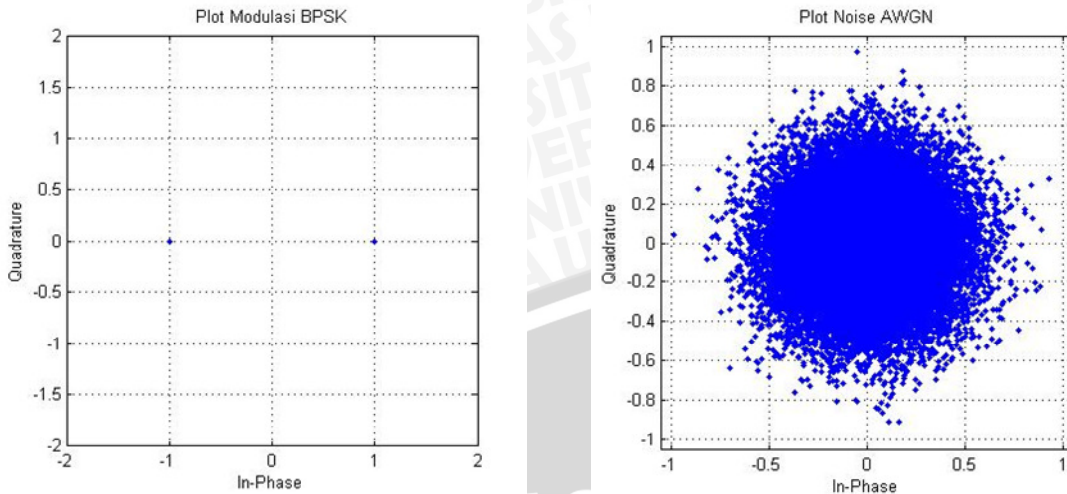
Sumber: Hasil Simulasi

Nilai *Noise* acak diatas (Gambar 4.10) berupa bilangan real dan imajiner dan akan dijumlahkan dengan hasil proses modulasi (subbab 4.4). *Noise* yang dibangkitkan jumlahnya sama dengan banyaknya data termodulasi. Hasil dari penjumlahan tersebut selanjutnya akan di-demodulasi.

4.6 Demodulasi

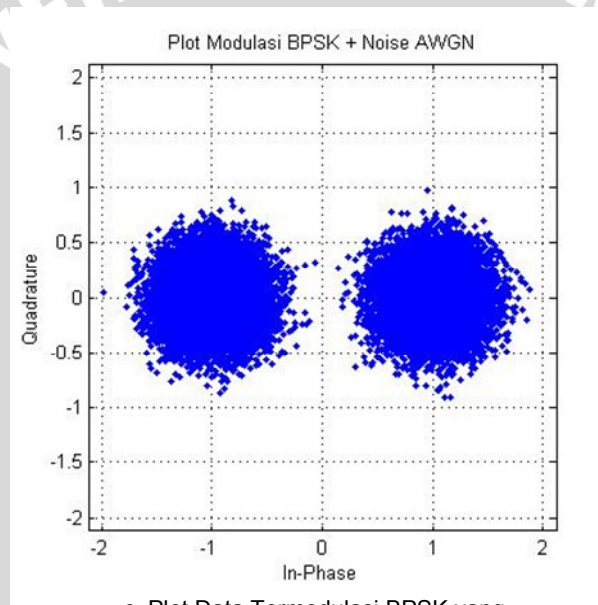
Proses demodulasi bertujuan untuk mengembalikan bentuk data termodulasi menjadi data asli. Gambar 4.11 merupakan sinyal data termodulasi BPSK yang telah ditambahkan *Noise* AWGN. Data ini merupakan hasil dari penjumlahan data temodulasi dengan *Noise*. Hasil proses demodulasi berupa data biner mulai data ke-1 hingga data ke-10⁶.





a. Plot Data Termodulasi BPSK

b. Plot Data Noise AWGN



c. Plot Data Termodulasi BPSK yang Ditambahkan Noise AWGN

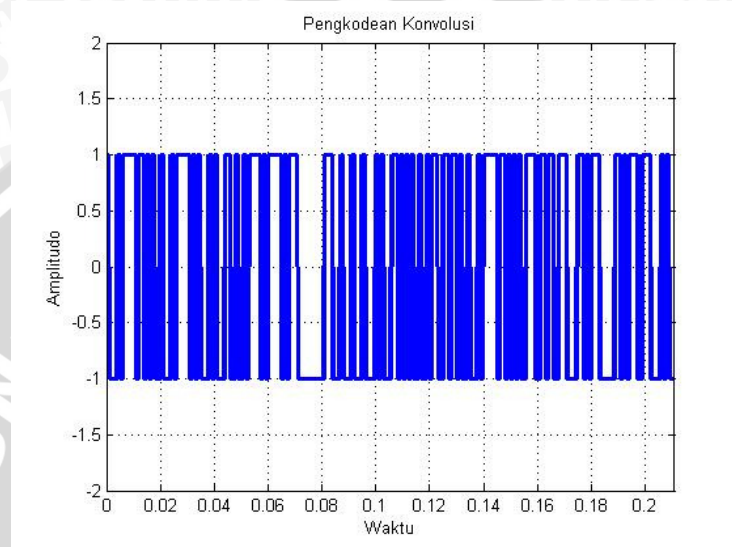
Gambar 4.11 Sinyal termodulasi BPSK yang telah ditambahkan *Noise* AWGN
 Sumber: Hasil Simulasi

4.7 Dekode Konvolusional

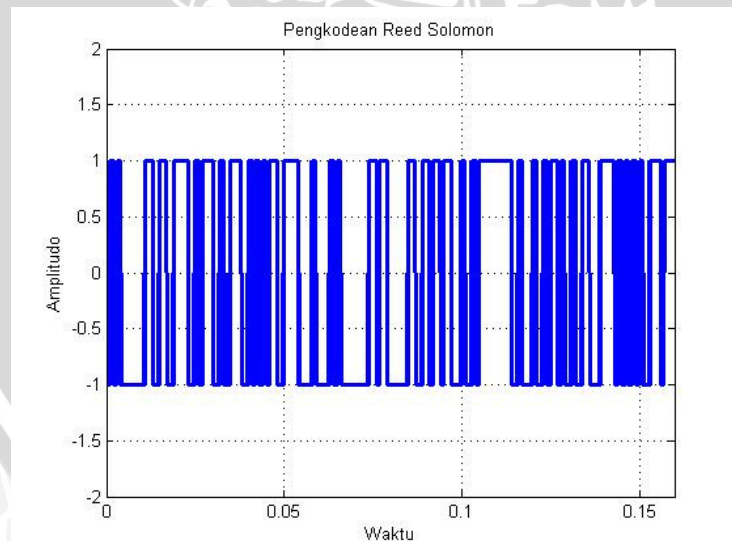
Proses dekode Konvolusional bertujuan untuk mengembalikan bentuk data terdecode menjadi data asli (data sebelum ter-enkode). Proses dekode ini memiliki 4 simbol masukan dan 2 simbol keluaran, dimana kebalikan dari proses encode. Sehingga hasil proses dekode Konvolusional berupa data biner mulai data masukan ke-1 hingga data ke-80 adapat dilihat pada Gambar 4.12.

4.8 Dekode *Reed-Solomon*

Proses dekode *Reed-Solomon* bertujuan untuk mengembalikan bentuk data terdecode *Reed-Solomon* menjadi data asli (data sebelum ter-encode *Reed-Solomon*). Sehingga hasil proses dekode *Reed-Solomon* berupa matriks data desimal 3x4 seperti data_blok pada subab 4.2 diatas. Hasil proses dekode *Reed-Solomon* berupa data biner mulai data masukan ke-1 hingga data ke-192 adapat dilihat pada Gambar 4.13.



Gambar 4.12 Tampilan sinyal data ke-1 hingga data ke-192 dengan kode Konvolusional
Sumber: Hasil simulasi



Gambar 4.13 Tampilan sinyal data ke-1 hingga data ke-192 dengan kode *Reed Solomon*
Sumber: Hasil simulasi

4.9 Perhitungan BER

Pada proses perhitungan BER akan dilakukan perbandingan antara data acak yang dibangkitkan terhadap data hasil keluaran simulasi. Perhitungan BER tersebut merupakan perbandingan antara jumlah kesalahan terhadap jumlah data acak yang dibangkitkan. Nilai Eb/No ditentukan terlebih dahulu seperti pada Tabel 4.1, dimana nilai Eb/No bernilai mulai 0 dB hingga 10dB.

$$BER = \frac{\text{Jumlah data salah}}{\text{Jumlah data dikirim}}$$

Dimana:

$$\text{Jumlah data dikirim} = 10^6$$

$$\text{Jumlah data salah} = 10^6 - \text{Data Benar yang Diterima}$$

Berikut ini contoh perhitungan BER pada Eb/No = 0.0010 dB dengan parameter Modulasi BPSK; Pengkodean Reed Solomon [63,47,8]:

Dari simulasi dapat diketahui bahwa jumlah data salah saat diterima,

- Tanpa Koding = 78.747 bit
- Pengkodean Konvolusi = 31.244 bit
- Pengkodean Reed Solomon-Konvolusi = 31.802 bit

Maka BER dapat dihitung,

- BER Tanpa Koding = $\frac{78.747}{1.000.000} = 0.0787$
- Pengkodean Konvolusi = $\frac{31.244}{1.000.000} = 0.0312$
- Pengkodean Reed Solomon-Konvolusi = $\frac{31.802}{1.000.000} = 0.0318$

Dari perhitungan BER seperti diatas, maka dapat dihitung BER pada tiap nilai Eb/No yang telah ditentukan.

Tabel 4.1 Nilai BER pada Eb/No = 0.0010 dB dengan Parameter Modulasi BPSK; Pengkodean Reed Solomon [63,47,8]

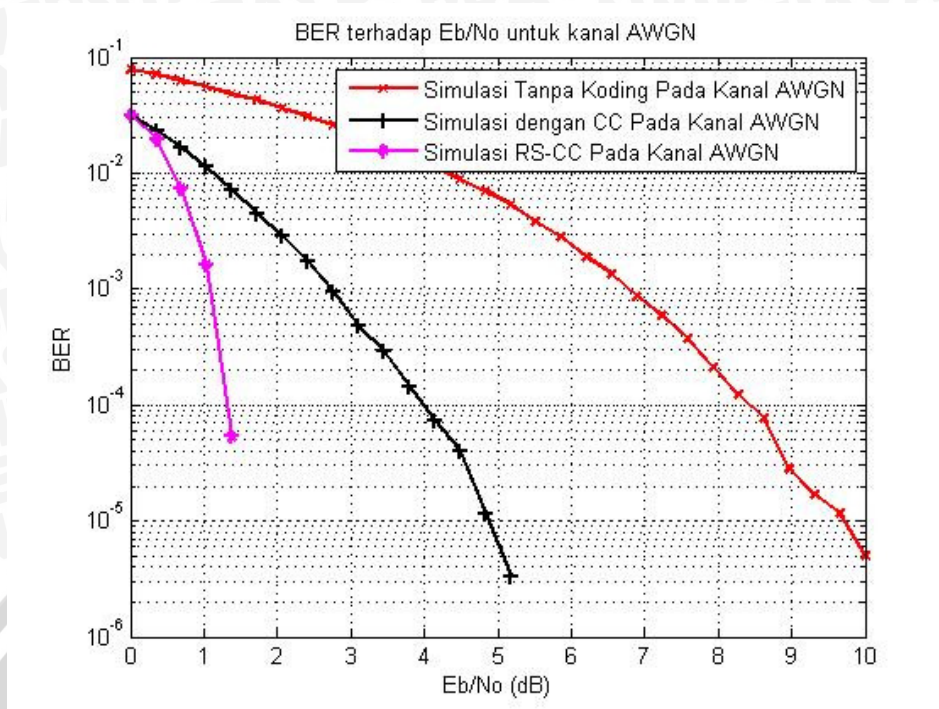
Data yang Dibangkitkan	Eb/No(dB)	BER dengan Pengkoden :		
		Tanpa Koding	Konvolusi	Reed Solomon-Konvolusi
1.000.000	0.0010	0.0787	0.0312	0.0318
1.000.000	0.3458	0.0710	0.0232	0.0196
1.000.000	0.6906	0.0626	0.0165	0.0074
1.000.000	1.0354	0.0555	0.0112	0.0016
1.000.000	1.3802	0.0484	0.0072	0.0001

1.000.000	1.7250	0.0430	0.0045	0.0000
1.000.000	2.0698	0.0362	0.0028	0.0000
1.000.000	2.4146	0.0309	0.0017	0.0000
1.000.000	2.7593	0.0259	0.0010	0.0000
1.000.000	3.1041	0.0215	0.0005	0.0000
1.000.000	3.4489	0.0176	0.0003	0.0000
1.000.000	3.7937	0.0144	0.0001	0.0000
1.000.000	4.1385	0.0113	0.0001	0.0000
1.000.000	4.4833	0.0088	0.0000	0.0000
1.000.000	4.8281	0.0071	0.0000	0.0000
1.000.000	5.1729	0.0053	0.0000	0.0000
1.000.000	5.5177	0.0038	0.0000	0.0000
1.000.000	5.8625	0.0028	0.0000	0.0000
1.000.000	6.2073	0.0019	0.0000	0.0000
1.000.000	6.5521	0.0014	0.0000	0.0000
1.000.000	6.8969	0.0009	0.0000	0.0000
1.000.000	7.2417	0.0006	0.0000	0.0000
1.000.000	7.5864	0.0004	0.0000	0.0000
1.000.000	7.9312	0.0002	0.0000	0.0000
1.000.000	8.2760	0.0001	0.0000	0.0000
1.000.000	8.6208	0.0001	0.0000	0.0000
1.000.000	8.9656	0.0000	0.0000	0.0000
1.000.000	9.3104	0.0000	0.0000	0.0000
1.000.000	9.6552	0.0000	0.0000	0.0000
1.000.000	10.0000	0.0000	0.0000	0.0000

Sumber: Simulasi

Dari Tabel 4.1, dapat dibuat grafik hubungan antara nilai BER dan $E_b/N_0 = 0.0010$ dB dengan Parameter Modulasi BPSK; Pengkodean Reed Solomon [63,47,8] seperti pada Gambar 4.14. Grafik hasil simulasi selanjutnya akan dianalisis berdasarkan modulasi dan pengkodean, dimana dalam proses analisis berdasarkan modulasi, parameter yang pengkodean yang digunakan adalah tetap, begitupun sebaliknya, dalam proses analisis berdasarkan pengkodean, parameter modulasi yang digunakan adalah tetap.

Simulasi yang dilakukan terdiri dari 16 kombinasi parameter modulasi dan pengkodean *Reed-Solomon* Konvolusional. Dimana kombinasi tersebut terdiri dari 4 jenis modulasi (BPSK, QPSK, 16-QAM dan 64-QAM) dan 4 jenis parameter pengkodean *Reed-Solomon* ($[n,k,GF] = [63,47,8], [127,111,8], [191,175,8], [255,239,8]$). Subbab berikut akan menganalisa pengaruh modulasi dan pengkodean terhadap BER.

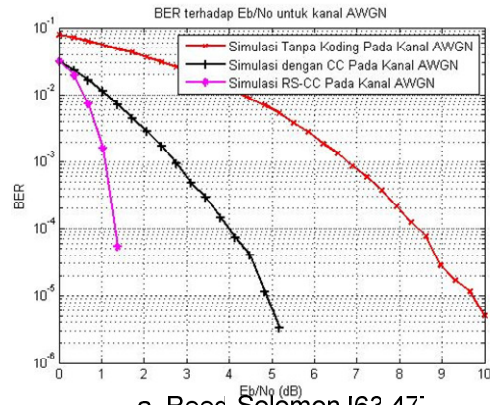


Gambar 4.14 Grafik hubungan antara nilai BER dan $E_b/N_0 = 0.0010$ dB dengan Parameter Modulasi BPSK; Pengkodean Reed Solomon [63,47,8]

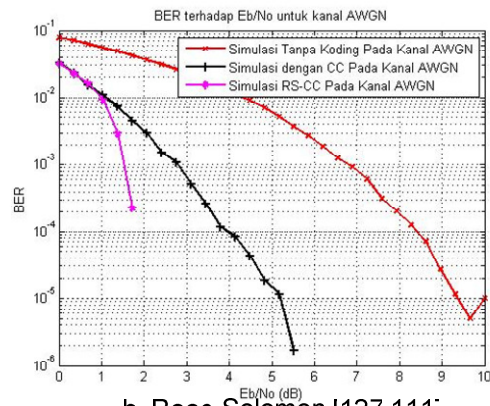
Sumber: Simulasi

4.9.1 Analisis BER dan E_b/N_0 terhadap Pengaruh Pengkodean

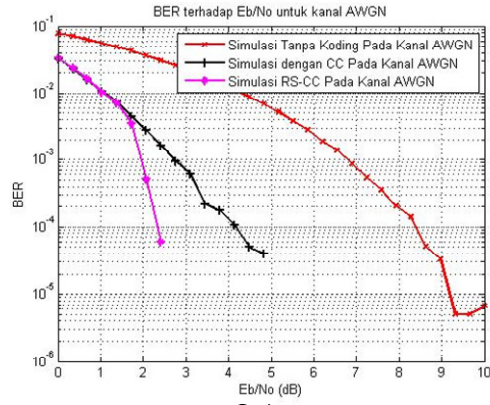
Simulasi yang dilakukan untuk menganalisa nilai BER dan E_b/N_0 terhadap pengaruh pengkodean *Reed solomon*-Konvolusional adalah dengan simulasi beberapa parameter kode *Reed solomon* menggunakan satu jenis modulasi. Parameter kode *Reed solomon* yang akan digunakan adalah $GF=8$ dan nilai $[n,k]$ yang berubah-ubah yaitu [63,47], [127,111], [191,175], [255,239]. Sedangkan parameter kode Konvolusional dibuat tetap yaitu kode generator = [7 5] dan $K=3$. Hasil simulasi Pengkodean *Reed solomon*-Konvolusional menggunakan parameter kode *Reed solomon* [63,47], [127,111], [191,175], [255,239] dengan modulasi BPSK ditunjukkan pada Gambar 4.15, modulasi QPSK ditunjukkan pada Gambar 4.16, modulasi 16QAM ditunjukkan pada Gambar 4.17, modulasi 64QAM ditunjukkan pada Gambar 4.18.



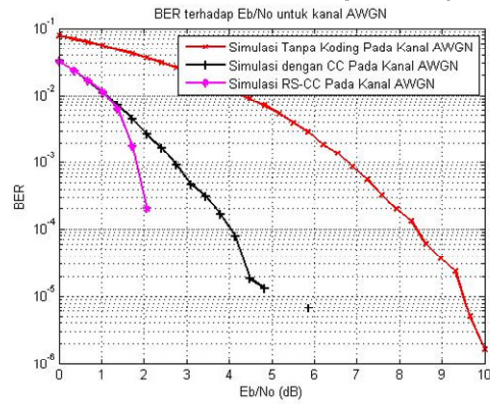
a Reec-Solomon [63 47]



b Reec-Solomon [127 111]



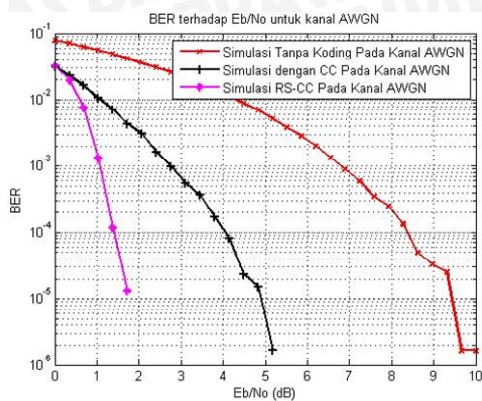
c Reec-Solomon [191 175]



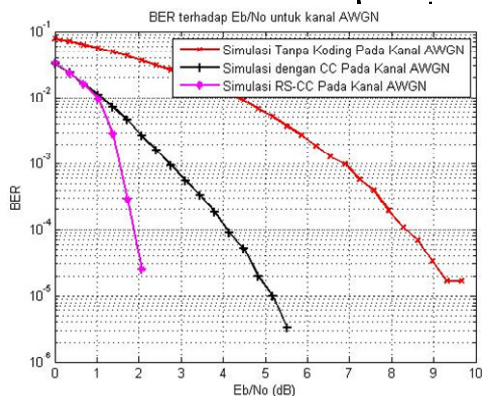
d Reec-Solomon [255 239]

Gambar 4.15 Grafik Hasil Simulasi parameter *Reed-Solomon* [63,47] (a.), [127,111] (b.), [191,175] (c.), [255,239] (d.) berdasarkan modulasi BPSK
 Sumber: Hasil Simulasi

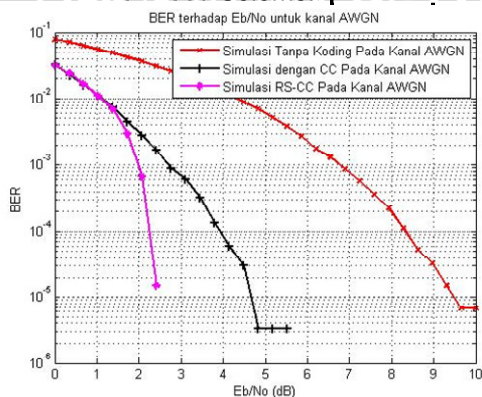




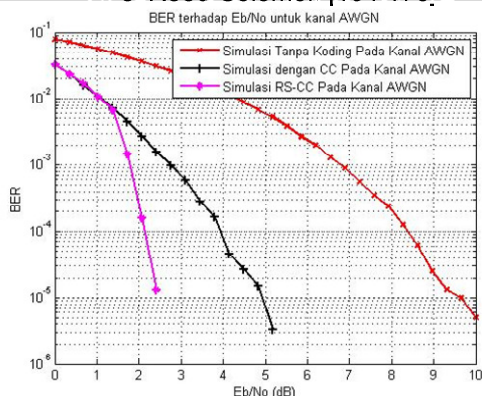
a Reed-Solomon [63 47]



b Reed-Solomon [127 111]

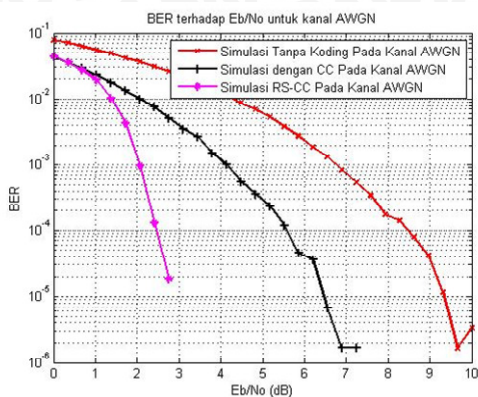


c Reed-Solomon [191 175]

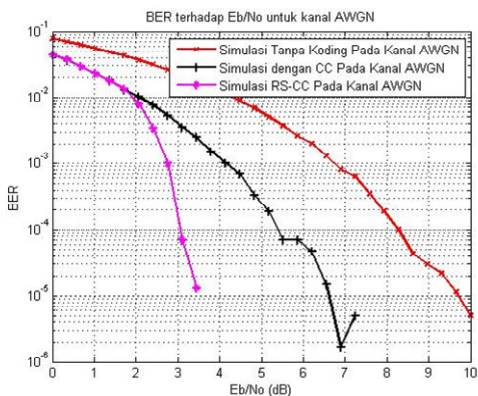


d Reed-Solomon [255 239]

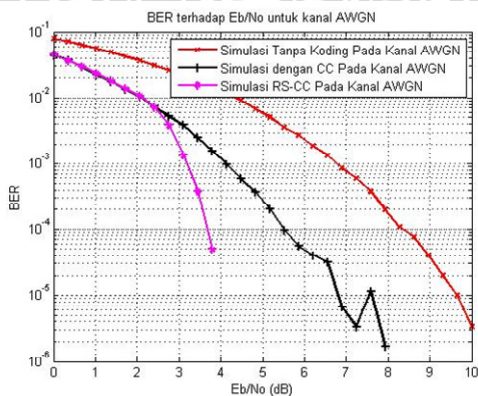
Gambar 4.16 Grafik Hasil Simulasi parameter *Reed-Solomon* [63,47] (a.), [127,111] (b.), [191,175] (c.), [255,239] (d.) berdasarkan modulasi QPSK
Sumber: Hasil Simulasi



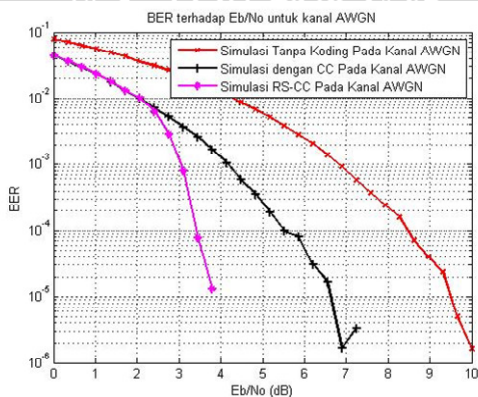
a Reed-Solomon [63 47]



b Reed-Solomon [127 111]



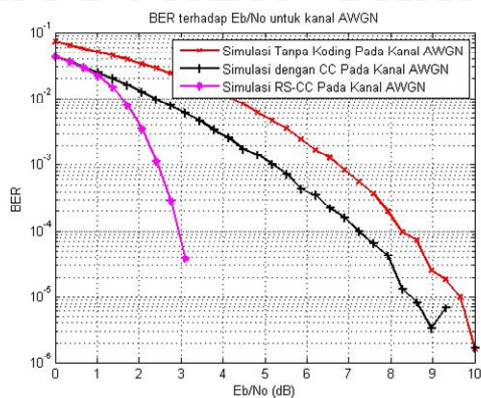
c Reed-Solomon [191 175]



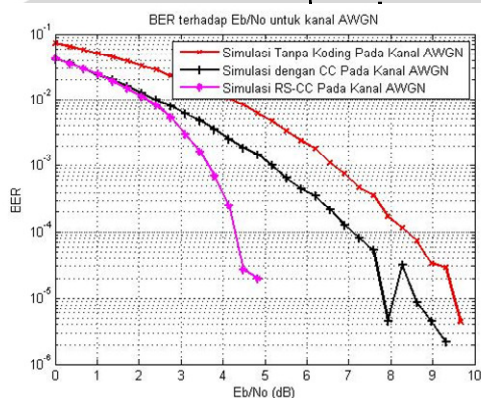
d Reed-Solomon [255 239]

Gambar 4.17 Grafik Hasil Simulasi parameter Reed-Solomon [63,47] (a.), [127,111] (b.), [191,175] (c.), [255,239] (d.) berdasarkan modulasi 16QAM
Sumber: Hasil Simulasi

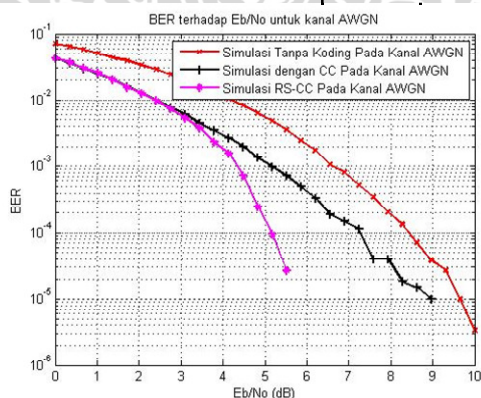




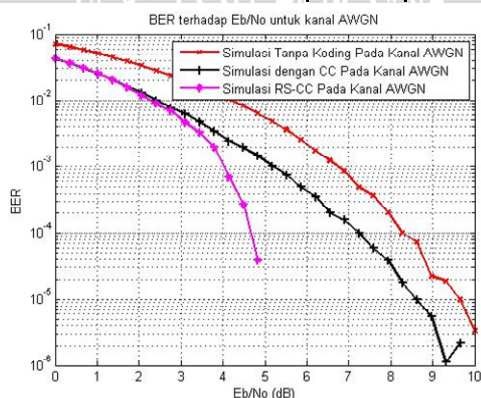
a Reed-Solomon [63 47]



b Reed-Solomon [127 111]



c Reed-Solomon [191 175]



d Reed-Solomon [255 239]

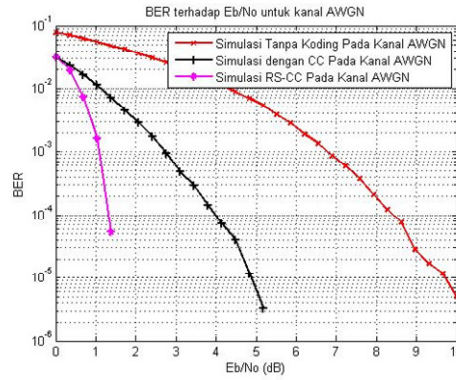
Gambar 4.18 Grafik Hasil Simulasi parameter Reed-Solomon [63,47] (a.), [127,111] (b.), [191,175] (c.), [255,239] (d.) berdasarkan modulasi 64QAM
 Sumber: Hasil Simulasi

Hasil simulasi yang ditunjukkan Gambar 4.15, 4.16, 4.17 dan 4.18 memperlihatkan efek performa kode *Reed solomon*-Konvolusional jika dibandingkan dengan sistem tanpa menggunakan pengkodean. Hal tersebut tentu sangat signifikan untuk suatu sistem komunikasi khususnya sistem komunikasi *wireless*. Parameter n atau panjang kode pada *Reed solomon* sebagai bagian penting analisis memperlihatkan grafik yang berbeda untuk setiap nilainya. Hasil simulasi memperlihatkan bahwa semakin kecil nilai n maka coding gain yang diperoleh terhadap sistem tanpa pengkodean semakin besar.

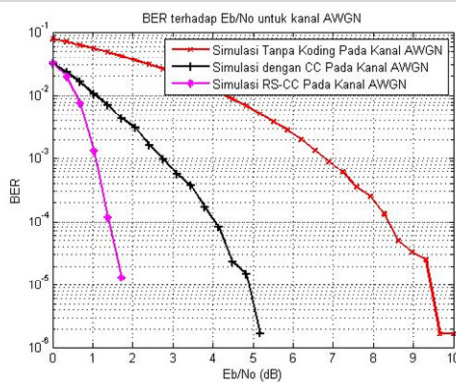
Grafik perbandingan Eb/No terhadap BER diatas memperlihatkan bahwa teknik kode *Reed solomon*-Konvolusional memberikan hasil yang lebih baik jika dibandingkan dengan sistem tanpa pengkodean. Hal tersebut jelas karena faktor FEC dimana kanal *wireless* membutuhkan teknik yang tepat sehingga proses retransmisi dapat ditekan. Diagram plot diatas memperlihatkan konstelasi dari modulasi BPSK, QPSK, 16QAM dan 64 QAM. Untuk nilai *coding gain* dari tiap perubahan parameter pengkodean akan dibahas dalam subbab berikutnya.

4.9.2 Analisis BER terhadap Pengaruh Modulasi

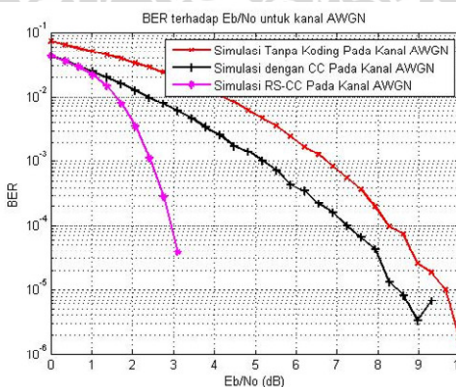
Simulasi yang dilakukan untuk menganalisa nilai BER dan Eb/No terhadap pengaruh modulasi adalah dengan melakukan simulasi modulasi yang berbeda-beda menggunakan satu jenis parameter *Reed solomon*-Konvolusional. Modulasi yang digunakan adalah BPSK, QPSK, 16QAM dan 64QAM. Parameter kode *Reed solomon* yang akan digunakan adalah GF=8 dan nilai $[n,k]$: $[63,47]$, $[127,111]$, $[191,175]$, $[255,239]$. Sedangkan parameter kode Konvolusional dibuat tetap yaitu kode generator = $[7 \ 5]$ dan $K=3$. Hasil simulasi modulasi BPSK, QPSK, 16QAM, 64QAM dengan pengkodean *Reed solomon*-Konvolusional $[63,47]$ ditunjukkan pada Gambar 4.19, $[127,111]$ ditunjukkan pada Gambar 4.20, $[191,175]$ ditunjukkan pada Gambar 4.21, $[255,239]$ ditunjukkan pada Gambar 4.22.



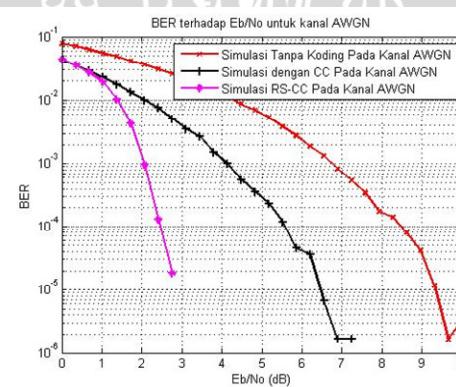
a BPSK



b QPSK



c 16QAM

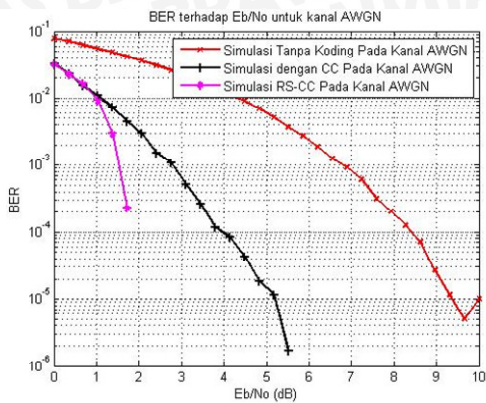


d 64QAM

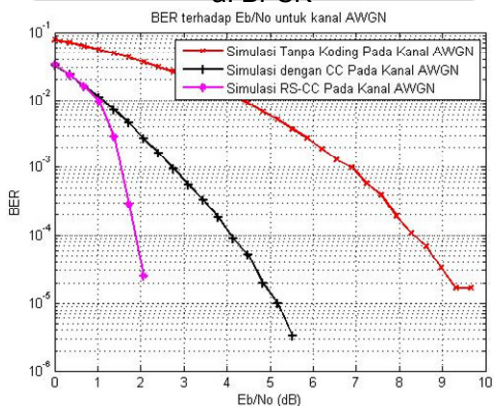
Gambar 4.19 Grafik Hasil Simulasi berdasarkan parameter Reed-Solomon [63,47] modulasi BPSK (a.), QPSK (b.), 16-QAM (c.) dan 64-QAM (d.)

Sumber: Hasil Simulasi

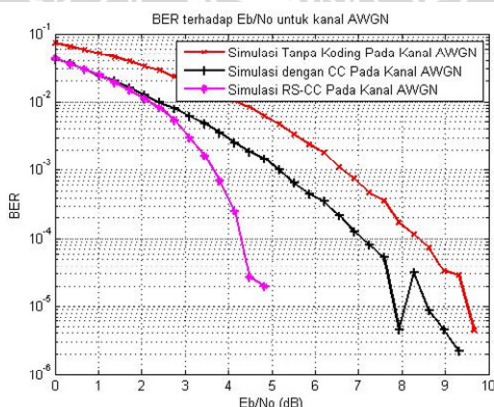




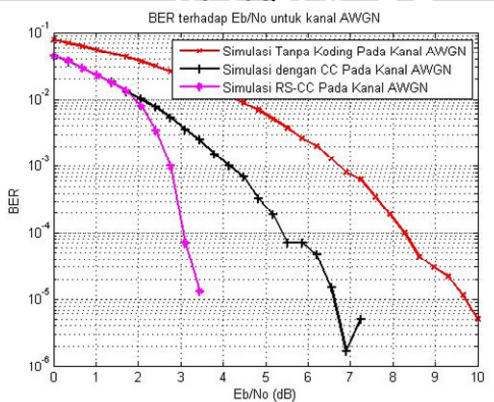
a. BPSK



b. QPSK

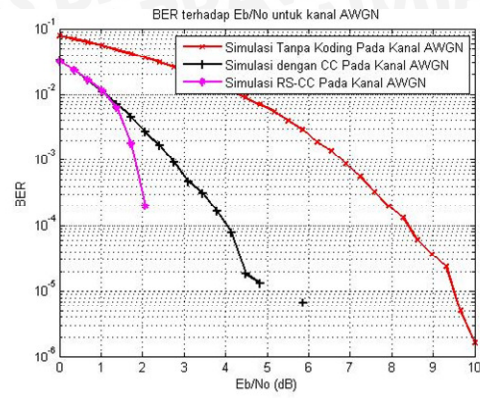


c. 16QAM

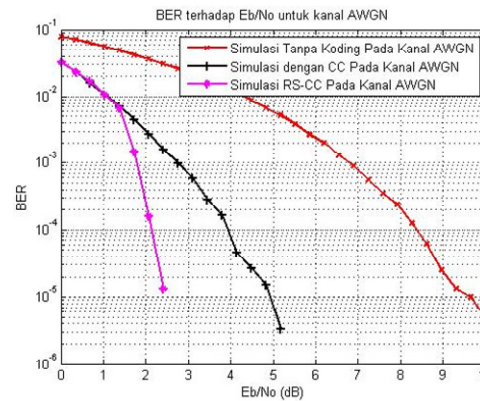


d. 64QAM

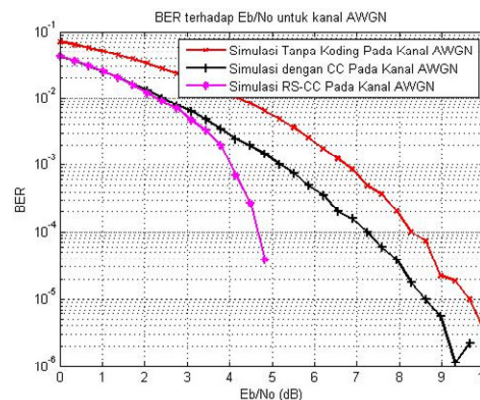
Gambar 4.20 Grafik Hasil Simulasi berdasarkan parameter Reed-Solomon [127,111] modulasi BPSK, QPSK, 16-QAM dan 64-QAM
 Sumber: Hasil Simulasi



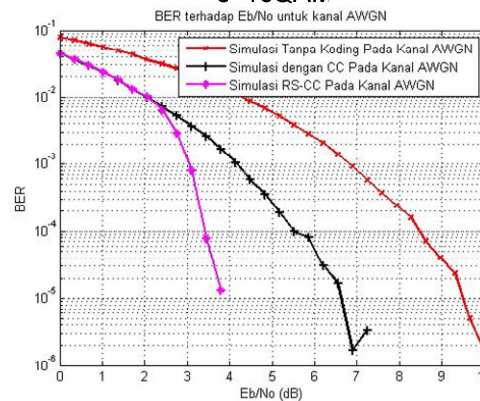
a BPSK



b QPSK

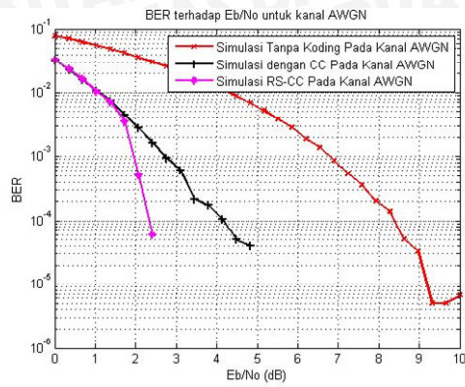


c 16QAM

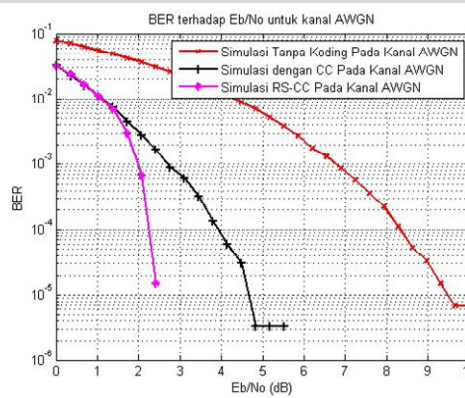


d 64QAM

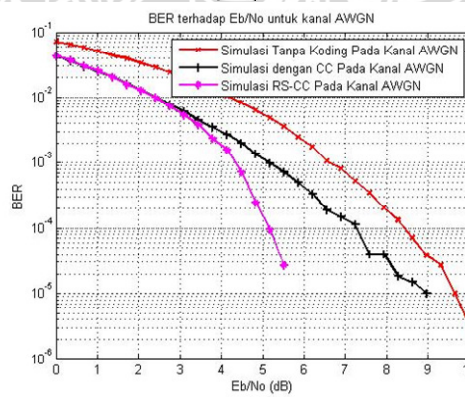
Gambar 4.21 Grafik Hasil Simulasi berdasarkan parameter Reed-Solomon [191,175] modulasi BPSK, QPSK, 16-QAM dan 64-QAM
 Sumber: Hasil Simulasi



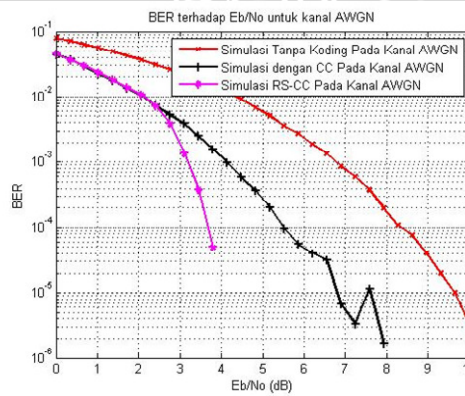
a BPSK



b QPSK



c 16QAM



d 64QAM

Gambar 4.22 Grafik Hasil Simulasi berdasarkan parameter Reed-Solomon [255,239] modulasi BPSK, QPSK, 16-QAM dan 64-QAM
 Sumber: Hasil Simulasi

Hasil simulasi yang ditunjukkan Gambar 4.19, 4.20, 4.21 dan 4.22 memperlihatkan efek performa modulasi yang digunakan pada WiMAX. Jika menggunakan mekanisme modulasi adaptif seperti yang sudah dijelaskan pada Bab 2 sebelumnya dimana modulasi menjaga nilai BER tertentu. Maka misalkan untuk BER pada rentang 10^{-4} , akan memberikan nilai Eb/No sekitar 2-5 dB untuk level modulasi 64 QAM, 16 QAM, dan QPSK. Namun yang perlu diperhatikan adalah bahwa penggunaan modulasi 64 QAM dan juga 16 QAM memberikan nilai throughput dan juga data rate yang lebih baik. Sehingga penggunaan level modulasi 64 QAM dan juga 16 QAM digunakan untuk jarak antara BTS dan penerima yang dekat. Hal ini sesuai dengan penggunaan level modulasi seperti pada Gambar 2.8 dimana untuk jarak yang dekat cocok menggunakan level modulasi 64 QAM dan 16 QAM.

Lain halnya dengan modulasi QPSK yang meskipun memakai nilai Eb/No yang sama namun karena semakin jauh dari BTS derau yang ada semakin tinggi, mengakibatkan BTS harus mengirimkan level daya yang lebih baik lagi. Sehingga penggunaan QPSK akan berdampak digunakan untuk jarak yang lebih jauh dibandingkan 64 QAM dan 16 QAM.

Sedangkan untuk level modulasi BPSK lebih cocok untuk digunakan pada jarak yang sangat jauh (berada pada ring terluar). Hal ini dikarenakan modulasi BPSK memberikan sistem komunikasi lebih tahan terhadap keadaan kanal khususnya pada jarak yang jauh. Karena semakin jauh jarak terhadap BTS akan mengakibatkan derau yang lebih buruk, maka dengan modulasi BPSK dapat dimainkan pemilihan level daya untuk mencapai nilai BER yang lebih baik.

4.9.3 Coding Gain terhadap Pengaruh Modulasi dan Pengkodean

Coding Gain merupakan perbedaan nilai *energy bit to Noise ratio* (Eb/No) antara sistem yang menggunakan pengkodean dengan sistem yang menggunakan pengkodean lain atau tanpa menggunakan pengkodean, untuk mencapai suatu nilai BER yang sama. Tabel 4.2 merupakan hasil simulasi yang menunjukkan besarnya nilai Eb/No untuk pengkodean *Reed Solomon*-Konvolusional dan modulasi digital yang terdapat dalam WiMAX untuk mencapai nilai BER sebesar 10^{-3} . Pada modulasi BPSK *coding gain* antara pengkodean Konvolusional dengan *Reed Solomon*-Konvolusional yang diperoleh dalam simulasi adalah 1,7 dB. Nilai tersebut didapat dari selisih nilai Eb/No kode Konvolusi-*Reed solomon* [63,47] dan Kode Konvolusi [7,5], K=3. Dengan cara yang sama, maka *coding gain* untuk modulasi QPSK sebesar 1,7 dB, 16QAM

sebesar 2,1 dB dan 64QAM sebesar 2,8 dB. Dalam Tabel 4.2 juga dapat dilihat bahwa semakin kecil nilai n dalam parameter pengkodean *Reed Solomon* maka coding gain yang diperoleh semakin besar.

Tabel 4.2 Nilai E_b/N_0 (dB) pada $BER = 10^{-3}$ dengan teknik modulasi dan nilai parameter pengkodean yang berbeda-beda.

Modulasi	BPSK	QPSK	16 QAM	64 QAM
Pengkodean :	E_b/N_0 (dB) pada $BER=10^{-3}$			
Kode Konvolusi [7,5], K=3	2,8	2,8	4,2	5,2
Kode Konvolusi- <i>Reed solomon</i> [63,47]	1,1	1,1	2,1	2,4
Kode Konvolusi- <i>Reed solomon</i> [127,111]	1,5	1,5	2,8	3,6
Kode Konvolusi- <i>Reed solomon</i> [191,175]	1,8	1,8	3	4
Kode Konvolusi- <i>Reed solomon</i> [255,239]	2	2	3,2	4,3

Sumber: Hasil simulasi



BAB V PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis, maka dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut :

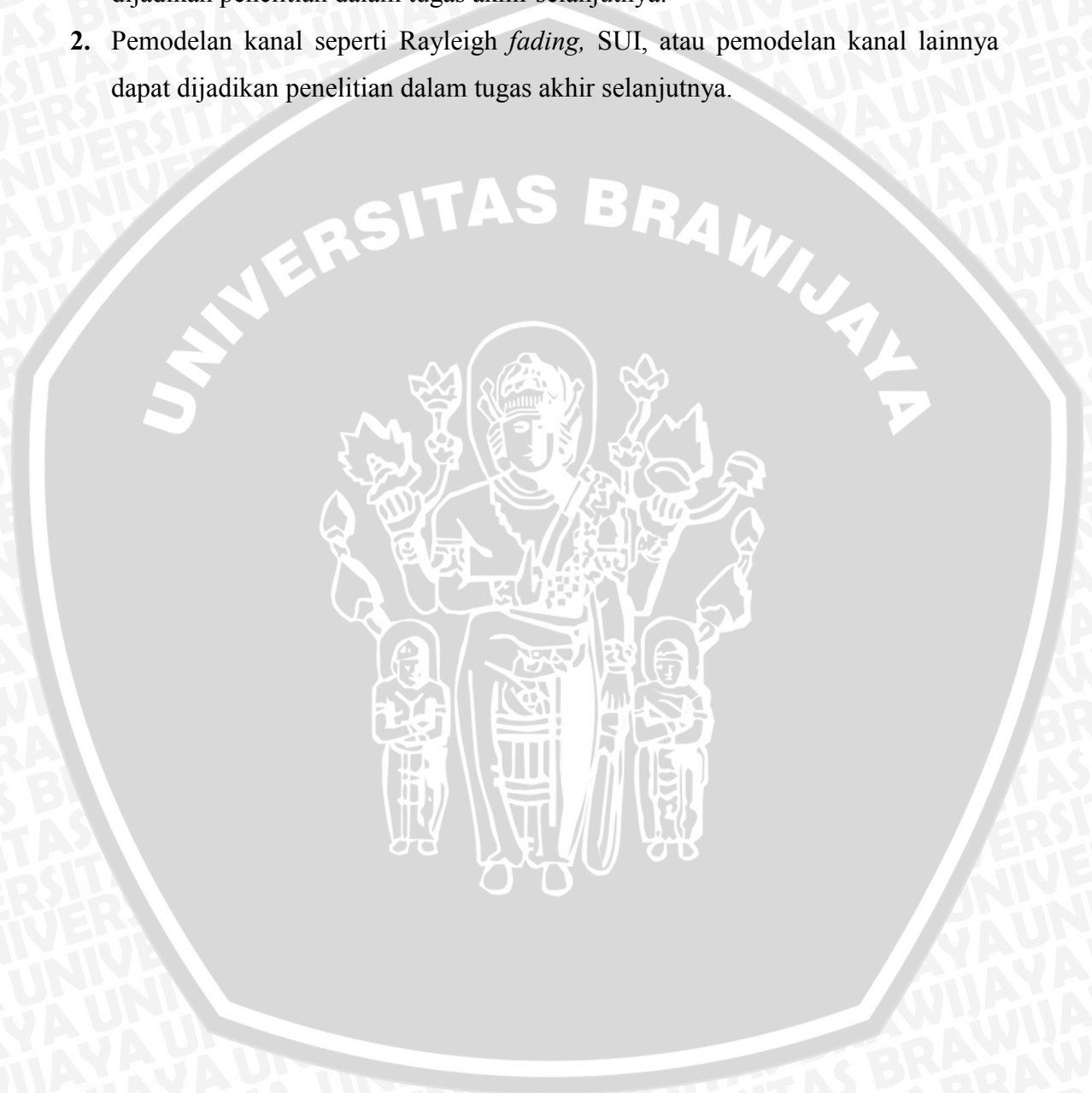
1. Secara umum, penerapan *Adaptive Coded Modulation* (ACM) pada sistem komunikasi WiMAX dapat meningkatkan performansi dari sistem komunikasi.
2. Teknik ACM dengan menggunakan pengkodean *Reed Solomon*-Konvolusional dan modulasi digital memberikan hasil yang lebih baik bagi sistem komunikasi wireless dengan adanya faktor coding gain didapat. Hasil simulasi memperlihatkan bahwa untuk nilai BER 10^{-3} didapatkan coding gain sekitar 1,7 - 2,8 dB bergantung pada nilai n dalam pengkodean *Reed Solomon*. Selain itu, hasil simulasi memperlihatkan bahwa nilai Eb/No yang digunakan untuk mendapatkan BER 10^{-4} sekitar 2-5 dB. Hal ini membuktikan bahwa dengan menggunakan pengkodean tersebut, nilai BER yang sama dapat diperoleh dengan nilai Eb/No yang lebih kecil. Selain itu dengan adanya coding gain tersebut, maka prinsip retransmisi akibat data yang rusak dapat ditekan.
3. Parameter nilai n dalam pengkodean *Reed Solomon* mempengaruhi kinerja dari pengkodean. Semakin kecil nilai n dalam parameter pengkodean *Reed Solomon* maka coding gain yang diperoleh semakin besar. Hasil simulasi memperlihatkan bahwa untuk nilai BER sebesar 10^{-3} , nilai n=255 membutuhkan nilai Eb/No sekitar 2 - 4,3 dB sedangkan untuk n= 63 membutuhkan sekitar 1,1 – 2,4 dB.
4. Teknik modulasi adaptif pada WiMAX membedakan level modulasi yang digunakan sesuai dengan umpan balik yang diberikan oleh penerima. Umpan balik yang diberikan oleh penerima bergantung pada nilai Eb/No yang diukur dan juga kondisi kanal yang ada. Berdasar hasil umpan balik tersebut, level modulasi akan dipilih untuk mencapai nilai data rate yang maksimum bergantung pada kondisi kanal dan juga jarak.



5.2 Saran

Saran yang dapat diberikan berdasarkan proses analisis yang telah dilakukan dalam skripsi ini yaitu :

1. Selain *Reed solomon*, dalam teknik pengkodean blok terdapat metode pengkodean lain seperti *Turbo Code*. Oleh karena itu pengkodean tersebut dapat dijadikan penelitian dalam tugas akhir selanjutnya.
2. Pemodelan kanal seperti Rayleigh *fading*, SUI, atau pemodelan kanal lainnya dapat dijadikan penelitian dalam tugas akhir selanjutnya.



DAFTAR PUSTAKA

- Ahson, Syed dan Mohammad Ilyas. 2008. WiMAX Technologies, Performance Analysis, and QOS. Boca Raton : Taylor & Francis Group, LLC.
- Andrews, Jeffery G., Arunabha Ghosh dan Rias Muhamed. 2007. Fundamentals of WiMAX. United States of America: Pearson Education, Inc.
- Bahai, Ahmad. R.S. Burton R.S. dan Mustafa Ergen. 2004. Multi-Carrier Digital Communication. Boston : Springer Sciences and Business Media, LLC.
- Chen, Kwang-Cheng dan J. Roberto B. de Marca. 2008. Mobile WiMAX. England : JohnWiley & Sons, Ltd.
- Efendi, Rustam. 2007. Limited Feedback Precoding Dan Mimo Spatial Multiplexing Untuk Aplikasi 802.16e. Tesis. STT Telkom.
- Ergan, Mustafa. 2009. Mobie Broadband Including WiMAX and LTE. Berkeley : Springer Sciences and Business Media, LLC.
- Fazel, K. dan S. Kaiser. 2008. Multi-carrier and Spread Spectrum Systems : from OFDM and MC-CDMA to LTE and WiMAX. England : John Wiley & Sons Ltd.
- Glisic, Savo. 2004. Advance Wireless Communication. England : John Wiley & Sons Ltd.
- Hara, S. dan Ramjee Prasaad. 2003. Multicarrier Technology for 4G Mobile Communication. London : Artech House.
- IEEE 802.16 Working Group. 2004. IEEE Standard for Local and Metropolitan Area Networks, Air Interface for Fixed Broadband Wireless Access Systems. New York : IEEE, Inc.
- Kuhn, Volker. 2006. Wireless Communication over MIMO Channel. England : John Wiley & Sons Ltd.
- Leon-Garcia, Alberto dan Indra Widjaja. 2001. Communication Network :Fundamental Concepts and Key Architecture. New York : McGraw-Hill.

LAMPIRAN

Listing program dengan pengkodean Reed Solomon [63,47] – Konvolusional [7,5] dengan Modulasi BPSK

```

clear all;
close all;
tic
%% Konstanta
n=1.2*10^4 %Jumlah data acak
M=2; %Level Modulasi
k=log2(M);
iterasi=5;
Skala=20;

% Reed-Solomon parameter
K=47;
N=63;
T=8;

%nilai Eb/No(dB) yg dihitung BER-nya
ebno=linspace(0.001,10,Skala)

%% Pembangkitan Data acak
data_acak=randint(1,n); %Data acak

%% Pre-RS encoding
jumlah_bit=size(data_acak,2);
jumlah_byte=jumlah_bit/8;
byte=(bi2de(reshape(data_acak,8,jumlah_byte).','left-msb').');
jumlah_blok=ceil(jumlah_byte/K);

%if we have multiple of block number of byte then insert and extra block to
%have a trailing 0x00
if(jumlah_blok==floor(jumlah_byte/K))
    jumlah_blok=jumlah_blok+1;
end

byte(jumlah_byte+1:jumlah_blok*K-1)=255;

% byte terakhir adalah 0x00
byte=[byte 0];

%% RS encoding
data_blok=reshape(byte,K,jumlah_blok).'; %baris adalah blok yg akan di-
encoding
clear jumlah_blok;
clear byte;

%RS encoding di bypass untuk BPSK
if(N == K)
    rs_data=data_blok;
else

% RS encoding untuk modulasi lain
rsenc_block=rsenc(gf(data_blok,8),N,K,[],'beginning');

```



```

rs_data=double(rsenc_block.x); % conversion of GF into Double
end

clear data_blok;
clear rsenc_block;

%konversi ke biner
jumlah_blok=size(rs_data,1);
for i=1:jumlah_blok
    %mencari data biner dari desimal
    data_biner_rs=de2bi(rs_data(i,:),8,'left-msb').';
    rs_encoded_data(i,:)=data_biner_rs(:)';
end

%% Pre-CC Encoding
inputCC=reshape(rs_encoded_data,1,[]);
clear rs_data;
clear data_biner_rs;

%% CC Encoding
trellis= poly2trellis (3,[7 5]);
code_CC= convenc(data_acak,trellis); %koding dengan konvolusional coding
code=convenc(inputCC,trellis);

%% Modulasi
bitkesimbol_CC=bi2de(reshape(code_CC,k,length(code_CC)/k).','left-msb');
%bitkesimbol dgn code CC
bitkesimbol_RSCC=bi2de(reshape(code,k,length(code)/k).','left-msb');
%bitkesimbol dgn code RSCC
bitkesimbol=bi2de(reshape(data_acak,k,length(data_acak)/k).','left-msb');
%bitkesimbol tanpa code
modulasi_CC=pskmod(bitkesimbol_CC,M); %modulasi dgn code CC
hasilmodulasi=pskmod(bitkesimbol,M); %modulasi tanpa code
y=pskmod(bitkesimbol_RSCC,M); %modulasi dgn code RSCC

%% Noise
% iterasi
for a=1:length(ebno)
    jumlah_salah(a)=0;
    bitsalah(a)=0;
    bitsalah_CC(a)=0;
for h=1:iterasi

% white gaussian noise
in_noise = [randn(length(y),1) + j*randn(length(y),1)];
noise_CC=[randn(length(modulasi_CC),1) + j*randn(length(modulasi_CC),1)];
noise_tanpacode=[randn(length(hasilmodulasi),1) +
j*randn(length(hasilmodulasi),1)];
%N-point data random sebagai AWGN dengan daya noise tertentu
noise=(1/sqrt(10^(ebno(a)/10)*2))*in_noise;

%% Demodulasi
sinyalditerima_CC=modulasi_CC+((1/sqrt(10^(ebno(a)/10)*2))*noise_CC);
sinyalditerima=hasilmodulasi+((1/sqrt(10^(ebno(a)/10)*2))*noise_tanpacode);
hasildemodulasi=pskdemod(sinyalditerima,M); %demodulasi tanpa code
hasildemodulasi_CC=pskdemod(sinyalditerima_CC,M); %demodulasi dgn code CC

r=y+noise; %dataditerima oleh receiver
if a==15

```

```

    rsp=r;
end
zsym=pskdemod(r,M);    %proses demodulasi RSCC

%simbol ke bit
z=de2bi(zsym,'left-msb'); %dengan RSCC
z=reshape(z.',prod (size(z)),1);

simbolkebit=de2bi(hasildemodulasi,'left-msb').'; %tanpa code
simbolkebit=reshape(simbolkebit,prod (size(simbolkebit)),1).';

simbolkebit_CC=de2bi(hasildemodulasi_CC,'left-msb').';%dengan CC
simbolkebit_CC=reshape(simbolkebit_CC,prod (size(simbolkebit_CC)),1).';

%% CC Decoding
tb=15; %nilai traceback length
decoded=vitdec(z,trellis,tb,'trunc','hard'); %viterbi decoding RSCC
decoded_CC=vitdec(simbolkebit_CC,trellis,tb,'trunc','hard'); %viterbi
decoding CC
%% Pre-RS Decoding
shape=reshape(decoded,1,'');
pre_rs=reshape(shape,jumlah_blok,[]);

%% RS Decoding
syms=size(pre_rs,1);    % jumlah bit
jumlah_byte=size(pre_rs,2)/8; % jumlah byte disetiap blok

for ii=1:syms
    % konversi bit ke byte
    byte=bi2de(reshape(pre_rs(ii,:),8,jumlah_byte).','left-msb').';
    data_blok(ii,:)=byte;
end
clear byte;
if(N == K)% bypass RS decoding untuk BPSK
    rsdecoded_data=data_blok;
    errs_corr=0;
else

%decode the data and get the error correction count
[rsdecoded_data,errs_corr]=rsdec(gf(data_blok,8),N,K,[],'beginning');

% GF to double conversion
rsdecoded_data=double(rsdecoded_data.x);
end

%% Post-RS Decoding
temp=reshape(rsdecoded_data.',1,[]);
for iii=1:length(temp)
    if temp(1,iii)==255 && temp(1,iii+1)==255 && temp(1,iii+2)==255 &&
temp(1,iii+3)==255 %&& temp(1,iii+4)==255
        posisi=iii-1;
        break;
    end
end
clear rsdecoded_data;
posisi=length(temp)-1;
for jjj=1:posisi
    B(1,jjj)=temp(1,jjj);
end

```



```

clear temp;
temp2=de2bi(B,'left-msb').';
clear B;
destobin=reshape(temp2,1,[]);
clear temp2;
for iiii=1:n
    akhir(1,iiii)=destobin(1,iiii);
end
clear destobin;
%% Hitung error bit
%salah(a)=salah(a) + size(find([akhir- data_acak]),2)
jumlah_salah(a)=jumlah_salah(a) + size(find([akhir- data_acak]),2);
bitsalah(a)=bitsalah(a) + size(find([simbolkebit- data_acak]),2);
bitsalah_CC(a)=bitsalah_CC(a) + size(find([decoded_CC - data_acak]),2);
%jumlah_salah(a)=jumlah_salah(a) + sum (abs(akhir- data_acak))/2
end;
jumlah_salah(a)=jumlah_salah(a)/iterasi; %BER= jumlah error rata2
bitsalah(a)=bitsalah(a)/iterasi;
bitsalah_CC(a)=bitsalah_CC(a)/iterasi;
end;
sim_ber_RSCC=jumlah_salah/n
ber_bitsalah=bitsalah/n
ber_bitsalah_CC=bitsalah_CC/n

%% Plot
semilogy(ebno,ber_bitsalah,'rx-','LineWidth',1.5)
hold on;
semilogy(ebno,ber_bitsalah_CC,'k+-','LineWidth',1.5)
hold on;
semilogy(ebno,sim_ber_RSCC,'m*-','LineWidth',1.5)
hold on;

%routine untuk memplot P(e) sebagai fungsi dari EbNo teoritis
%t=linspace(0.001,10,Skala);
%Pe=0.5.*erfc(sqrt(10.^(t/10)));
%semilogy(t,Pe,'blue');
grid on;

title('BER terhadap Eb/No untuk kanal AWGN');
%legend ('Simulasi Tanpa Koding Pada Kanal AWGN','Simulasi dengan CC Pada
Kanal AWGN','Simulasi RS-CC Pada Kanal AWGN','Location','SouthOutside');
legend ('Simulasi Tanpa Koding Pada Kanal AWGN','Simulasi dengan CC Pada
Kanal AWGN','Simulasi RS-CC Pada Kanal AWGN',1);
xlabel('Eb/No (dB)');
ylabel('BER');
%subplot(2,1,1);
scatterplot(rsp);
title ('Scatter plot (Eb/No=5dB)')
%subplot(2,1,1);
scatterplot(y);
axis([-2 2 -2 2]);
title ('Plot Modulasi BPSK');
grid on;
scatterplot(noise);
title ('Plot Noise AWGN');
grid on;
scatterplot(r);
title ('Plot Modulasi BPSK + Noise AWGN');
grid on;

```

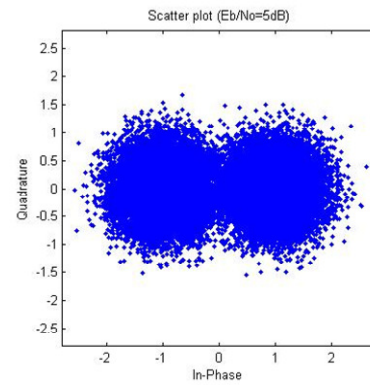
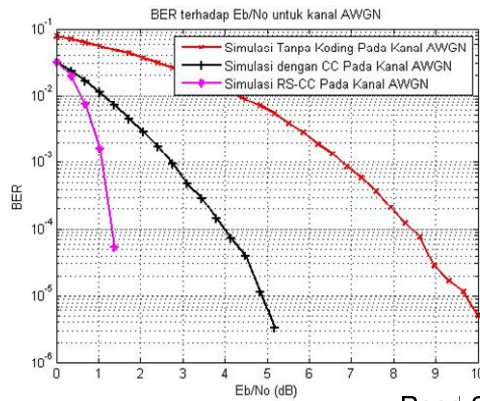
```
%r_real=real(y);  
%r_img=imag(y);  
%plot(r_real,r_img);  
Toc
```

Listing program plot sinyal

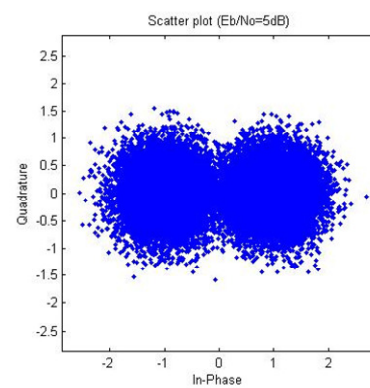
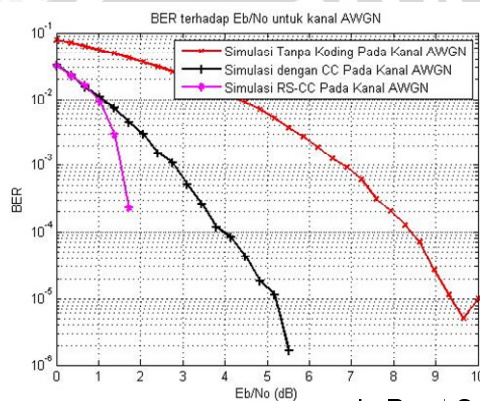
```
clear all;  
close all;  
konvolusinal=[0 1 0 1 0 0 0 0 0 0 0 1 1 0 0 1 1 0 0 1 1 1 1 0 0 1 0 1 1 1 0 0  
1 0 0 1 1 1 0 0 1 0 1 0 1 0 1 1 0 0 1 1 1 1 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 1 0 1 0 0 0 0 0  
0 0 0 1 1 0 1 1 0 0 0 0 0 0 1 1 0 0 1 1 0 1 1 0 1 1 0 0 0 1 0 0 1 0 1 1 1 1 1  
1 1 1 1 0 0 1 0 0 0 1 0 0 1 0 1 1 0 1 0 0 1 0 0 1 1 0 0 0 1 1 1 1 0 1 0 1 0 1  
0 1 0 0 1 1 1 0 1 1 1]  
Rb=1e3; %bit rate  
amplitude=1; % Amplitude of NRZ data  
  
[time,nrzData,Fs]=NRZ_Encoder(konvolusinal,Rb,amplitude,'Polar');  
Tb=1/Rb;  
  
%subplot(2,2,1);  
plotHandle=plot(time,nrzData);  
xlabel('Waktu');  
ylabel('Amplitudo');  
title('Pengkodean Reed Solomon');  
set(plotHandle,'LineWidth',2.5);  
maxTime=max(time);  
maxAmp=max(nrzData);  
minAmp=min(nrzData);  
axis([0,maxTime,minAmp-1,maxAmp+1]);  
grid on;
```



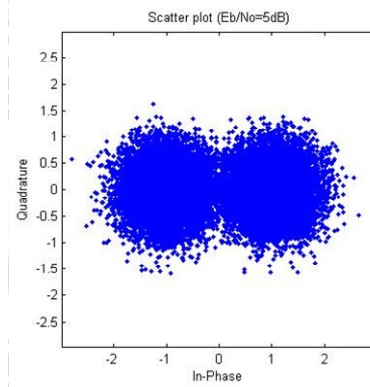
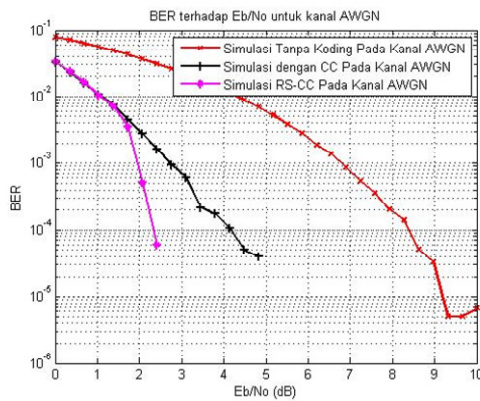
Grafik Hasil Simulasi parameter Reed-Solomon [63,47] (a.), [127,111] (b.), [191,175] (c.), [255,239] (d.) berdasarkan modulasi BPSK



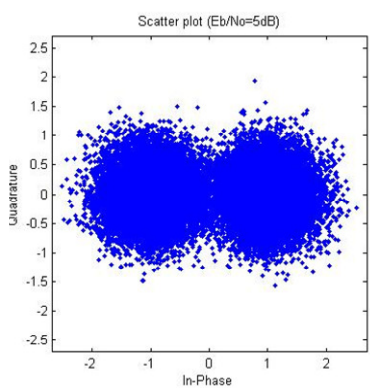
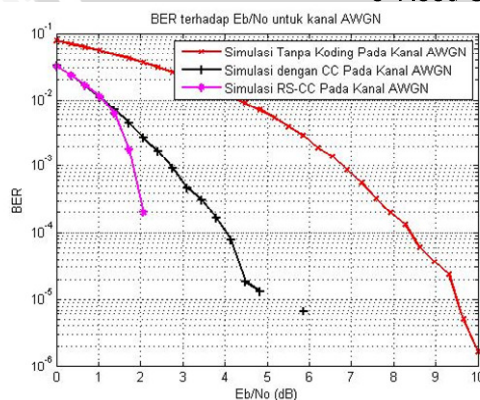
a Reed-Solomon [63 47]



b Reed-Solomon [127 111]



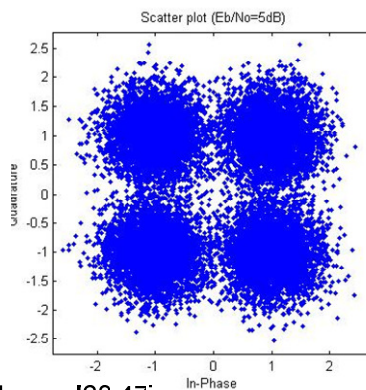
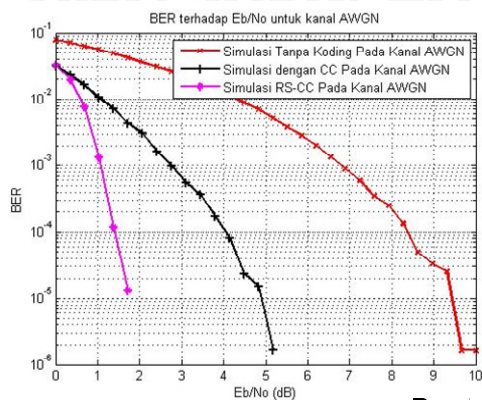
c Reed-Solomon [191 175]



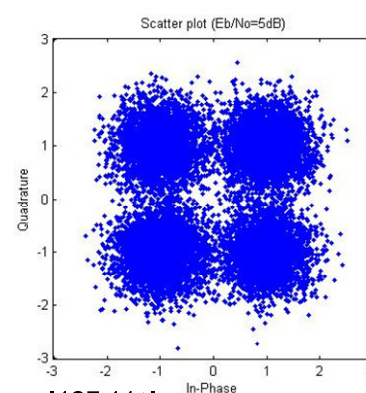
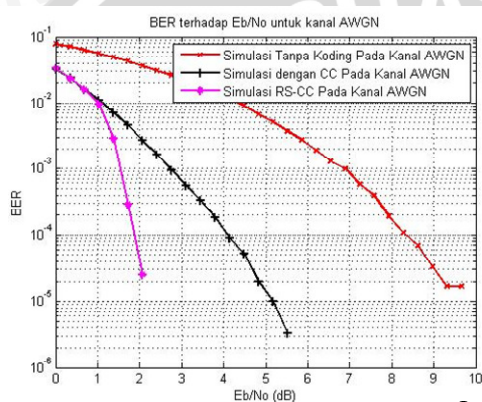
d Reed-Solomon [255 239]



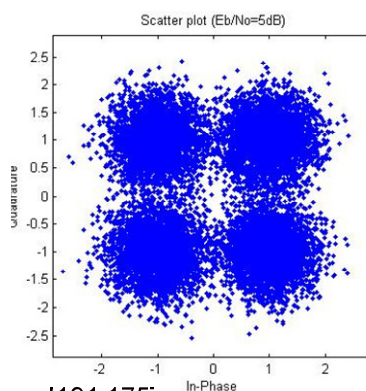
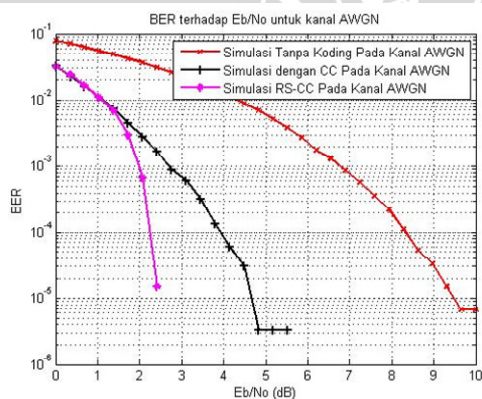
Grafik Hasil Simulasi parameter Reed-Solomon [63,47] (a.), [127,111] (b.), [191,175] (c.), [255,239] (d.) berdasarkan modulasi QPSK



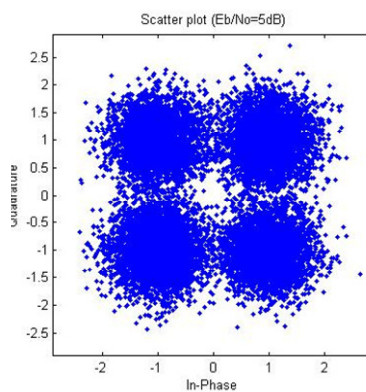
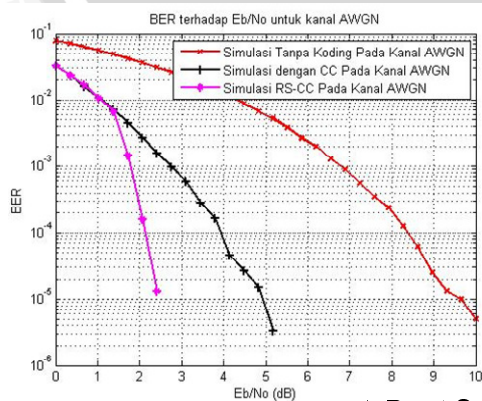
a Reed-Solomon [63 47]



b Reed-Solomon [127 111]

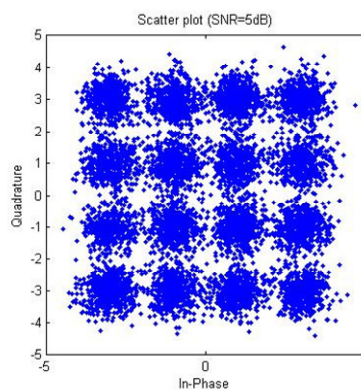
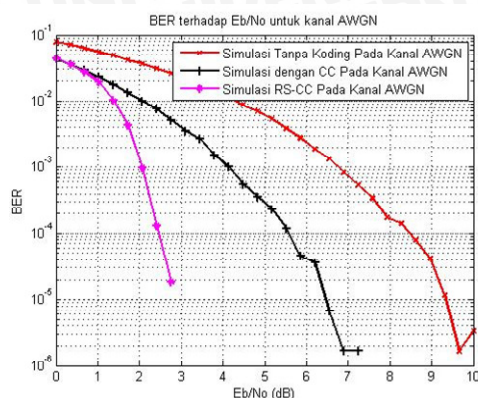


c Reed-Solomon [191 175]

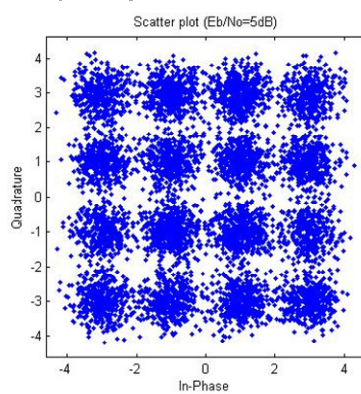
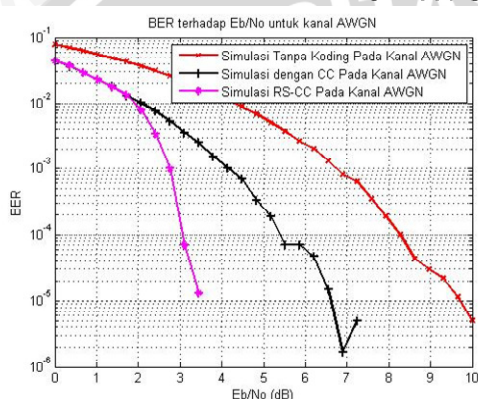


d Reed-Solomon [255 239]

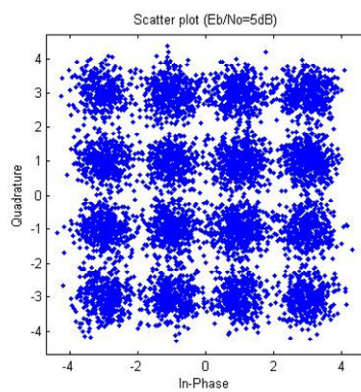
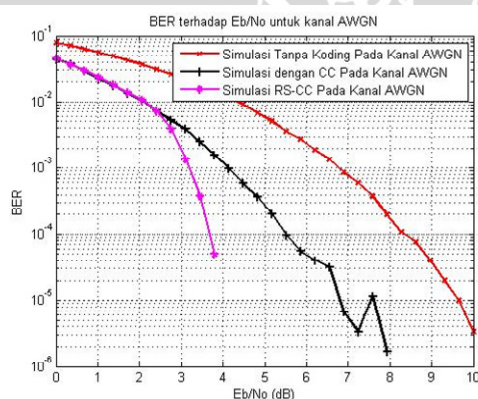
Grafik Hasil Simulasi parameter Reed-Solomon [63,47] (a.), [127,111] (b.), [191,175] (c.), [255,239] (d.) berdasarkan modulasi 16QAM



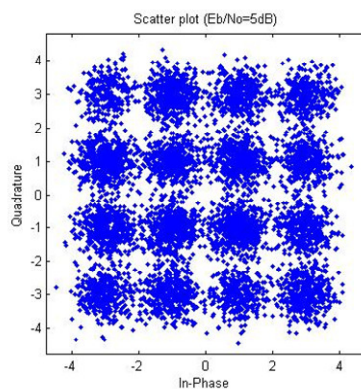
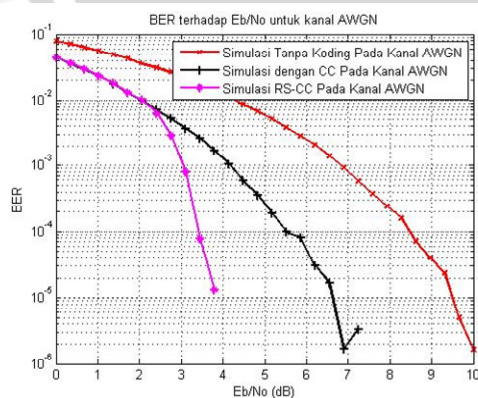
a Reed-Solomon [63 47]



b Reed-Solomon [127 111]

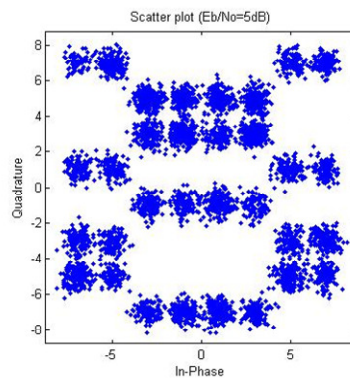
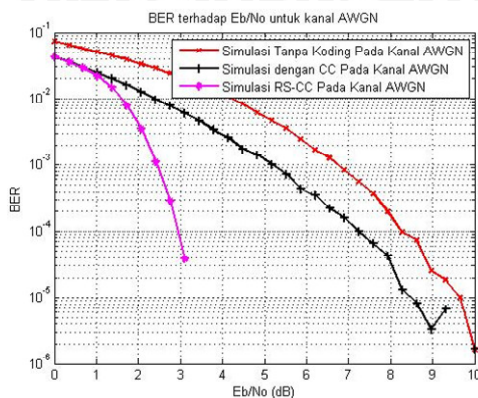


c Reed-Solomon [191 175]

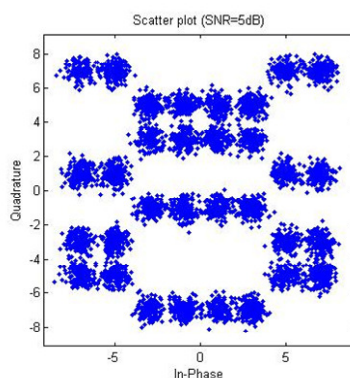
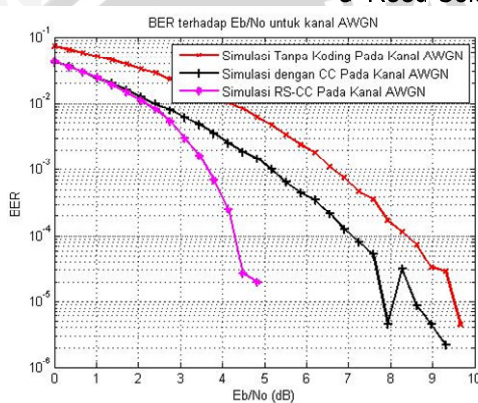


d Reed-Solomon [255 239]

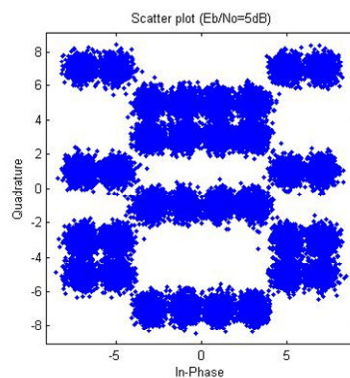
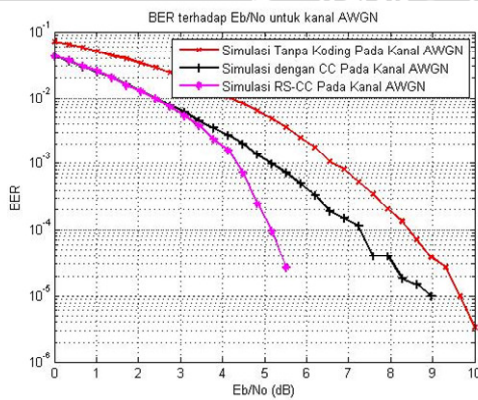
Grafik Hasil Simulasi parameter *Reed-Solomon* [63,47] (a.), [127,111] (b.), [191,175] (c.), [255,239] (d.) berdasarkan modulasi 64QAM



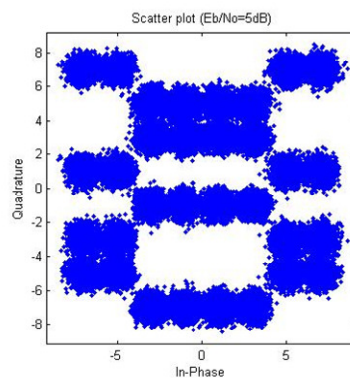
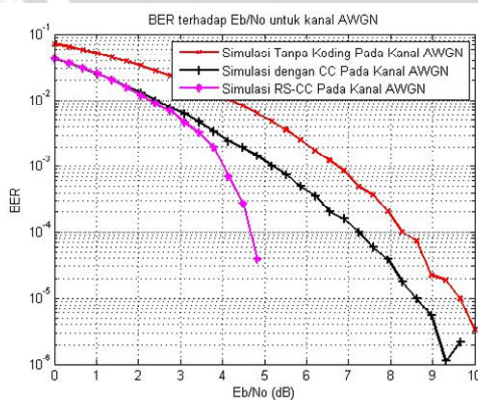
a Reed-Solomon [63 47]



b Reed-Solomon [127 111]



c Reed-Solomon [191 175]



d Reed-Solomon [255 239]