



**ANALISA KINERJA JARINGAN *WORLDWIDE INTEROPERABILITY FOR
MICROWAVE ACCESS (WiMAX)* MENGGUNAKAN
TEKNIK *ADAPTIVE MODULATION***

SKRIPSI

Oleh

**Firman Nico Chandra
NIM 091910201060**

**PROGRAM STUDI STRATA SATU TEKNIK
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS JEMBER
2015**



**ANALISA KINERJA JARINGAN *WORLDWIDE INTEROPERABILITY FOR
MICROWAVE ACCESS (WiMAX)* MENGGUNAKAN
TEKNIK *ADAPTIVE MODULATION***

SKRIPSI

diajukan guna melengkapi tugas akhir dan memenuhi syarat-syarat
untuk menyelesaikan Program Studi Teknik Elektro (S1)
dan mencapai gelar Sarjana Teknik

**Firman Nico Chandra
NIM 091910201060**

**PROGRAM STUDI STRATA SATU TEKNIK
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS JEMBER
2015**

PERSEMBAHAN

1. Tuhan Yang Maha Esa Allah SWT syukur Alhamdulillah selalau terucap yang telah memberikan Rahmat, Hidayahnya, serta petunjuk sehingga dapat terselesaikannya skripsi ini.
2. Salam dan anugerah selalu tercurahkan junjungan nabi besar kita Nabi Muhammad SAW.
3. Kedua orang tua tercinta, Ibunda Hamida dan Ayahanda Miswanto, terima kasih atas apa yang beliau berikan selama ini, limpahan kasih sayang, pengorbanan, serta doa yang selalu beliau panjatkan demi kesuksesanku.
4. Guru-guru yang membimbingku dari kecil, SDN Jember Kidul 1, SMPN 5 Jember, SMK N 2 Jember dan semua dosen Teknik Elektro Universitas Jember yang saya hormati.
5. Bapak Samsul Bachri Masmachofari, S.T., M.MT., selaku Dosen Pembimbing Utama dan Bapak Catur Suko Sarwono, S.T., M.T., selaku Dosen Pembimbing Anggota yang telah meluangkan waktu, pikiran dan perhatian selama membimbing penulisan skripsi ini sehingga dapat diselesaikan dengan baik.
6. Bapak Sumardi, S.T., M.T., selaku Dosen Pembimbing Akademik yang telah membimbing penulis selama menjadi mahasiswa dan memberi kelancaran dan dukungan selama proses penulisan skripsi.
7. Sahabat – sahabatku yang telah memberi banyak bantuan, dukungan dan motivasi sebagai suntikan semangat bagi penulis untuk menyelesaikan skripsi ini.
8. Teman hidupku, Meiry Fitriyaningsih untuk doa, semangat, motivasi, dan canda tawa yang selalu diberikan.
9. Teman-temanku elektro angkatan 2009 “SAK LAWASE TETEP DULUR”. Terima kasih atas semuanya selama ini, suka duka yang telah dihadapi selama di bangku perkuliahan, kekompakan dan kebersamaan kita adalah inspirasi

bagiku untuk menjadi manusia yang lebih baik lagi. Aku takkan melupakan kalian semua dan semboyan kita yang selalu terdengar lantang dimanapun saat kita bersama: “Sopo kene? Teknik! Teknik opo? Elektro! 2009? Dulur!

10. Almamaterku tercinta Universitas Jember.

MOTTO

“ Kegagalan hanya akan terjadi bila kita menyerah “

(Lessing)

“Manusia tak selamanya benar dan tak selamanya salah, kecuali ia yang selalu mengoreksi diri dan membenarkan kebenaran orang lain atas kekeliruan diri sendiri”

“ Apabila anda berbuat kebaikan kepada orang lain, maka anda telah berbuat baik terhadap diri sendiri ”

(Benyamin Franklin)

“ Saya telah mempelajari kehidupan pria-pria besar dan wanita-wanita terkenal, dan saya menemukan bahwa mereka yang mencapai puncak keberhasilan adalah mereka yang melakukan pekerjaan-pekerjaan yang ada di hadapan mereka dengan segenap tenaga, semangat dan kerja keras ”

(Harry S. Truman)

“ Siapa yang kalah dengan senyum, dialah pemenangnya ”

(A. Hubard)

PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Firman Nico Chandra

NIM : 091910201060

menyatakan dengan sesungguhnya bahwa karya ilmiah yang berjudul “**ANALISA KINERJA JARINGAN *WORLDWIDE INTEROPERABILITY FOR MICROWAVE ACCESS (WiMAX) MENGGUNAKAN TEKNIK *ADAPTIVE MODULATION****” adalah benar – benar hasil karya sendiri, kecuali kutipan yang sudah saya sebutkan sumbernya, belum pernah diajukan pada institusi mana pun, dan bukan karya jiplakan. Saya bertanggung jawab atas keabsahan dan kebenaran isinya sesuai dengan sikap ilmiah yang harus dijunjung tinggi.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya, tanpa ada tekanan dan paksaan dari pihak mana pun serta bersedia mendapat sanksi akademik jika ternyata di kemudian hari pernyataan ini tidak benar.

Jember, 30 Juli 2015

Yang menyatakan,

Firman Nico Chandra

NIM 091910201060

SKRIPSI

**ANALISA KINERJA JARINGAN *WORLDWIDE INTEROPERABILITY FOR
MICROWAVE ACCESS (WiMAX)* MENGGUNAKAN
TEKNIK *ADAPTIVE MODULATION***

Oleh

Firman Nico Chandra

NIM 091910201060

Pembimbing

Dosen Pembimbing Umum : H.Samsul Bachri M, S.T., M.MT

Dosen Pembimbing Anggota : Catur Suko Sarwono, S.T, M.T

PENGESAHAN

Skripsi berjudul “Analisa Kinerja Jaringan Worldwide Interoperability For Microwave Access (WiMAX) Menggunakan Teknik Adaptive Modulation” telah diuji dan disahkan pada:

hari, tanggal : Selasa, 14 Juli 2015

tempat : Fakultas Teknik Universitas Jember

Tim Penguji

Pembimbing Utama

Pembimbing Anggota

H.Samsul Bachri M, S.T., M.MT

NIP 196403171998021001

Catur Suko Sarwono, S.T, M.T

NIP 196801191997021001

Mengetahui,

Penguji I

Penguji II

Dodi Setiabudi, S.T., M.T.

NIP 19840531200812004

Widya Cahyadi, S.T., M.T.

NIP 198511102014041001

Mengesahkan

Dekan

Fakultas Teknik

Ir. Widyono Hadi, M.T.

NIP 19610414 198902 1 001

PRAKATA

Puji syukur kehadirat Allah SWT atas segala limpahan berkah dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “ Analisa Kinerja Jaringan Worldwide Interoperability For Microwave Access (WiMAX) Menggunakan Teknik Adaptive Modulation ”. Skripsi ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat menyelesaikan pendidikan strata satu (S1) pada Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Jember.

Penyusunan skripsi ini tidak lepas dari dukungan dan bantuan berbagai pihak. Oleh karena itu penulis ingin menyampaikan terima kasih kepada:

1. Ayahanda Miswanto dan Ibunda Hamida yang telah memberikan semua kasih sayang, doa, perhatian dan dukungan mulai dari kecil hingga sampai saat ini. Aku akan selalu berusaha membahagiakan kalian berdua salah satunya dengan membawa kesuksesan untuk kalian.
2. Bapak Samsul Bachri Masmachofari, S.T., M.MT., selaku Dosen Pembimbing Utama dan Bapak Catur Suko Sarwono, S.T., M.T., selaku Dosen Pembimbing Anggota yang telah meluangkan waktu, pikiran dan perhatian selama membimbing penulisan skripsi ini sehingga dapat diselesaikan dengan baik.
3. Bapak Sumardi, S.T., M.T., selaku Dosen Pembimbing Akademik yang telah membimbing penulis selama menjadi mahasiswa dan memberi kelancaran dan dukungan selama proses penulisan skripsi.
4. Sahabat – sahabatku Sony Purnomo, Vauzy Iskandar, Firman Juniardi Putra dan Anindyah Drayusari yang telah memberi banyak bantuan, dukungan dan motivasi sebagai suntikan semangat bagi penulis untuk menyelesaikan skripsi ini.
5. Teman-temanku elektro angkatan 2009 “SAK LAWASE TETEP DULUR”. Terima kasih atas semuanya selama ini, suka duka yang telah dihadapi selama

di bangku perkuliahan, kekompakan dan kebersamaan kita adalah inspirasi bagiku untuk menjadi manusia yang lebih baik lagi. Aku takkan melupakan kalian semua dan semboyan kita yang selalu terdengar lantang dimanapun saat kita bersama: “Sopo kene? Teknik! Teknik opo? Elektro! 2009? Dulur!

6. Semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu per satu.

Penulis menyadari masih ada kekurangan dalam penulisan skripsi ini, oleh karena itu segala bentuk kritik dan saran yang membangun selalu diterima demi tercapainya kesempurnaan dalam skripsi ini. Semoga skripsi ini bermanfaat bagi semua pihak dan dapat menambah pengetahuan pembaca.

Jember, 30 Juli 2015

Penulis

Firman Nico Chandra

ANALISA KINERJA JARINGAN *WORLDWIDE INTEROPERABILITY FOR MICROWAVE ACCESS (WiMAX)* MENGGUNAKAN TEKNIK *ADAPTIVE MODULATION*

Firman Nico Chandra

Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Jember

ABSTRAK

Worldwide Interoperability for Microwave Access (WiMAX) merupakan salah satu perkembangan di bidang jaringan nirkabel. WiMAX dihadirkan guna menggantikan teknologi sebelumnya yaitu *Wireless Fidelity (WiFi)*. Untuk mengetahui kinerja sistem telekomunikasi dapat dilihat dari nilai *Bit Error Rate (BER)* yang dihasilkan. Parameter yang menjadi acuan utama adalah jenis modulasi yang digunakan. Modulasi yang digunakan ada empat jenis yaitu BPSK, QPSK, 16-QAM, dan 64-QAM. Selain menggunakan simulasi, nilai BER juga dicari dengan persamaan matematis, lalu dilakukan perbandingan. Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa hasil secara simulasi jauh lebih baik daripada menggunakan perhitungan. Dari simulasi ini diketahui bahwa terdapat dua modulasi yang mampu mendukung kinerja sistem WiMAX, yaitu modulasi QPSK yang mampu bekerja pada kondisi kanal dengan nilai SNR yaitu 9 dB sehingga menghasilkan BER dengan nilai secara perhitungan sebesar $3,38358 \times 10^{-3}$ dan secara simulasi sebesar 0. Serta modulasi 64-QAM yang mampu bekerja pada kondisi kanal dengan nilai SNR sebesar 22 dB sehingga mampu menghasilkan BER secara perhitungan 0.01861 dan secara simulasi 0.0007.

Kata kunci : WiMAX, Modulasi Adaptif, Bit Error Rate, Signal Noise Ratio

***PERFORMANCE ANALYSIS OF WORLDWIDE INTEROPERABILITY FOR
MICROWAVE ACCESS (WiMAX) USING
ADAPTIVE MODULATION TECHNIQUE***

Firman Nico Chandra

Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering, University of Jember

ABSTRACT

Worldwide Interoperability for Microwave Access (WiMAX) is one of development in the field of wireless networks. WiMAX is presented in order to replace the previous technology called Wireless Fidelity (WiFi). To find out the performance of the telecommunication system can be seen from the Bit Error Rate (BER). The main parameters are the type of adaptive modulation. There are BPSK modulation, QPSK modulation, 16-QAM modulation and 64-QAM modulation. Then they will be compared. From the simulations it is known that there are two modulation that is capable of support WiMAX system performance, the QPSK modulation is able to work on channel conditions with SNR value, that is 9 dB than it get BER by mathematic caculation is $3,3835 \times 10^{-5}$ and by simulation is 0. Then 64-QAM modulation is able to work an channel conditions with SNR values, that is 22 dB than is 22 dB than it get BER by mathematic calculation is 0,01861 and by simulation is 0,0007.

Keyword : *WiMAX, Adaptive Modulation, Bit Error Rate, Signal Noise Ratio*

RINGKASAN

Analisa Kinerja Jaringan *Worldwide Interoperability For Microwave Access (WiMAX)* Menggunakan Teknik *Adaptive Modulation*, Firman Nico Chandra, 091910201060, 2015, 98 halaman

Pada era teknologi informasi sekarang ini, kebutuhan akan akses data yang cepat, handal, serta dapat diakses kapan saja dan dimana saja telah menghasilkan perkembangan yang pesat dalam dunia telekomunikasi. Teknologi telekomunikasi terus dikembangkan dan disempurnakan untuk menjawab tantangan ini, salah satunya adalah teknologi *Worldwide Interoperability for Microwave Access (WiMAX)*. Pada komunikasi *mobile*, *user* umumnya berada pada lingkungan fisik yang berbeda, sehingga memiliki kondisi kanal yang berbeda. Kondisi kanal memungkinkan frekuensi *subcarrier* memperoleh gain yang buruk. Salah satu cara yang dapat diterapkan adalah menggunakan teknik modulasi adaptif. Pada modulasi adaptif *transmitter* mengadaptasi mode transmisi dengan kondisi kanal, hal ini secara efektif dapat mengatur keseimbangan kebutuhan *bandwidth* dan kualitas sambungan. Apabila kualitas sambungannya cukup baik, maka digunakan level modulasi yang lebih tinggi, namun apabila kualitas link menurun, sistem modulasinya digeser menjadi lebih rendah untuk menjaga kesetabilan dan kualitas sambungan.

Penelitian skripsi ini adalah membahas jaringan WiMAX menggunakan teknik modulasi adaptif dengan cara melakukan simulasi. Pada tahapan awal dilakukan perumusan masalah dan selanjutnya dilakukan perancangan simulasi. Setelah perancangan simulasi dan pemilihan parameter pendukung terbentuk yang dilakukan selanjutnya adalah pemilihan data input serta nilai-nilai dari parameter pendukung tersebut. Lalu memasukkan data input berupa sinyal acak dalam bentuk bit biner.

Setelah itu dilakukanlah pengambilan data yaitu nilai Bit Error Rate dengan merubah jenis modulasi adaptif dan menganalisa perubahan nilai tersebut. Dilakukan juga perhitungan yang hasilnya akan dibandingkan dengan hasil simulasi.

Berdasarkan perhitungan serta simulasi yang sudah dijalankan kinerja suatu sistem WiMAX sangat dipengaruhi oleh jenis modulasi yang digunakan. Sebab jenis modulasi ini yang akan mengatur jumlah data yang dibawa. Pada modulasi 64-QAM memiliki titik konstelasi sekitar 64 titik yang masing-masing titik berisi 6 bit. Sehingga dapat dikatakan bahwa 64-QAM membawa data paling besar. Sedangkan pada modulasi BPSK hanya memiliki dua titik konstelasi dengan masing-masing titik terdiri dari 1 bit. Sehingga tidak mampu membawa data dalam jumlah besar. Dari keempat tipe modulasi dengan nilai *coderate* yang berbeda-beda, diketahui bahwa modulasi terbaik terdapat pada modulasi QPSK dan 64-QAM. Sebab modulasi tersebut mampu menghasilkan nilai *bit error rate* yang rendah ketika SNR tinggi. Nilai BER terbaik untuk modulasi QAM terdapat pada modulasi 64-QAM dengan nilai simulasi sebesar 0.007 dan secara perhitungan sebesar 0.01861 sedangkan nilai BER terbaik untuk modulasi PSK terdapat pada modulasi QPSK dengan nilai simulasi sebesar 0 dan secara perhitungan 3.38358×10^{-5} .

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PERSEMBAHAN	ii
HALAMAN MOTO	iv
HALAMAN PERNYATAAN	v
HALAMAN PENGESAHAN	vii
PRAKATA	viii
ABSTRAK	x
ABSTRACT	xi
RINGKASAN	xii
DAFTAR ISI	xiv
DAFTAR TABEL	xvi
DAFTAR GAMBAR	xvii
BAB 1. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Batasan Masalah	2
1.4 Tujuan Penulisan	2
1.5 Manfaat Penulisan	2
1.6 Metodologi Penulisan	3
1.7 Sistematika Penulisan	3
BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1 <i>WiMAX</i>	4
2.2 Perkembangan <i>WiMAX</i>	5
2.3 Fitur Penting <i>WiMAX</i>	7
2.4 Lapis Fisik	9
2.5 Lapis MAC	15

2.6	Sistem Advanced Antenna	24
2.7	<i>Hybird-ARQ</i>	26
2.8	<i>WiMAX</i> Forum	27
2.9	Topologi Jaringan <i>WiMAX</i>	27
2.10	Orthogonal Frequency Divison Multiplexing(OFDM)	30
2.11	Adaptive Modulation	31
BAB 3.	METODOLOGI PENELITIAN	33
3.1	Diagram Blok Sistem	33
3.2	Parameter Sistem	37
3.3	Tahapan Penelitian	37
3.4	Alur Penelitian	38
BAB 4.	PEMBAHASAN	40
4.1	Pembuatan Program Simulasi Sistem <i>WiMAX</i>	40
4.2	Perhitungan Bit Error Rate Tiap Modulasi	48
4.3	Hasil Simulasi	63
4.4	Analisa Data	73
BAB 5.	PENUTUP	76
5.1	Kesimpulan	76
5.2	Saran	77

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

DAFTAR TABEL

	Halaman
2.1 Perbandingan Standar IEEE 802.16	7
3.1 Ukuran <i>coding rate</i> tiap modulasi	34
3.2 Parameter Sistem	37
4.1 Jumlah data masukan	40
4.2 Hasil perhitungan bit rate tiap modulasi	49
4.3 Hasil perhitungan <i>bit error rate</i>	55
4.4 Hasil perhitungan Eb/No dan BER untuk modulasi BPSK	56
4.5 Hasil perhitungan Eb/No dan BER untuk modulasi QPSK(1/2)	57
4.6 Hasil perhitungan Eb/No dan BER untuk modulasi QPSK(3/4)	58
4.7 Hasil perhitungan Eb/No dan BER untuk modulasi 16QAM(1/2)	59
4.8 Hasil perhitungan Eb/No dan BER untuk modulasi 16QAM(3/4)	60
4.9 Hasil perhitungan Eb/No dan BER untuk modulasi 64QAM(2/3)	61
5.0 Hasil perhitungan Eb/No dan BER untuk modulasi 64QAM(3/4)	62
5.1 Hasil BER modulasi yang berbeda dari proses simulasi	64
5.2 Perbandingan Hasil Perhitungan dan Simulasi	73

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
2.1 Implementasi Teknologi WiMAX	5
2.2 Perbandingan OFDMA dengan SOFDMA	11
2.3 Struktur Slot & Frame WiMAX	13
2.4 Struktur lapis MAC WiMAX	16
2.5 Frame MAC PDU	18
2.6 Topologi Point to Point	28
2.7 Topologi Point to Multipoint	29
2.8 Topologi Mesh	30
2.9 Relatif cell dari modulasi adaptif	31
3.1 Diagram Blok Sistem	33
3.2 Diagram Blok Encoder.....	34
3.3 Diagram Alir Penelitian	38
4.1 Grafik perbandingan nilai Eb/No dan BER modulasi BPSK.....	56
4.2 Grafik perbandingan nilai Eb/No dan BER modulasi QPSK(1/2).....	57
4.3 Grafik perbandingan nilai Eb/No dan BER modulasi QPSK(3/4).....	58
4.4 Grafik perbandingan nilai Eb/No dan BER modulasi 16QAM(1/2)..	59
4.5 Grafik perbandingan nilai Eb/No dan BER modulasi 16QAM(3/4)..	60
4.6 Grafik perbandingan nilai Eb/No dan BER modulasi 64QAM(2/3)..	61
4.7 Grafik perbandingan nilai Eb/No dan BER modulasi 64QAM(3/4)..	62
4.8 Nilai BER dari tiap modulasi	65
4.9 Titik konstelasi dan nilai BER modulasi 64-QAM	67
5.0 Titik konstelasi dan nilai BER modulasi QPSK	67
5.1 Nilai BER tiap modulasi dan adaptive modulation	68
5.2 Perbandingan modulasi adaptif dengan modulasi BPSK.....	69
5.3 Perbandingan modulasi adaptif dengan modulasi QPSK.....	70

5.4 Perbandingan modulasi adaptif dengan modulasi 16QAM.....	71
5.5 Perbandingan modulasi adaptif dengan modulasi 64QAM	72

BAB 1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pada era teknologi informasi sekarang ini, kebutuhan akan akses data yang cepat, handal, serta dapat diakses kapan saja dan dimana saja telah menghasilkan perkembangan yang pesat dalam dunia telekomunikasi. Teknologi telekomunikasi terus dikembangkan dan disempurnakan untuk menjawab tantangan ini, salah satunya adalah teknologi *Worldwide Interoperability for Microwave Access (WiMAX)*.

WiMAX dikembangkan oleh *Institute of Electrical and Electronics Engineer (IEEE)* dan merupakan salah satu bentuk komunikasi nirkabel yang hadir sebagai solusi keterbatasan akses *Wireless Fidelity (WiFi)* yang dirancang untuk pemakaian dalam ruang. WiMAX memberikan kecepatan data yang tinggi dan area cakupan yang luas.

Teknik modulasi yang digunakan pada WiMAX adalah teknik modulasi adaptif yang terdiri dari *Binary Phase Shift Keying (BPSK)*, *Quardrature Phase Shift Keying (QPSK)* dan *Quardrature Amplitude Modulation (QAM)*. Teknik modulasi adaptif merupakan salah satu fitur WiMAX, dimana kondisi kanal dan nilai SNR mempengaruhi penggunaan skema modulasi yang berbeda. Bila kondisi kanal buruk, maka WiMAX akan beradaptasi dengan cara mengubah skema modulasi dengan level yang lebih rendah sehingga komunikasi kontinyu tetap terjaga. Dengan adanya modulasi adaptif tersebut maka kinerja dari sistem WiMAX dapat dikatakan sudah sesuai dengan kondisi kanal yang berbeda-beda saat terjadi proses pengiriman data.

Tugas akhir ini membahas tentang kinerja jaringan WiMAX berbasis OFDM menggunakan teknik modulasi adaptif yang dilakukan dengan menggunakan simulasi.

1.2 Rumusan masalah

Adapun rumusan masalah sebagai berikut:

- a. Apakah penerapan teknik adaptive modulation dapat meningkatkan kapasitas kanal dengan cara menekan nilai BER ?
- b. Bagaimana cara menganalisis kinerja jaringan *WiMAX* menggunakan teknik modulasi adaptif ?

1.3 Batasan Masalah

Masalah yang akan dibahas dalam hal ini ialah:

- a. Studi dibatasi hanya untuk menganalisis kinerja jaringan *WiMAX* dengan teknik modulasi adaptif.
- b. Tidak membahas protocol *WiMAX*.
- c. Membahas hubungan SNR dan BER yang dihasilkan pada jaringan *WiMAX*.
- d. Modulasi adaptif yang digunakan adalah BPSK, QPSK, 16QAM, 64QAM.
- e. Pengkodean sistem yang digunakan adalah pengkodean konvolusi (*convolutional encoder*).
- f. Kinerja dilihat dari perubahan nilai BER dan SNR.
- g. Tidak membahas parameter berupa delay ataupun throughput yang ada pada video conference.

1.4 Tujuan Penulisan

Tujuan penulisan Tugas Akhir ini adalah untuk menganalisis kinerja dan pengaruh dari teknik modulasi adaptif pada *WiMAX* dengan berbasis OFDM dan mampu menyajikan simulasi sistem *WiMAX* dengan menggunakan program perangkat lunak.

1.5 Manfaat Penulisan

Beberapa manfaat yang dapat diperoleh dari penelitian yang akan dilakukan ini adalah sebagai berikut :

- a. Hasil penelitian ini dapat menambah dan meningkatkan pengetahuan bidang telekomunikasi elektronika khususnya bidang sistem komunikasi selular.
- b. Dapat mengetahui prinsip kerja pada *WiMAX* dan modulasi adaptif.

1.6 Metodologi Penulisan

Metode Penulisan yang digunakan dalam penulisan Tugas Akhir ini adalah :

1. Studi Literatur

Berupa tinjauan pustaka dari buku-buku, jurnal ilmiah yang berkaitan dengan sistem transmisi komunikasi.

2. Studi Analisa

Yaitu dengan melakukan analisa secara teori dan perhitungan serta dengan simulasi untuk menyelesaikan Tugas Akhir ini.

1.7 Sistematika Penulisan

Untuk memberikan gambaran mengenai tulisan ini, secara singkat dapat diuraikan sistematika penulisan sebagai berikut:

BAB I : PENDAHULUAN

Bab ini menguraikan tentang latar belakang masalah, tujuan penulisan, batasan masalah, metodologi penulisan, serta sistematika penulisan.

BAB II : TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini berisi tentang materi yang berhubungan dengan penelitian.

BAB III : METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini berisi tentang metode yang digunakan untuk menyelesaikan skripsi.

BAB IV : HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini menjelaskan tentang pembahasan dari penelitian.

BAB V : PENUTUP

Berisi tentang kesimpulan dan saran dari hasil pembahasan-pembahasan sebelumnya.

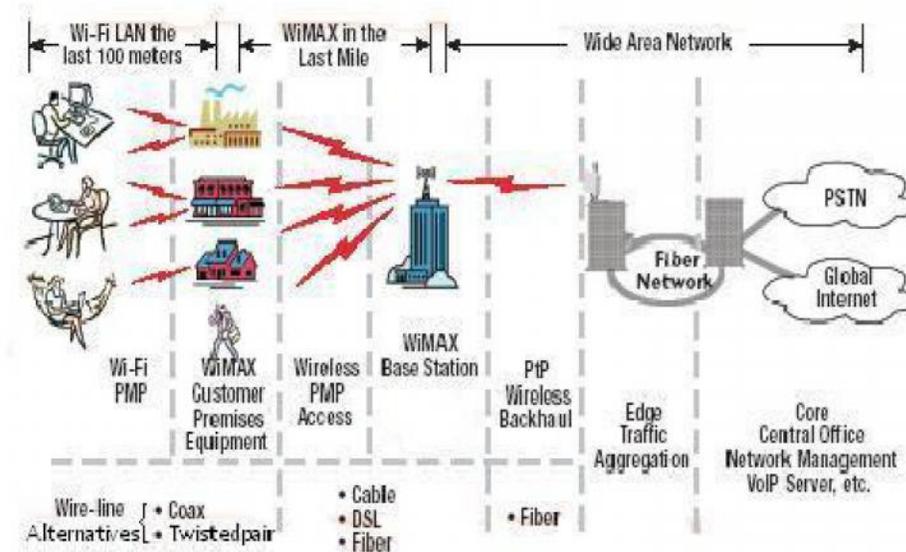
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

2.1 *Worldwide Interoperability for Microwave Access (WiMAX)*

Worldwide Interoperability for Microwave Access atau *WiMAX* adalah teknologi berdasarkan pada standar *Wireless Metropolitan Area Network (WMAN)* yang dikembangkan oleh IEEE 802.16 group dan diadopsi baik oleh *Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE)* maupun oleh *European Telecommunications Standard Institute-High Performance Metropolitan Area Network (ETSI HiperMAN)*. Teknologi *WiMAX* dikenal sebagai teknologi IEEE 802.16x. Dapat dikatakan bahwa *WiMAX* merupakan nama yang dipakai untuk semua produk IEEE 802.16 (G.Andrews,2007).

Tahun 1998, IEEE membentuk grup IEEE 802.16 yang bertujuan mengembangkan standar antar-muka untuk jaringan pita lebar nirkabel atau *Broadband Wireless Access (BWA)*. Fokus awal grup ini adalah pengembangan sistem *point-to-multipoint Line of Sight (LOS)* pita lebar nirkabel yang beroperasi pada frekuensi 10 – 66 GHz (G.Andrews:2007)(L.Nuaymi:2007).

WiMAX merupakan evolusi dari teknologi BWA sebelumnya dengan fitur-fitur yang lebih canggih. Teknologi *WiMAX* secara umum dapat digunakan untuk mendukung akses pita lebar nirkabel bagi pelanggan bersifat tetap (*fixed*) maupun pelanggan bersifat nomaden (*nomadic*) dan memiliki pergerakan tinggi (*mobile*). *WiMAX* memungkinkan akses *broadband wireless last mile* sebagai alternatif pengganti pita lebar kabel dan *Digital Subscriber Line (DSL)*. Gambar 2.1 menunjukkan implementasi teknologi *WiMAX* secara umum (G.Andrews:2007).



Gambar 2.1 Implementasi Teknologi WiMAX(G.Andrews:2007)

Teknologi *WiMAX* juga menyediakan berbagai keuntungan bila dibandingkan dengan teknologi *DSL*, yakni kemampuan untuk menjangkau daerah pelanggan hingga radius 30 mil, bekerja pada kondisi *Non-Line of Sight (NLOS)* dengan kecepatan laju data hingga mencapai 75Mbps (tergantung spesifikasi yang digunakan). Kemampuan ini membuat *WiMAX* menjadi teknologi yang sangat berkembang di seluruh dunia (G.Andrews:2007).

2.2 Perkembangan WIMAX

WiMAX telah melalui beberapa tahapan pengembangan dan standarisasi. Standar awal *WiMAX* yaitu 802.16 kemudian berkembang menjadi standar 802.16a, 802.16-2004, dan 802.16e-2005.

2.2.1. Standar 802.16

Diperkenalkan pada Desember 2001, berdasarkan lapis fisik (*PHY*) *single-carrier* dengan lapis *Medium Access Control (MAC)* menggunakan *burst time division multiplexing (TDM)*. Konsep pada lapis *MAC* banyak diadopsi dari standar

teknologi yang digunakan pada modem *Data Over Cable Service Interface Specification (DOCSIS)*. Teknologi ini digunakan pada kondisi *LOS* untuk pelanggan yang sifatnya tetap (*fixed*) dan bekerja pada frekuensi 10-66 GHz (G.Andrews:2007).

2.2.2. Standar 802.16a

Diperkenalkan pada tahun 2003, merupakan amandemen dari standar 802.16 dan ditujukan untuk pelanggan bersifat tetap. Standar ini mendukung kondisi *NLOS* dan bekerja pada frekuensi 2-11 GHz dengan menggunakan *orthogonal frequency division multiplexing (OFDM)* pada lapis fisiknya (G.Andrews:2007).

2.2.3. Standar 802.16-2004

Perkembangan berikutnya menghasilkan standar baru pada tahun 2004. Standar ini memiliki semua standar yang terdapat pada 802.16 dan 802.16a dengan berbagai tambahan pada protokol lapisnya. Salah satunya ialah kemampuan untuk mendukung penggunaan *orthogonal frequency division multiple access (OFDMA)*. Standar ini menjadi basis bagi sistem *WiMAX* untuk jaringan pita lebar tetap (*fixed broadband wireless*), sehingga sering disebut sebagai *fixed WiMAX* (G.Andrews:2007)(L.Nuaymi:2007).

2.2.4. Standar 802.16e-2005

Pada bulan Desember 2005, grup IEEE menyelesaikan dan menyetujui standar IEEE 802.16e-2005 yang merupakan amandemen terhadap standar 802.16-2004. Standar ini menambahkan dukungan terhadap mobilitas dan menjadi basis bagi sistem *WiMAX* untuk melayani pelanggan yang bersifat bergerak (*mobile*) maupun nomaden (*nomadic*), sehingga sering disebut sebagai *mobile WiMAX*. Adapun perbandingan standar IEEE 802.16 dapat dilihat pada Tabel 2.1 (G.Andrews:2007).

Tabel 2.1 Perbandingan Standar IEEE 802.16(G.Andrews:2007)

	802.16	802.16-2004	802.16e-2005
Status	Desember 2001	Juni 2004	Desember 2005
Frekuensi Kerja	10GHz-66GHz	2GHz-11GHz	2GHz-11GHz untuk <i>fixed</i> , 2GHz-6GHz untuk <i>mobile</i>
Aplikasi	<i>Fixed</i> LOS	<i>Fixed</i> NLOS	<i>Fixed</i> dan <i>mobile</i> NLOS
Arsitektur MAC	<i>Point-to-multipoint, mesh</i>	<i>Point-to-multipoint, mesh</i>	<i>Point-to-multipoint, mesh</i>
Skema transmisi	<i>Single carrier</i>	<i>Single carrier, 256</i> OFDM atau 2048 OFDM	<i>Single carrier, 256</i> OFDM atau <i>scalable</i> OFDM dengan 128, 512, 1024 atau 2048 <i>subcarrier</i>
Modulasi	BPSK, QPSK, 16QAM, 64QAM	BPSK, QPSK, 16QAM, 64QAM	BPSK, QPSK, 16QAM, 64QAM
Laju data kotor	32Mbps-134.4Mbps	1Mbps-75Mbps	1Mbps-75Mbps
<i>Multiplexing</i>	<i>Burst</i> TDM/TDMA	<i>Burst</i> TDM/TDMA/OFDMA	<i>Burst</i> TDM/TDMA/OFDMA
<i>Duplexing</i>	TDD dan FDD	TDD dan FDD	TDD dan FDD
Lebar pita kanal	20MHz, 25MHz, 28MHz	1.75MHz, 3.5MHz, 7MHz, 14MHz, 1.25MHz, 5MHz, 10MHz, 15MHz, 8.75MHz	1.75MHz, 3.5MHz, 7MHz, 14MHz, 1.25MHz, 5MHz, 10MHz, 15MHz, 8.75MHz
Implementasi WiMAX	Tidak ada	256 – OFDM sebagai <i>Fixed</i> WiMAX	<i>Scalable</i> OFDM sebagai <i>Mobile</i> WiMAX

2.3 Fitur Penting WiMAX

WiMAX adalah solusi untuk jaringan pita lebar nirkabel yang menawarkan banyak fitur penting dengan fleksibilitas pada pilihan layanan. Beberapa fitur penting yang ditawarkan *WiMAX* secara umum adalah (G.Andrews:2007) :

1. Lapis fisik pada *WiMAX* yang berdasarkan pada *orthogonal frequency division multiplexing (OFDM)* memungkinkan *WiMAX* mempunyai ketahanan yang baik terhadap *multipath* dan dapat beroperasi pada kondisi *NLOS*.
2. *WiMAX* menawarkan laju data yang sangat tinggi. Laju data dapat mencapai 75Mbps ketika beroperasi dengan lebar spektrum 20MHz. Dibawah kondisi sinyal yang sangat baik, laju data yang lebih cepat bahkan dapat dicapai dengan menggunakan teknik *multiple antenna* dan *spatial multiplexing*.

3. *WiMAX* mempunyai arsitektur lapis fisik *scalable* yang memungkinkan laju data dapat diatur dengan mudah sesuai dengan lebar pita yang tersedia. Skalabilitas ini hanya didukung pada mode *OFDMA*.
4. *WiMAX* mempunyai teknologi modulasi dan pengkodean adaptif yang mendukung sejumlah skema modulasi dan pengkodean *forward error correction (FEC)* yang memungkinkan skema tersebut berubah-ubah sesuai dengan kondisi kanal. Teknik ini merupakan mekanisme efektif untuk memaksimalkan *throughput* pada kanal yang berubah menurut waktu.
5. Mendukung *automatic repeat request (ARQ)* pada lapis link. *Hybrid-ARQ* juga didukung (opsional) dimana merupakan gabungan efektif dari *FEC* dan *ARQ*.
6. *WiMAX* telah mendukung *time division duplexing (TDD)*, *frequency division duplexing (FDD)*, dan *half-duplex FDD* yang memungkinkan implementasi sistem berbiaya rendah. *TDD* menjadi pilihan utama karena keuntungannya, yakni fleksibilitas dalam memilih rasio laju data *uplink-downlink* dan desain *transceiver* yang lebih tidak rumit.
7. Penggunaan *orthogonal frequency division multiple access (OFDMA)* yang memanfaatkan diversitas frekuensi dan *multiuser* untuk meningkatkan kapasitas sistem secara signifikan.
8. *WiMAX* memungkinkan penggunaan teknik *multiple antenna* seperti *beamforming*, *space-time coding*, dan *spatial multiplexing*. Teknik ini meningkatkan efisiensi spektrum dan kapasitas sistem.
9. Mendukung *Quality of Service (QoS)*, dimana sistem *WiMAX* memberikan dukungan terhadap laju bit konstan dan variabel, laju trafik *real-time* dan *non real-time*, juga trafik data *best-effort*.
10. *WiMAX* mendukung enkripsi yang kuat, menggunakan *Advanced Encryption Standard (AES)*, dan mempunyai protokol keamanan yang canggih.

2.4 Lapis Fisik

Fungsi lapis fisik adalah membangun koneksi fisik antara pemancar dan penerima, dan biasanya melalui dua jalur komunikasi (*uplink* dan *downlink*). *WiMAX* merupakan teknologi digital sehingga lapis fisik bertanggung jawab dalam pentransmisi urutan bit. Lapis ini juga menentukan jenis sinyal yang digunakan, jenis modulasi dan demodulasi, daya transmisi, dan juga karakteristik fisik lainnya (L.Nuaymi:2007).

Lapis fisik (*PHY*) *WiMAX* berdasarkan pada teknologi *OFDM*. *OFDM* merupakan teknik pilihan yang memungkinkan laju data, video, dan multimedia secara cepat, dan digunakan oleh berbagai macam sistem pita lebar komersial, termasuk *DSL* dan *Wireless-Fidelity (Wi-Fi)*. *OFDM* adalah teknologi yang efisien dalam transmisi laju data secara cepat pada kondisi *NLOS* atau lingkungan radio *multipath* (G.Andrews:2007).

2.4.1. Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM)

OFDM termasuk kedalam teknik transmisi modulasi *multicarrier*, dimana aliran data serial laju bit tinggi dibagi kedalam beberapa aliran data paralel dengan laju bit rendah. Masing-masing aliran data paralel ini dimodulasikan pada *carrier* yang terpisah-pisah, sering disebut sebagai *subcarrier* atau *tones*.

Teknik modulasi *multicarrier* mengeliminasi atau meminimalisasi *intersymbol interference (ISI)* dengan cara membuat durasi simbol cukup besar sehingga delay kanal menjadi tidak signifikan. Oleh karena itu, pada sistem dengan laju data tinggi dimana durasi simbol kecil, membagi aliran data menjadi banyak aliran paralel akan meningkatkan durasi simbol pada masing-masing aliran sehingga *delay spread* hanya merupakan fraksi kecil dari total durasi simbol.

OFDM adalah teknik modulasi *multicarrier* yang menggunakan spektrum secara efisien, dimana *subcarrier* diatur sehingga orthogonal satu dengan yang lain selama durasi simbol, dengan demikian menghindarkan kebutuhan akan *subcarrier* kanal *non overlapping* untuk mengeliminasi interferensi antar simbol.

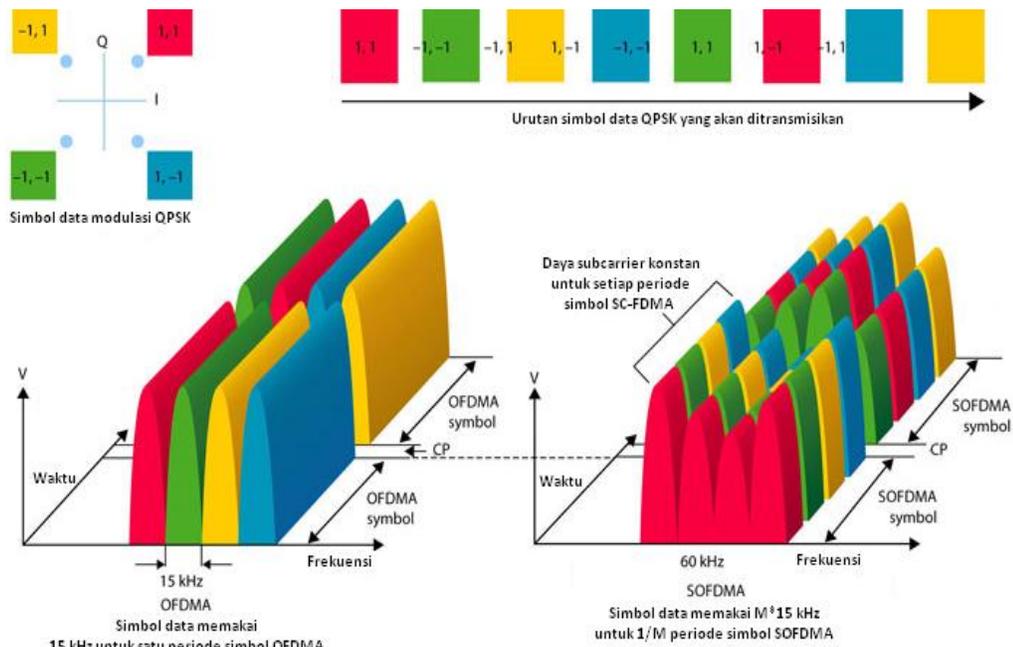
Untuk mengeliminasi *ISI* secara sempurna, *guard interval* disisipkan diantara simbol-simbol *OFDM*. Dengan membuat *guard interval* lebih besar dari lebar waktu tunda *multipath* yang diperkirakan maka *ISI* dapat secara penuh dihilangkan. Penambahan *guard interval* akan tetapi meningkatkan pemborosan daya dan penurunan efisiensi lebar pita (G.Andrews:2007).

2.4.2. Subkanalisasi

Subkanalisasi adalah teknik pembagian *subcarrier* yang tersedia kedalam beberapa kelompok *subcarrier* yang dinamakan subkanal.

Fixed WiMAX yang menggunakan *OFDM-PHY* hanya membolehkan subkanalisasi untuk bagian *uplink*. Standarnya menggunakan 16 subkanal, dimana 1, 2, 4, 8, atau 16 subkanal dapat diberikan untuk sebuah *subscriber station (SS)* pada *uplink*. Subkanalisasi pada bagian *uplink* mengizinkan pelanggan untuk mentransmisikan sejumlah kecil bagian (paling kecil 1/16) dari *bandwidth* yang dialokasikan oleh *base station*. Teknik ini akan memberikan peningkatan *link budget* yang dapat digunakan untuk menaikkan performansi jarak dan/atau memperlama umur baterai (G.Andrews:2007).

Mobile WiMAX yang menggunakan *OFDMA-PHY* akan tetapi membolehkan subkanalisasi pada bagian *uplink* dan *downlink* sekaligus. Disini subkanal membentuk frekuensi minimum yang dialokasikan oleh *base station*. Oleh karena itu, subkanal yang berbeda dapat dialokasikan untuk *user* yang berbeda seperti pada mekanisme akses jamak. Skema akses jamak ini dinamakan *orthogonal frequency division multiple access (OFDMA)*, yang merupakan nama lapis *PHY* pada *mobile WiMAX*. Akses jamak *OFDMA* bukanlah satu-satunya spesifikasi dari *OFDMA-PHY*. Penggunaan teknik skalabilitas pada *OFDMA* menghasilkan *Scalable OFDMA*. Skalabilitas mengubah jumlah *subcarrier* pada transmisinya (G.Andrews:2007). Gambar 2.2 menunjukkan perbandingan teknik akses jamak *OFDMA* dengan *SOFDMA*.



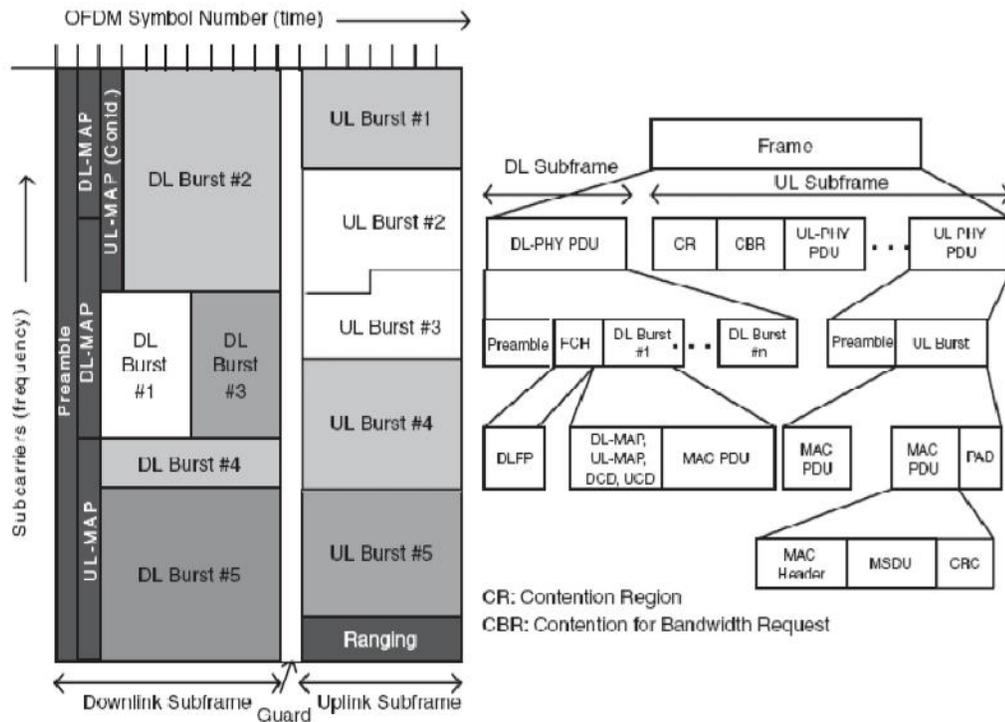
Gambar 2.2 Perbandingan OFDMA dengan SOFDMA(G.Andrews:2007)

2.4.3. Struktur Slot & Frame

Lapis fisik *WiMAX* juga bertanggung jawab untuk pengalokasian *slot* dan *frame*. Waktu dan frekuensi minimum yang dapat dialokasikan oleh sistem *WiMAX* pada sebuah *link* transmisi disebut dengan *slot*. Masing-masing slot terdiri dari satu subkanal melalui satu, dua, atau tiga simbol *OFDM*, tergantung skema subkanalisasi yang digunakan. Urutan yang berdampingan dari slot yang diberikan kepada *user* dinamakan daerah data *user*; algoritma penjadwalan mengalokasikan daerah data untuk pengguna yang berbeda, berdasarkan pada kebutuhan, syarat *QoS*, dan kondisi kanal.

Gambar 2.3 menunjukkan suatu *frame OFDMA* dan *OFDM* ketika beroperasi pada mode *Time Division Duplexing (TDD)*. Frame tersebut dibagi kedalam dua subframe; satu subframe *downlink* diikuti dengan satu subframe *uplink* yang dibatasi oleh *guard interval* (G.Andrews:2007). Proses *framing TDD* bersifat adaptif, dimana *bandwidth* yang dialokasikan untuk *downlink* dengan *uplink* dapat berubah. Pada mode *TDD*, transmisi *uplink* dan *downlink* menggunakan frekuensi

yang sama (*sharing*) tetapi terjadi dalam waktu yang berbeda (L.Nuaymi:2007). Rasio *downlink* terhadap *uplink* subframe dapat bervariasi, mulai dari rasio 3:1 hingga 1:1 untuk mendukung profil trafik yang berbeda. *WiMAX* juga mendukung *frequency division duplexing (FDD)*, dimana struktur frame adalah sama kecuali pada *downlink* dan *uplink* yang ditransmisikan secara simultan melalui *carrier* yang berbeda. Durasi frame tetap (*fixed*) digunakan untuk kedua jalur transmisi *uplink* dan *downlink*. Pada mode *FDD*, kanal *uplink* dan *downlink* dialokasikan pada frekuensi yang berbeda. Beberapa dari sistem *fixed WiMAX* sekarang menggunakan mode *FDD*. Kebanyakan penerapan *WiMAX* akan tetapi menggunakan mode *TDD* karena keuntungannya. *TDD* membolehkan penggunaan *bandwidth sharing* yang lebih fleksibel antara *uplink* dan *downlink*, tidak membutuhkan spektrum berpasangan, mempunyai kanal timbal-balik yang dapat dimanfaatkan untuk *spatial processing*, dan mempunyai desain *transceiver* yang lebih sederhana. Kekurangan *TDD* adalah kebutuhan sinkronisasi diantara *base station* untuk menjamin hubungan bebas interferensi (G.Andrews:2007).



Gambar 2.3 Struktur Slot & Frame WiMAX(G.Andrews:2007)

Seperti ditunjukkan pada Gambar 2.3, subframe *downlink* dimulai dengan sebuah *downlink preamble* yang digunakan sebagai prosedur lapis fisik, seperti sinkronisasi waktu dan frekuensi, serta awal estimasi kanal. *Downlink preamble* diikuti oleh *frame control header (FCH)*, yang memberikan informasi konfigurasi frame, seperti panjang *MAP message*, skema modulasi dan pengkodean, juga *subcarrier* yang dapat digunakan. Beberapa pengguna dialokasikan kedalam daerah data pada *frame*, dan alokasi ini ditunjukkan pada *uplink* dan *downlink MAP message (DL-MAP, dan UL-MAP)* yang mengikuti *FCH*. Pesan *MAP* termasuk profil *burst* untuk masing-masing *user*, yang mendefinisikan skema modulasi dan pengkodean yang digunakan pada *link* tersebut. *Burst* didefinisikan sebagai daerah data yang merupakan alokasi sejumlah kelompok slot dalam bidang dua dimensi. Karena *MAP* berisikan informasi kritis yang perlu mencapai semua pengguna, pesan ini sering dikirimkan melalui *link* yang sangat handal, seperti *BPSK* dengan laju

pengkodean $\frac{1}{2}$ dan pengkodean berulang. Pengiriman pesan *MAP* dapat juga dikirim secara terkompresi untuk efisiensi tambahan. *WiMAX* sangat fleksibel dalam hal bagaimana beberapa pengguna dan paket dimultipleksikan dalam satu *frame* tunggal. Satu *frame downlink* tunggal dapat terdiri dari beberapa *burst* berbeda ukuran dan jenis yang membawa data untuk beberapa pengguna. Ukuran *frame* juga bervariasi mulai dari 2 ms hingga 5ms, dan setiap *burst* dapat mengandung serangkaian paket dengan ukuran tetap, variabel, atau fragmen yang diterima dari lapis di atasnya.

Subframe uplink terbuat dari beberapa *burst uplink* dari *user* yang berbeda. Sebagian *subframe uplink* disisihkan untuk akses yang bersifat *contention* yang akan digunakan untuk berbagai macam keperluan. Subframe ini biasa digunakan sebagai kanal *ranging* yaitu kanal untuk sinkronisasi simbol dan ekualisasi level daya diantara user yang aktif akibat dari setiap user mempunyai jarak yang unik dari *base station*. Kanal *ranging* dapat juga digunakan oleh *subscriber station (SS)* atau *mobile station (MS)* untuk melakukan permintaan *bandwidth uplink*. Sebagai tambahan, data yang bersifat *best-effort* dapat dikirimkan pada kanal yang bersifat *contention* ini, khususnya ketika jumlah data yang dikirimkan terlalu kecil untuk membenarkan permintaan kanal terdedikasi. Disamping kanal *ranging* dan trafik *burst*, subframe uplink mempunyai *channel-quality indicator channel (CQICH)* untuk *SS* yang gunanya untuk memberikan umpan balik (*feedback*) informasi kualitas kanal yang dapat digunakan oleh *base station*. Subframe *uplink* juga mempunyai kanal *acknowledgement (ACK)* untuk *SS* yang berguna untuk memberikan umpan balik mengenai status penerimaan *downlink*. Untuk menangani variasi waktu, *WiMAX* secara opsional mendukung perulangan *preamble* secara lebih sering. Pada *uplink*, *preamble* pendek, dinamakan *midamble*, dapat digunakan setelah 8, 16, atau 32 simbol. Sedangkan pada *downlink*, *preamble* pendek dapat disisipkan pada permulaan setiap *burst*. Diperkirakan bahwa dengan menggunakan *midamble* setiap 10 simbol akan memberikan mobilitas hingga 150 km/jam (G.Andrews:2007).

2.4.4. Modulasi dan Pengkodean Adaptif

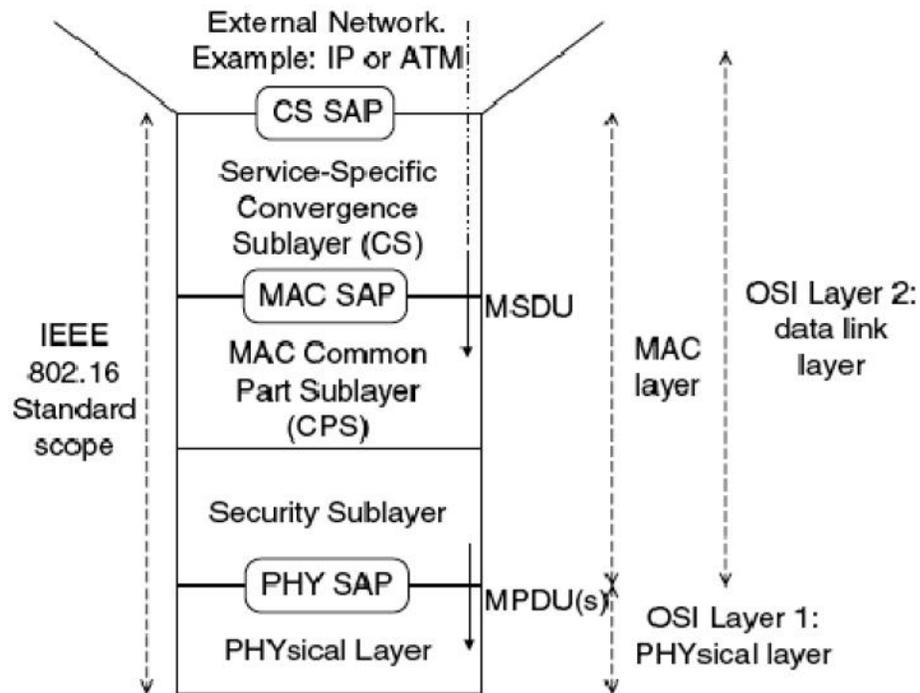
WiMAX mendukung berbagai macam skema modulasi dan pengkodean dan membolehkan skema tersebut berubah tergantung pada kondisi kanal. Dengan menggunakan indikator umpan balik kualitas kanal, *user* dapat menyajikan *base station* dengan kualitas kanal *downlink*. Untuk *uplink*, *base station* dapat mengestimasi kualitas kanal berdasarkan pada kualitas sinyal yang diterima. *Base station* dapat memantau kualitas kanal dari setiap *uplink* dan *downlink user* dan menugaskan skema modulasi dan pengkodean yang memaksimalkan *throughput* untuk *signal-to-noise ratio* yang didapatkan pada saat itu. Modulasi dan pengkodean adaptif secara signifikan memperbesar kapasitas sistem secara keseluruhan karena mengizinkan pertukaran antara *throughput* dan *robustness* (kehandalan) pada setiap *link* (G.Andrews:2007).

2.5 Lapis MAC

Tugas utama lapis *Medium Access Control (MAC)* adalah memberikan antar muka antara lapis transport yang lebih tinggi dengan lapis fisik. Lapis *MAC* mengambil paket dari lapis di atasnya, paket ini dinamakan *MAC service data unit (MSDU)* dan mengatur paket ini menjadi *MAC protocol data unit (MPDU)* untuk transmisi melalui udara. Untuk transmisi yang diterima, lapis *MAC* melakukan hal yang sebaliknya.

Beberapa fungsi penting dari lapis *MAC* adalah :

1. Memilih profil burst dan level daya yang sesuai untuk transmisi *MAC PDU*.
2. Retransmisi *MAC PDU* yang rusak ketika *automatic repeat request (ARQ)* digunakan.
3. Mengatur kualitas pelayanan (*QoS*) dan skema prioritas untuk *MAC PDU*.
4. Mengatur fungsi keamanan.
5. Mengatur operasi penghematan daya.



Gambar 2.4 Struktur lapis MAC WiMAX(G.Andrews:2007)

Lapis MAC pada WiMAX, seperti terlihat pada Gambar 2.4 dibagi kedalam tiga komponen yang berbeda, yakni (L.Nuaymi:2007) :

1. *Service Specific Convergence Sublayer (CS)*

CS melakukan fungsi sebagai berikut :

- a) Menerima *PDU* dari protokol lapis yang lebih tinggi, seperti *ATM*, *voice TDM*, *ethernet*, *IP*, dan protokol masa depan yang belum diketahui.
- b) Mengelompokkan dan memetakan *MSDU* ke *Connection Identifier (CID)* yang sesuai.
- c) Memproses *PDU* lapis lebih tinggi berdasarkan klasifikasinya bila diperlukan.
- d) *Payload Header Supression (PHS)*, yaitu proses penipaan bagian yang berulang dari header payload pada sisi pengirim dan mengembalikannya pada sisi penerima.

e) Mengantarkan *CS PDU* ke *MAC Service Access Point (SAP)* yang sesuai dan menerima *CS PDU* dari lapis yang setingkat.

2. *Medium Access Control Common Part Sublayer (CPS)*

CPS berada pada bagian tengah lapis *MAC*. *CPS* merupakan inti dari protokol *MAC* dan bertanggung jawab untuk :

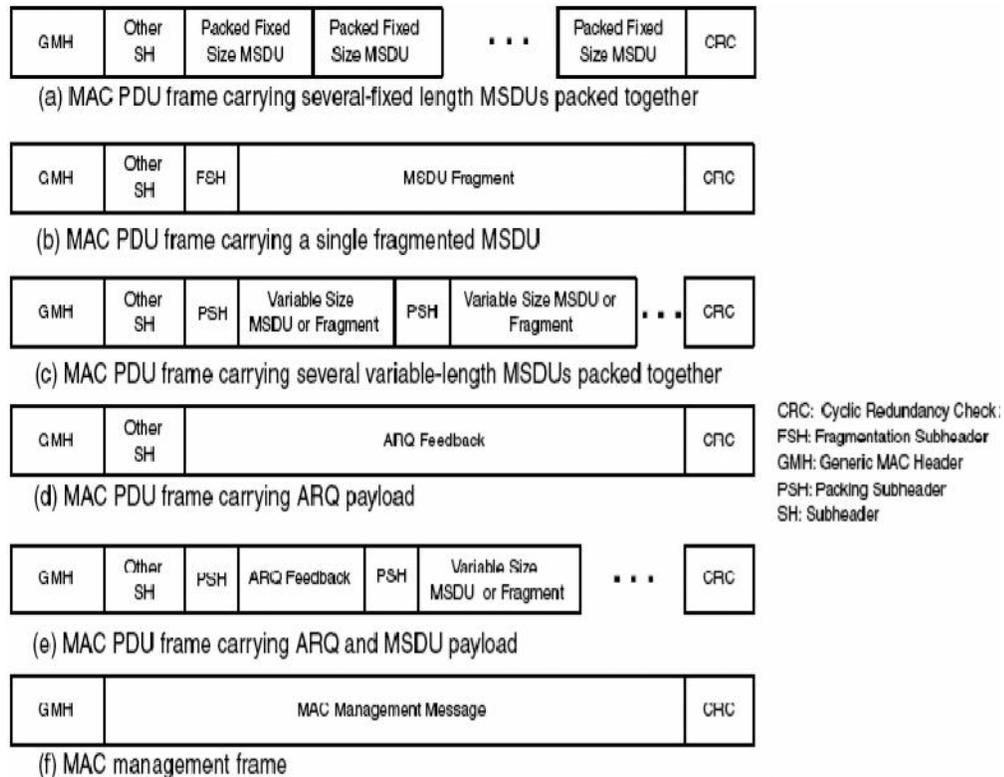
- a) Alokasi bandwidth.
- b) Pembangunan koneksi.
- c) Memelihara koneksi diantara pengirim dan penerima.

3. *Security Sublayer*

Sublayer ini berfungsi untuk memberikan autentikasi, mengamankan pertukaran key, serta mengatur enkripsi dan integritas data.

2.5.1 Struktur Frame MAC

MAC WiMAX didesain dari bagian bawah ke atas untuk mendukung laju bit puncak (*peak bit rate*) yang sangat tinggi dan sekaligus memberikan *quality of service* yang mirip dengan *ATM* dan *DOCSIS*. *MAC WiMAX* menggunakan *MPDU* dengan ukuran panjang variabel dan menawarkan banyak fleksibilitas yang menghasilkan transmisi secara efisien. Contoh, beberapa *MPDU* dengan ukuran yang sama atau berbeda dapat dikumpulkan pada *burst* tunggal untuk menghemat *overhead PHY*. Mirip dengan itu, beberapa *MPDU* dari lapis yang sama dapat dirangkai pada *MPDU* tunggal untuk menghemat *overhead MAC header*. Secara berlawanan, *MSDU* dengan ukuran yang panjang dapat dipecah-pecah menjadi *MPDU* yang lebih pendek dan dikirim melalui beberapa frame (G.Andrews:2007).



Gambar 2.5 Frame MAC PDU(G.Andrews:2007)

Gambar 2.5 menunjukkan beberapa contoh dari frame *MAC PDU* (*packet data unit*). Setiap frame *MAC* diawali dengan *generic MAC header* (*GMH*) yang berisi sebuah *connection identifier* (*CID*), lebar dari frame dan bit untuk mengkuualifikasikan kehadiran dari *cyclic redundancy check* (*CRC*), subheader, status enkripsi *payload*, dan *key* yang digunakan. *Payload MAC* dapat berupa pesan transport atau pesan manajemen. Selain *MSDU*, *payload* transport dapat berisi permintaan *bandwidth* maupun permintan retransmisi. Tipe dari *payload* transport diidentifikasi dari *subheader* yang mendahuluinya. *MAC WiMAX* juga mendukung *ARQ* yang dapat digunakan untuk meminta retransmisi dari *MSDU* yang belum terfragmen maupun fragmen dari *MSDU*. Panjang frame maksimum adalah 2047 byte yang direpresentasikan dengan 11 bit pada *GMH* (G.Andrews:2007).

2.5.2 Mekanisme Akses-Kanal

Lapis *MAC* pada *base station* bertanggung jawab secara penuh untuk melaksanakan tugas alokasi bandwidth kepada semua user, baik untuk *uplink* maupun *downlink*. Satu-satunya waktu *MS* memiliki kontrol terhadap alokasi *bandwidth* adalah ketika *MS* memiliki beberapa sesi ataupun koneksi dengan *BS*. Dalam kasus ini, *BS* mengalokasikan *bandwidth* kepada *MS* secara keseluruhan dan diserahkan sepenuhnya kepada *MS* untuk membaginya ke dalam beberapa koneksi. Semua penjadwalan pada *uplink* dan *downlink* diatur oleh *BS*. Untuk *downlink*, *BS* dapat mengalokasikan *bandwidth* kepada *MS* berdasarkan kebutuhan dari trafik yang masuk, tanpa melibatkan *MS*. Untuk *uplink*, alokasi harus berdasar pada permintaan dari *MS*.

Standar *WiMAX* mendukung beberapa mekanisme dimana sebuah *MS* dapat meminta dan mendapatkan *bandwidth uplink* bergantung pada kualitas pelayanan (*QoS*) tertentu dan parameter yang berkenaan dengan pelayanan. Satu ataupun beberapa dari mekanisme ini dapat digunakan oleh *MS*. *BS* mengalokasikan *resource* yang ada secara *dedicated* ataupun *shared* secara periodik kepada setiap *MS*, yang nantinya dapat digunakan oleh *MS* untuk meminta *bandwidth*. Proses ini disebut dengan *polling*. *Polling* dapat dilakukan baik secara individu (*unicast*) maupun secara berkelompok (*multicast*). *Polling* secara *multicast* dilakukan ketika *bandwidth* yang diperlukan tidak mencukupi untuk melakukan *poll* setiap *MS* secara individual. Ketika *polling* dilakukan secara *multicast*, *slot* yang dialokasikan untuk melakukan permintaan *bandwidth* adalah sebuah slot bersama (*shared*), dimana setiap *MS* yang dipoll akan berusaha menggunakan slot tersebut (G.Andrews:2007).

WiMAX memberikan suatu resolusi jika terdapat lebih dari satu *MS* berusaha menggunakan slot bersama tersebut. Jika sebuah alokasi sudah tersedia untuk mengirimkan trafik, maka *MS* tidak akan dipoll melainkan *MS* diperbolehkan untuk meminta *bandwidth* yang lebih banyak dengan cara :

1. Mentransmisikan *MPDU* yang berisikan permintaan *bandwidth* secara tersendiri.
2. Mengirimkan permintaan *bandwidth* melalui kanal *ranging*.
3. Menumpangkan permintaan *bandwidth* pada sebuah paket *MAC* generik.

2.5.3 Kualitas Pelayanan (QoS)

Dukungan terhadap *QoS* merupakan bagian penting dalam perancangan lapis *MAC* pada *WiMAX*. *WiMAX* mengadopsi ide dasar dari standar modem kabel *DOCSIS*. Pengendalian *QoS* yang baik dapat dicapai dengan menggunakan arsitektur *MAC connection-oriented*, dimana semua koneksi downlink dan uplink diatur sepenuhnya oleh *BS*. Sebelum transmisi data terjadi, *BS* dan *MS* membangun sebuah hubungan *link logic* satu arah, disebut dengan “koneksi”, diantara dua lapis *MAC* tersebut. Masing-masing koneksi diidentifikasi melalui *connection identifier (CID)* yang berfungsi sebagai alamat sementara untuk transmisi data melalui link tertentu (G.Andrews:2007).

WiMAX juga mengenalkan konsep *service flow*. *Service flow* adalah aliran paket satu arah dengan sejumlah parameter *QoS* dan diidentifikasi dengan *service flow identifier (SFID)*. Parameter *QoS* dapat berupa prioritas trafik, laju trafik maksimum secara terus-menerus (*maximum sustained traffic rate*), toleransi laju minimum, tipe penjadwalan (*scheduling type*), tipe *ARQ*, delay maksimum, tipe dan ukuran *service data unit*, mekanisme permintaan *bandwidth*, aturan formasi *PDU*, toleransi *jitter*, dan sebagainya. *Jitter* adalah variasi delay yang terjadi akibat adanya selisih waktu atau interval antar kedatangan paket di penerima. *Base station* bertanggung jawab dalam mengeluarkan *SFID* dan menugaskannya pada *CID* yang sesuai. Berdasarkan sifat pelayanannya, maka *QoS* pada *WiMAX* dapat dikelompokkan menjadi lima jenis, yaitu :

2.5.3.1. *Unsolicited Grant Service (UGS)*

Didesain untuk mendukung penggunaan pada ukuran paket data tetap (*fixed-size*) pada laju bit konstan (*CBR*). Contohnya pada aplikasi *T1/E1* dan *VoIP* tanpa *silence supression*. *QoS* ini efektif untuk layanan yang sensitif terhadap *throughput*, latensi, dan *jitter* seperti layanan pada *Time Division Multiplexing (TDM)* (G.Andrews:2007).

2.5.3.2. *Real-Time Polling Service (rtPS)*

Didesain untuk mendukung layanan *real-time* dengan laju bit variabel, seperti aplikasi video *MPEG* dan *video conference*, yang menggunakan ukuran paket data variabel secara periodik. *QoS* ini efektif untuk layanan yang sensitif terhadap *throughput* dan latensi namun dengan toleransi yang lebih longgar bila dibandingkan dengan *UGS* (G.Andrews:2007).

2.5.3.3. *Non-Real-Time Polling Service (nrtPS)*

Didesain untuk mendukung aliran data yang bersifat toleransi terhadap *delay* dan membutuhkan aliran data ukuran variabel *non-real time* dengan laju minimum bergaransi. *QoS* ini efektif untuk aplikasi yang membutuhkan *throughput* yang intensif seperti pada *File Transfer Protocol (FTP)* (G.Andrews:2007).

2.5.3.4. *Best-Effort (BE) Service*

Didesain untuk mendukung aliran data yang tidak memerlukan jaminan pelayanan minimum, seperti *web browsing* dan *email*. *QoS* ini tidak memberikan garansi terhadap laju data dan *delay* (G.Andrews:2007).

2.5.3.5. *Extended Real-Time Variable Rate (ERT-VR) Service*

Didesain untuk mendukung aplikasi *real-time* yang mempunyai laju data variabel dan memerlukan jaminan terhadap laju data dan delay, seperti *VoIP* dengan *silence supression*. Layanan ini hanya terdapat pada IEEE 802.16e-2005 dan sering juga disebut sebagai *extended real-time polling service (ErtPS)* (G.Andrews:2007).

2.5.4 Penghematan Daya

Untuk mendukung alat komunikasi *portable* berbasis baterai, *WiMAX* menyediakan fitur handal yang menghasilkan pemakaian baterai yang lebih lama yakni penghematan daya. Penghematan daya dilakukan dengan menonaktifkan beberapa bagian dari *MS* secara terkontrol ketika bagian tersebut sedang tidak aktif mengirim ataupun menerima data. Hal ini dilakukan dengan metode pensinyalan yang membuat *MS* berada dalam kondisi tidur (*sleep mode*) maupun kondisi *idle* ketika sedang tidak aktif. Kondisi tidur (*sleep mode*) adalah kondisi dimana *MS* secara efektif mati dan tidak dapat mengirim/menerima data selama periode tertentu. Lama periode ini diatur oleh *BS*. Sedangkan kondisi *idle* adalah kondisi dimana *MS* mati secara keseluruhan dan tidak terdaftar dalam base station manapun namun tetap menerima aliran trafik *downlink*. Ketika aliran trafik *downlink* tiba pada *MS* dalam kondisi *idle*, *MS* tersebut akan diberi nomor oleh kelompok *base station* yang membentuk *paging group*. *MS* dimasukkan dalam *paging group* oleh *BS* pada saat sebelum masuk kedalam mode *idle*, dan *MS* secara periodik hidup/aktif untuk memperbaharui *paging group*nya. Mode *idle* memberikan penghematan daya yang lebih baik, dan dukungan terhadap mode ini bersifat opsional. Penghematan daya yang lebih baik disebabkan karena *MS* tidak perlu lagi melakukan pendaftaran (*register*) dan *handoff*. Mode *idle* juga menguntungkan jaringan dan *BS* karena menghilangkan trafik *handover* dari *MS* yang tidak aktif (G.Andrews:2007)

2.5.5 Fungsi Keamanan

Tidak seperti *Wi-Fi*, sistem *WiMAX* dirancang dengan memperhatikan faktor keamanan. Standar ini meliputi metode untuk memastikan privasi data user dan mencegah akses yang tidak diotorisasi, dengan dukungan protokol tambahan untuk optimasi mobilitas. Keamanan dikendalikan dengan sebuah sublayer privasi (*privacy sublayer*) didalam lapis *MAC*. Aspek utama dari fungsi keamanan *WiMAX* adalah *privacy support*, *device/user authentication*, *flexible key-management protocol*, *protection of control messages*, dan *fast handover* (G.Andrews:2007).

2.5.5.1. Privacy Support

Data pengguna dienkripsi dengan menggunakan skema kriptografi yang menyediakan privasi. Mendukung baik *Advanced Encryption Standard (AES)* dan *Triple Data Encryption Standard (3DES)*. Kebanyakan teknologi yang diimplementasikan adalah AES, karena standar ini telah mendapat persetujuan dari *Federal Information Processing Standar (FIPS)* dan faktor lebih mudah diimplementasikan. Kunci 128-bit maupun 256-bit yang digunakan untuk mendapatkan sandi rahasia dibangkitkan selama fase autentikasi dan secara periodik diperbaharui sebagai perlindungan tambahan.

2.5.5.2. Device/User Authentication

WiMAX menyediakan cara yang fleksibel untuk autentikasi subscriber station dan user untuk mencegah penggunaan ilegal. Sistem dari autentikasi berdasar pada *Internet Engineering Task Force (IETF) Extensible Authentication Protocol (EAP)*, yang mendukung berbagai macam fungsi, seperti *username/password*, sertifikasi digital, dan *smart card*. Perangkat terminal *WiMAX* dilengkapi dengan built-in *X.509 digital certificate* yang berisi *public key* dan alamat *MAC*. Operator *WiMAX*

dapat menggunakan sertifikat tersebut untuk proses autentikasi perangkat dan menggunakan *username/password* atau *smart card* untuk autentikasi user.

2.5.5.3. Flexible Key-Management Protocol

Privacy and Key Management Protocol version 2 (PKMv2) digunakan untuk mentransfer data penting dari *base station* ke *mobile station* secara aman, dan secara periodik kembali dilakukan otorisasi dan pembaharuan kunci. *PKM* adalah sebuah protokol klien-server, dimana *MS* bertindak sebagai klien, dan *BS* sebagai server. *PKM* menggunakan sertifikat digital X.509 dan algoritma *public key Rivest-Shamer-Adleman (RSA)* untuk secara aman melakukan pertukaran kunci.

2.5.5.4. Protection of Control Messages

Integritas dari pesan kontrol dilindungi dengan menggunakan skema pesan singkat seperti *cipher-based message authentication codes (AES-CMAC)* atau *message-digest 5 algorithm (MD5)* berdasarkan *hash-based message authentication codes (HMAC)*.

2.5.5.5. Fast Handover

Untuk mendukung *fast handover*, *WiMAX* membolehkan *MS* untuk menggunakan pra-autentikasi dengan *BS* tertentu untuk mempercepat *re-entry*. *Re-entry* adalah masuk kembali kedalam daerah *BS* yang pernah dimasuki sebelumnya. Sebuah skema *handshake* tiga arah didukung oleh *WiMAX* untuk mengoptimasi mekanisme re-autentikasi untuk tujuan *fast handover* sekaligus mencegah infiltrasi ilegal secara bersamaan.

2.6 Sistem Advanced Antenna

Standar *WiMAX* memberikan dukungan yang luas terhadap implementasi *advanced multiantenna* dengan tujuan menaikkan unjuk kerja sistem. Peningkatan signifikan dalam kapasitas maupun efisiensi spektral sistem secara keseluruhan

dapat dicapai dengan menggunakan *advanced antenna system (AAS)*. *AAS* mendukung berbagai teknik multi antena, seperti diversitas transmisi, *beamforming*, dan *spatial multiplexing* (G.Andrews:2007).

2.6.1 Diversitas Transmisi

WiMAX menggunakan beberapa skema *space-time block coding* yang dapat digunakan untuk menerapkan diversitas transmisi pada jalur *downlink*. Diversitas transmisi menggunakan dua atau lebih antena pengirim dan satu atau lebih antena penerima. *Space-time block code (STBC)* digunakan untuk antena 2×1 dengan kode *Alamouti*. *Alamouti STBC* sangat mudah diimplementasikan dan menawarkan gain diversitas yang sama dengan 1×2 diversitas penerima dengan kombinasi rasio maksimum. Diversitas transmisi memberikan keuntungan penting yakni menggeser kompleksitas perangkat pada sisi pemancar/base station yang membuat perangkat pada sisi penerima tetap sederhana sehingga menjaga harga perangkat penerima tetap rendah. *WiMAX* juga mendefinisikan *STBC* untuk penggunaan dengan tiga atau empat antena.

2.6.2 Beamforming

Beberapa antena pada *WiMAX* dapat digunakan untuk mentransmisikan sinyal yang sama, yang dibagi rata pada masing-masing elemen antena sehingga menghasilkan efek pemfokusan pancaran transmisi tepat pada arah antena penerima serta jauh dari interferensi. Hal ini akan meningkatkan *signal-to-interference plus noise ratio (SINR)* yang diterima. *Beamforming* menghasilkan peningkatan signifikan terhadap jarak cakupan (*coverage*), kapasitas, dan realibilitas. *WiMAX* mendukung *beamforming* pada kedua jalur *uplink* maupun *downlink*.

2.6.3 Spatial Multiplexing

WiMAX juga mendukung *spatial multiplexing*, dimana beberapa aliran data independen ditransmisikan melalui beberapa antena. Jika penerima juga mempunyai

beberapa antena, aliran data yang diterima juga dapat dipisah-pisah dengan menggunakan *space-time processing*. Teknik ini tidak untuk meningkatkan diversitas melainkan digunakan untuk meningkatkan laju data atau kapasitas sistem. Diasumsikan secara kasar pada lingkungan dengan banyak *multipath*, kapasitas sistem dapat dinaikkan secara linear dengan banyaknya jumlah antena yang digunakan ketika melakukan spatial multiplexing. Suatu sistem 2×2 *MIMO* akan menggandakan kapabilitas throughput puncak *WiMAX*. Pada mobile station yang hanya mempunyai satu antena, *WiMAX* masih tetap mendukung teknik ini dengan cara penggunaan *coding* pada beberapa user di jalur *uplink*. Teknik ini disebut *multiuser collaborative spatial multiplexing*. Tidak seperti diversitas transmisi dan *beamforming*, spatial multiplexing hanya bekerja pada kondisi *SINR* yang baik.

2.7 Hybrid-ARQ

Hybird-ARQ adalah sebuah sistem *ARQ* yang diimplementasikan pada lapis fisik bersama-sama dengan *FEC*, menyediakan performansi link yang lebih baik dari *ARQ* dengan kompleksitas implementasi yang meningkat. Versi paling sederhana dari *H-ARQ* adalah sebuah kombinasi sederhana dari *FEC* dan *ARQ*, dimana blok data, bersama dengan kode *CRC* diencodekan dengan menggunakan *coder FEC* sebelum transmisi; retransmisi dilakukan jika *decoder* tidak mampu mendekodekan blok yang diterima. Ketika blok retransmisi diterima, maka akan dikombinasikan dengan kode blok yang sebelumnya terdeteksi dan diinput ke *decoder FEC*. Mengkombinasikan dua versi yang diterima dari kode blok meningkatkan peluang dekode secara benar. Tipe *H-ARQ* ini sering disebut dengan *chase combining* tipe I (G.Andrews:2007).

Standar *WiMAX* mendukung metode ini dengan mengkombinasikan sebuah N-kanal *stop and wait ARQ* bersamaan dengan sekumpulan protokol yang mendukung kode *FEC*. Menggunakan beberapa kanal paralel dari *H-ARQ* pada saat bersamaan dapat meningkatkan *throughput*, karena ketika sebuah proses *H-ARQ* menunggu *acknowledgement*, proses yang lain bisa menggunakan kanal untuk mengirimkan

data. *WiMAX* mendukung mekanisme *signalling* untuk memungkinkan operasi asinkron dari *H-ARQ* dan mendukung sebuah kanal khusus pada uplink untuk pensinyalan *ACK/NACK*.

Untuk lebih meningkatkan realibilitas dari retransmisi, *WiMAX* juga secara opsional mendukung tipe II dari *H-ARQ*, yang biasa disebut dengan *incremental redundancy*. Disini, tidak seperti tipe I dari *H-ARQ*, setiap retransmisi dikodekan secara berbeda untuk memperoleh peningkatan performansi. Secara umum, *code rate* secara efektif menurun setiap retransmisi. Oleh karena itu, bit parity tambahan dikirim untuk setiap pengulangan, ekivalen dengan *coding* antar retransmisi.

2.8 *WiMAX* Forum

Untuk mempercepat penerapan dan sosialisasi standar IEEE 802.16 di masyarakat dan kalangan industri, pada bulan Juni 2001, dibentuklah sebuah forum yang diberi nama *WiMAX* Forum. Tujuan pembentukan *WiMAX* Forum ini adalah untuk mempromosikan dan melakukan sertifikasi terhadap kompatibilitas dan interoperabilitas perangkat berbasis standar 802.16 dan standar turunannya.

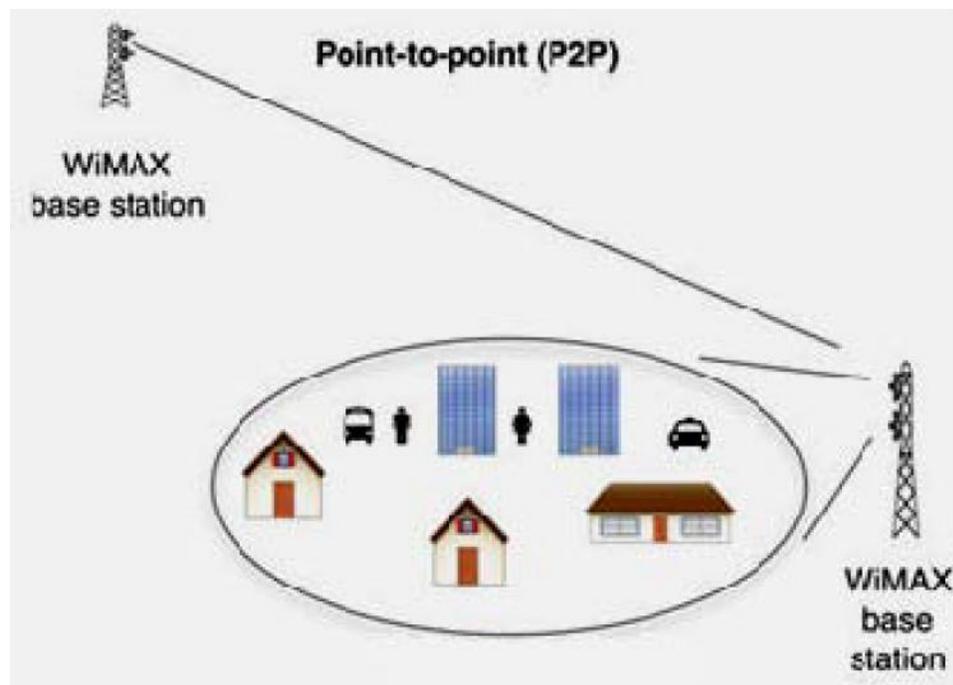
Di samping itu, forum ini bertujuan mengembangkan perangkat-perangkat tersebut agar bisa memenuhi kebutuhan pasar. Forum ini beranggotakan berbagai produsen semikonduktor, *vendor*, *network operator*, akademisi, organisasi dan perusahaan telekomunikasi lainnya seperti *Airspan*, *Alvarion*, *Analog Devices*, *Aperto Networks*, *Ensemble Communications*, *Fujitsu*, *Intel*, *Nokia*, *OFDM Forum*, *Proxim*, *Wi-LAN*, dan lain sebagainya. (L:nuaymi:2007)

2.9 Topologi Jaringan *WiMAX*

Topologi jaringan *WiMAX* dapat dibagi dalam dua kategori besar, yaitu *point to point (P2P)* dan *point to multipoint (PMP)*, serta dapat dikembangkan menjadi jaringan berbentuk *mesh*.

2.9.1. Topologi Point to Point (P2P)

Topologi *point to point* merujuk hanya kepada sebuah hubungan khusus diantara sesama *base station (BS)* ataupun antara *BS* dengan pelanggan. Topologi jenis ini sangat tidak efisien dalam pemanfaatan sumber daya. Topologi ini biasanya dikhususkan untuk pelanggan dengan kebutuhan lebar pita yang sangat tinggi dan juga untuk *backhaul* antar *BS*, yakni jaringan utama yang mentransmisikan *bandwidth* yang sangat tinggi bahkan hingga keseluruhan *bandwidth* sistem. Untuk mengakomodasi hal tersebut, lebar pita dikonsentrasikan dalam satu hubungan untuk memberikan *throughput* yang lebih tinggi. Topologi *P2P* dapat dilihat pada Gambar 2.6.

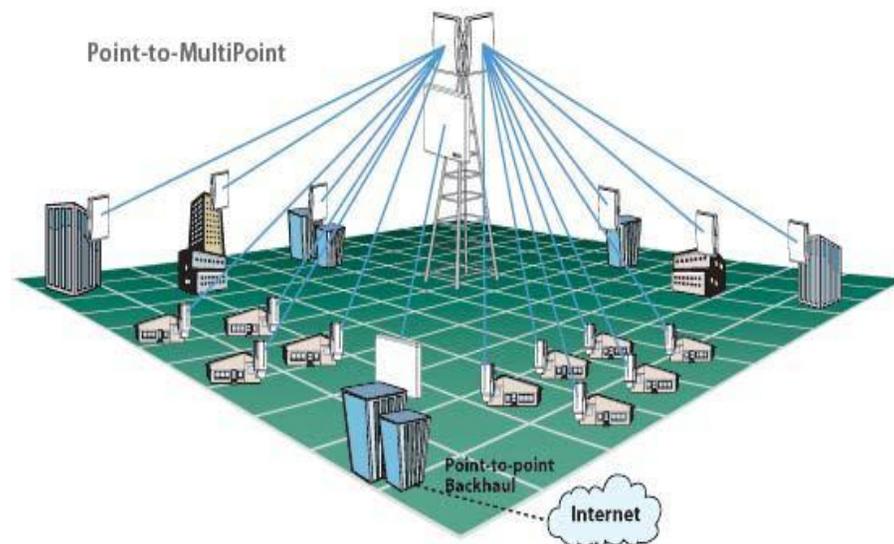


Gambar 2.6 Topologi Point to Point(G.Andrews:2007)

2.9.2. Topologi Point to Multipoint (PMP)

Topologi *PMP* digunakan untuk melayani akses langsung ke banyak pelanggan. Pelanggan terkoneksi secara terpisah terhadap *BS*. Dalam topologi ini *BS* digunakan

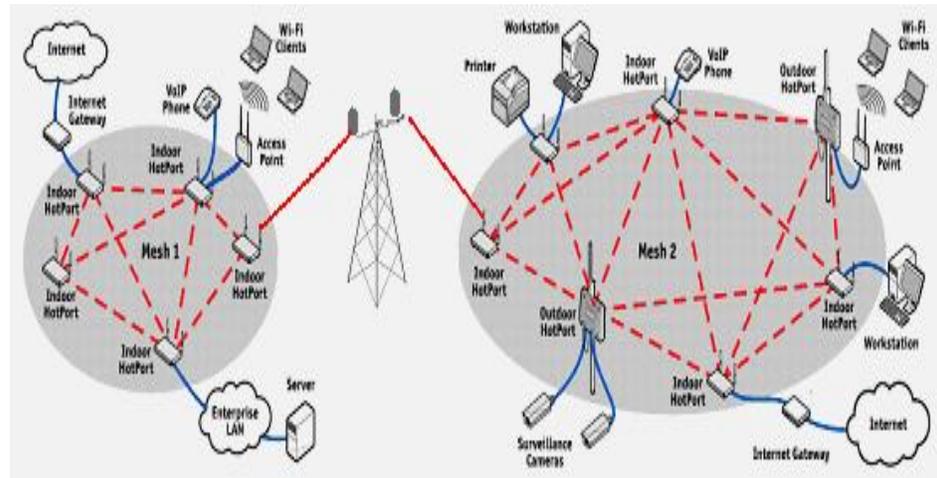
untuk mengendalikan sejumlah pelanggan. Kemampuan dari jumlah pelanggan tergantung dari tipe *QoS* yang ditawarkan operator. Bila tiap *SS* mendapatkan *bandwidth* cukup besar maka kapasitas jumlah user juga akan semakin berkurang, dan sebaliknya. Topologi *PMP* adalah topologi tersentralisasi dimana *BS* merupakan sentral dari sistem. Gambar 2.7 menunjukkan implementasi topologi *PMP*.



Gambar 2.7 Topologi Point to Multipoint(G.Andrews:2007)

2.9.3. Topologi Mesh

Pada topologi ini, trafik data ditransmisikan dari *BS* ke pelanggan/*SS*, tetapi trafik data tidak berhenti sampai disini, melainkan *SS* tersebut dapat merutekan kembali trafik data tersebut kepada *SS* yang lain. Mode *mesh* dapat juga dilakukan diantara sesama *SS* tanpa melibatkan *BS*. Pada topologi ini *BS* tidak lagi menjadi sentral dari sistem. Setiap *station* dapat membentuk komunikasi tersendiri dengan *station* lain dalam jaringan dan tidak dibatasi untuk berkomunikasi hanya dengan *BS*. Sehingga keuntungan utama dari topologi ini adalah jangkauan *BS* dapat lebih luas, tergantung pada jumlah *hop* hingga *SS* dengan jarak paling jauh. Elemen dari jaringan mesh dinamakan *node*. Gambar 2.8 mengilustrasikan topologi jaringan mesh.



Gambar 2.8 Topologi Mesh(G.Andrews:2007)

2.10 Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM)

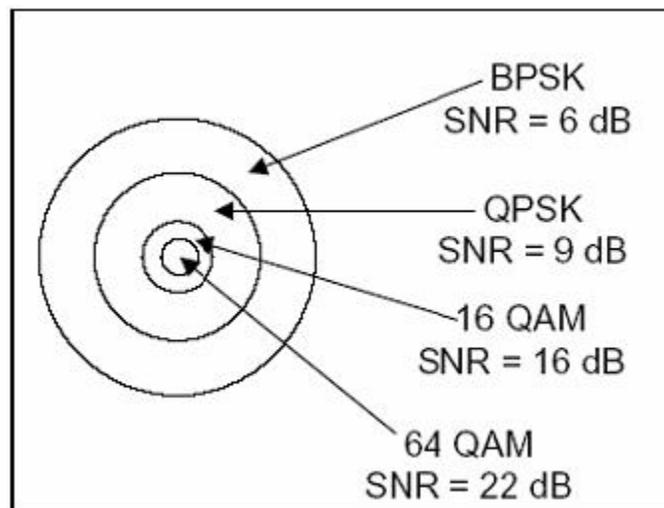
OFDM merupakan teknik kombinasi dari modulasi dan *multiplexing*. OFDM termasuk salah satu jenis *digital multicarrier modulation* yang menggunakan banyak frekuensi sebagai *subcarrier* yang *orthogonal* satu sama lain (Prasad:2004). Masing-masing *subcarrier* menggunakan teknik modulasi pada *simbol rate* yang lebih rendah. Konsep dasar OFDM berbeda dengan FDM (*Frequency Division Multiplexing*). Pada FDM, suatu *bandwidth* tertentu dibagi menjadi beberapa kanal tersendiri berdasarkan frekuensi. Agar masing-masing kanal tidak saling menginterferensi satu sama lain maka diberi jarak antar kanal (*guardband*). Hal ini tentunya akan membuat penggunaan *bandwidth* tidak efisien. Berbeda halnya dengan FDM, pada OFDM penggunaan *bandwidth* sangat efisien. Beberapa kanal yang ada dalam satu *bandwidth* seakan-akan ditumpang tindihkan menjadi satu, namun tidak terjadi saling interferensi antar kanal. Hal ini dikarenakan masing-masing sinyal transmisi dalam setiap kanal bersifat saling *orthogonal* dan *harmonic* satu sama lain. Dengan kata lain, *null* dari setiap kanal yang berdekatan jatuh tepat pada titik tengah *spectrum*.

Pada OFDM, sinyal terbagi menjadi *subcarrier* yang *orthogonal* sehingga sinyal yang terbentuk adalah sinyal *narrowband* (beberapa kHz) dan oleh karena itu

sinyal ini sangat tahan terhadap efek *multipath*. OFDM juga sangat sesuai dengan teknologi terkini, seperti *smart antenna* dan MIMO. Masing-masing simbol dari OFDM dapat mengirim informasi ke/dari beberapa *user* dengan menggunakan *set* yang berbeda dari setiap *subcarrier* (subkanal). Hal ini tidak hanya menambah fleksibilitas sinyal untuk sumber daya yang tersedia (menambah kapasitas) tapi juga bisa diterapkan *cross-layer optimization radio link*.

2.11 Adaptive Modulation

Modulasi adaptif memungkinkan sistem WiMAX untuk menyesuaikan skema modulasi sinyal tergantung pada sinyal noise rasio (SNR). Skema modulasi digunakan ketika radio link dalam kualitas tinggi. Ini akan memberikan kemampuan lebih untuk sistem. Selama sinyal tinggi, maka sistem WiMAX dapat mentransfer ke modulasi skema yang lebih rendah untuk mempertahankan kualitas koneksi. Fitur ini memungkinkan sistem untuk mengatasi waktu keputaran. Fitur utama modulasi adaptif adalah bahwa hal itu memungkinkan untuk mengirimkan data pada tingkat tinggi selama kondisi terbaik dibandingkan dengan tetap memiliki skema yang selalu transmit data rendah untuk kondisi buruk.



Gambar 2.9 Relatif cell dari modulasi adaptif

2.11.1. BPSK(*Binary Phase Shift Keying*)

Binary Phase Shift Keying atau BPSK adalah salah satu teknik modulasi sinyal dengan konversi sinyal digital “0” atau “1” menjadi suatu simbol berupa sinyal kontinu yang mempunyai dua fase yang berbeda. Untuk bit “1” mempunyai pergeseran fase 0° dan untuk bit “0” mempunyai pergeseran fase 180° . Jadi pada modulasi BPSK, informasi yang dibawa akan mengubah fase sinyal pembawa.

Nama lain untuk BPSK adalah *Phase Reversal Keying* (PRK) dan *biphase modulation*. Modulasi BPSK lebih sering dipakai pada transmisi digital dibandingkan dengan jenis modulasi lain karena BPSK memiliki kelebihan kelebihan sebagai berikut:

- Performansi interferensi lebih baik.
- Jumlah level yang dikodekan lebih banyak.
- Sangat kokoh, sering digunakan secara ekstensif pada komunikasi digital.

2.11.2. QPSK

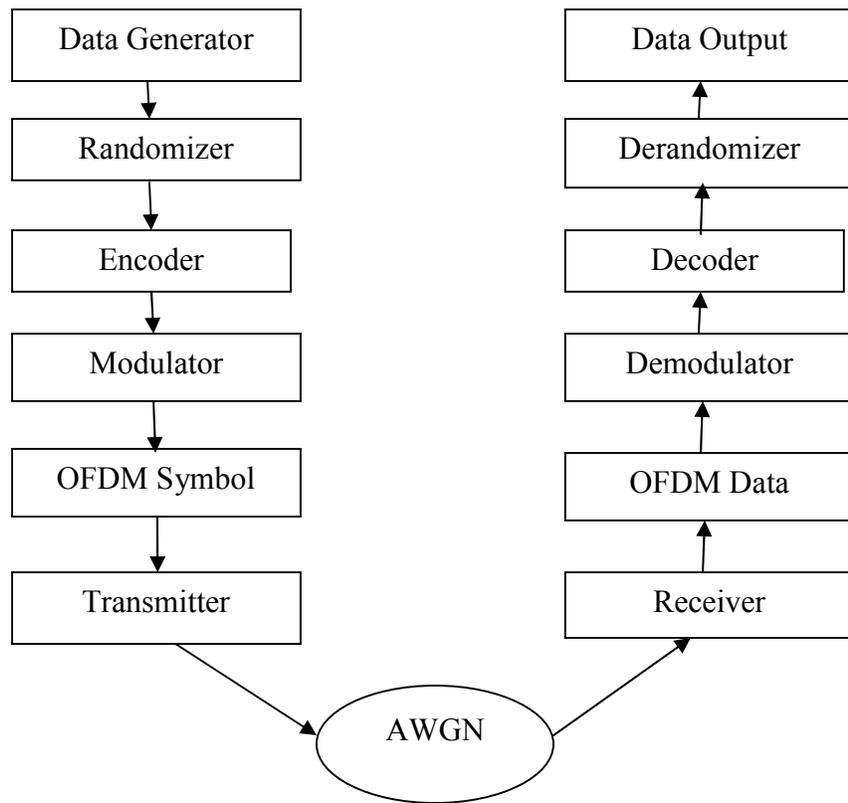
QPSK atau quadrature phase shift keying adalah bentuk lain dari modulasi digital selubung konstan termodulasi sudut. QPSK adalah teknik pengkodean M-ary dimana $M = 4$ (karenanya dinamakan quaternary yang berarti 4). M-ary adalah suatu bentuk turunan dari kata binary. M berarti digit yang mewakili banyaknya kondisi yang mungkin. Dalam QPSK ada empat fasa keluaran yang berbeda, maka harus ada empat kondisi masukan yang berbeda. Karena masukan digital ke modulator QPSK adalah sinyal biner, maka untuk menghasilkan empat kondisi masukan yang berbeda harus dipakai bit masukan lebih dari satu bit tunggal. Menggunakan dua bit, ada empat kondisi yang mungkin yaitu: 00, 01, 10 dan 11. Karena itu dalam QPSK data masukan biner dikelompokkan dalam kelompok yang terdiri dari dua bit yang disebut dibit. Setiap kode dibit membangkitkan salah satu dari fase keluaran yang mungkin. Oleh karena itu setiap dibit (dua bit) masuk ke dalam modulator, terjadi satu perubahan keluaran, sehingga kecepatan perubahan keluaran adalah setengah kecepatan bit masukan.

BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN

Untuk mendukung dalam pengerjaan tugas akhir ini maka disusun langkah-langkah supaya pengerjaan tugas akhir ini dapat dikerjakan secara runtun. Langkah-langkah tersebut dimulai dengan penyusunan sistem yang akan disimulasikan lalu tahapan-tahapan pengerjaan tugas akhir ini.

3.1 Diagram Blok Sistem

Blok diagram model sistem *WIMAX* yang akan dibangun pada simulasi tugas akhir ini dapat dilihat pada gambar 3.1



Gambar 3.1 Diagram Blok Sistem

3.1.1 Data Generator

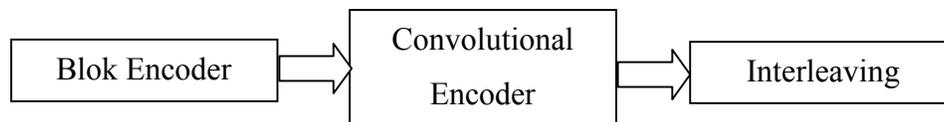
Data generator berfungsi untuk membangkitkan bit data masuk secara acak. Data generator disimulasikan untuk membangkitkan bit acak yang terdistribusi normal bernilai 0 dan 1.

3.1.2 Randomizer

Randomizer digunakan untuk mengoperasikan operasi logika antar urutan PN dan data utama. Hal ini digunakan untuk mengidentifikasi dengan mudah pada penerima.

3.1.3 Encoder

Setelah proses *randomizer*, dilakukanlah pengkodean pada sinyal tersebut. Encoding digunakan untuk sinyal transmisi yang mengalami distorsi. Proses encoding dapat dilihat pada gambar 3.2.



Gambar 3.2 Diagram Blok Encoder

Untuk pengkodean akan dilakukan pada blok Convolutional Encoder. Pada blok ini akan diberikan code rate untuk modulasi dengan nilai yg berbeda-beda. Perbedaan nilai ini dipengaruhi oleh RS code, jumlah blok dan kode konvolusi dari tiap-tiap modulasi tersebut.

Tabel 3.1 Ukuran *coding rate* tiap modulasi

Modulasi	<i>RS code</i>	<i>cc code rate</i>	<i>Coding rate</i>
BPSK	(12,12,0)	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$
QPSK	(32,24,4)	$\frac{2}{3}$	$\frac{1}{2}$
QPSK	(40,36,2)	$\frac{5}{6}$	$\frac{3}{4}$
16-QAM	(64,48,4)	$\frac{2}{3}$	$\frac{1}{2}$
16-QAM	(80,72,4)	$\frac{5}{6}$	$\frac{3}{4}$
64-QAM	(108,96,6)	$\frac{3}{4}$	$\frac{2}{3}$
64-QAM	(120,108,6)	$\frac{5}{6}$	$\frac{3}{4}$

3.1.4 Modulator

Ada beberapa teknik modulasi yang digunakan pada WiMAX. Pada simulasi ini digunakan modulasi BPSK, QPSK, 16-QAM, 64-QAM.

3.1.5 OFDM Symbol

Simbol OFDM pada WiMAX memiliki 256 subcarrier. Ada 3 subcarrier yang digunakan yaitu data, pelatihan, pilot dan *dc subcarrier*. 200 subcarrier digunakan untuk data dan pilot subcarrier., delapan diantaranya adalah ruang pilot permanen seluruh spectrum OFDM. Yang tersisa 192 bawaan aktif yang mengambil data subcarrier. Pada OFDM simbol terjadi proses IFFT dan penambahan *cyclic prefix* sebelum masuk ke transmitter.

3.1.6 Transmitter

Pada blok antenna terdiri dari blok kanal. Kanal yg digunakan adalah *Additive White Gaussian Noise* (AWGN). Kanal AWGN adalah kanal ideal yang mana terdapat noise AWGN didalamnya dimana noise AWGN ini merupakan gangguan yang sering muncul pada jaringan komunikasi dan juga kanal ini tidak mengalami distorsi atau perubahan sinyal.

3.1.7 Receiver

Antenna receiver digunakan untuk menerima data transmisi data dari kanal yang berada pada blok transmitter. Setelah data diterima maka akan mengalami proses penghilangan *cyclic prefix* yang awalnya ditambahkan pada blok transmitter.

3.1.8 OFDM Data

Pada blok ini terjadi proses FFT yang man merubah sinyal dari domain waktu menjadi domain frekuensi kembali seperti awal sebelum terjadi proses IFFT.

3.1.9 Demodulator

Demodulator memiliki fungsi yang sama seperti modulator. Yang mana sinyal yang diterima akan didemodulasikan supaya data dapat terbaca dengan jelas.

3.1.10 Decoding

Setelah melalui demodulator maka proses selanjutnya adalah decoding. Pada proses ini terdapat penghilangan kode-kode yang ada pada sinyal.

3.1.11 Derandomizer

Setelah mengalami decoding, sinyal yang ada masih berupa sinyal acak akan dikembalikan menjadi bit biner yang mana proses pengambilannya sama seperti saat proses pengacakan pada blok transmitter.

3.1.12 Data output

Pada data output ini, data yang berupa bit biner akan dikembalikan menjadi bentuk interger dan untuk melihat nilai error dari sistem ini menggunakan bantuan blok *bit error rate calculation* yang nantinya akan membandingkan data masukan sebelum terjadi proses modulasi dan data keluaran yang telah dimodulasi.

3.2 Parameter Sistem

Parameter yang digunakan pada simulasi ini adalah

Tabel 3.3 Parameter sistem

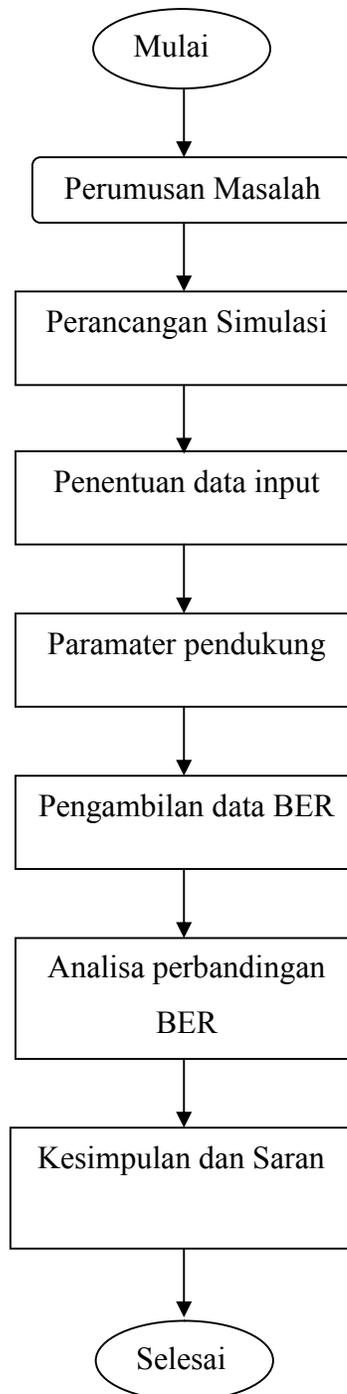
Parameter	Nilai
Standard WiMAX	IEEE-802.16.e
Multiplexing	OFDM
Modulation	BPSK, QPSK, 16-QAM, 64-QAM
FFT Point	256
Bandwidth Kanal	10 MHz
OFDM Symbol	100
Cycle Prefix	$\frac{1}{4}$
Sampling rate(nf)	57/50
Power	30 dBm(1 watt)
Subcarrier pilot	8
Subcarrier data	192

3.3 Tahapan Penelitian

Penelitian ini dimulai dari pengumpulan data untuk mengetahui komponen dasar masukan pada sistem WiMAX. Setelah melakukan pengumpulan data, tahapan selanjutnya yaitu merancang simulasi untuk menganalisa sistem WiMAX tersebut.

Tahapan selanjutnya yaitu dilakukan analisis dengan menggunakan sistem simulasi yang telah dirancang sebelumnya. Dalam proses analisis ini hal pertama yang akan dianalisis adalah mengenai pentingnya teknik modulasi adaptif untuk meningkatkan kesalahan bit standar WiMAX. Perubahan yang diamati adalah laju kesalahan bit dan sinyal untuk rasio kebisingan dengan perbandingan nilai simulasi yang telah di plot dalam setiap kasus. Kemudian pada analisa selanjutnya akan dilakukan perbandingan hasil kinerja tingkat kesalahan bit yang telah dilaporkan menggunakan teknik modulasi yang berbeda. Data input dalam modulasi ini adalah sinyal acak dalam bentuk biner.

3.4 Alur Penelitian



Gambar 3.4 Diagram Alir Penelitian

Pada tahapan awal dilakukan perumusan masalah dan selanjutnya dilakukan perancangan simulasi. Setelah perancangan simulasi dan pemilihan parameter pendukung terbentuk yang dilakukan selanjutnya adalah pemilihan data input serta nilai-nilai dari parameter pendukung tersebut. Lalu memasukkan data input berupa sinyal acak dalam bentuk bit biner. Setelah itu dilakukanlah pengambilan data yaitu nilai Bit Error Rate dengan merubah jenis modulasi adaptive dan menganalisa perubahan nilai tersebut. Analisanya dengan melihat perubahan dari nilai Bit Error Rate yang terjadi pada setiap modulasi.

BAB 4. ANALISIS DAN PEMBAHASAN

Pada tugas akhir ini dilakukan simulasi tentang sistem WiMAX berbasis OFDM menggunakan teknik modulasi adaptif dan input data merupakan sinyal acak. Bab ini akan membahas tentang proses analisis data sistem WiMAX yang dimulai dari proses pembuatan sistem hingga mengkalkulasi nilai *Bit Error Rate*.

4.1 Pembuatan Program Simulasi Sistem WiMAX

Dalam pembuatan program simulasi Sistem WiMAX ini input yang digunakan berupa sinyal acak. Pada simulasi ini terbagi menjadi enam bagian utama yang merupakan proses dari simulasi sistem WiMAX yaitu meliputi proses pembentukan data masukan, pengecekan data, pengkodean, modulasi, transmitter, dan receiver.

a. Data Generator

Masukan dari sistem ini berupa sinyal acak yang dibentuk menggunakan fungsi “Randint” yang terdiri dari 6 nilai yang berbeda-beda pada setiap kasus(modulasi) dapat dilihat pada tabel 4.1.

Tabel 4.1. Jumlah data masukan

Kasus	Fungsi	Jumlah bit masukan
0	<code>data_get=randint(11*8,1);</code>	88
1	<code>data_get=randint(23*8,1);</code>	184
2	<code>data_get=randint(35*8,1);</code>	280
3	<code>data_get=randint(47*8,1);</code>	376
4	<code>data_get=randint(71*8,1);</code>	568
5	<code>data_get=randint(95*8,1);</code>	760
6	<code>data_get=randint(107*8,1);</code>	856

Data pada tabel 4.1 diperoleh dari memasukan nilai secara acak dengan tiap kasus memiliki nilai yang berbeda-beda kemudian dikalikan dengan 8 nilai bit 0 dan 1. Setelah proses *running* fungsi untuk data generator maka dihasilkan keluaran dalam bentuk bilangan bit.

b. Randomization/Pengacakan Data

Setelah input data terbentuk, data tersebut mengalami pengacakan yang disebut dengan *data randomization*. Pada proses pengacakan ini mengalami iterasi, jumlah iterasi ditentukan dari data masukan yang telah ditentukan. Setelah mengalami iterasi, data masukan tersebut mengalami loop sejumlah dari iterasi sebelumnya. Pada proses loop ini menggunakan fungsi “bitxor” supaya pada output nanti diketahui waktu yang tepat untuk nilai dari bit tersebut berada. Misalnya, jika terdapat salah satu nilai 1 pada input, maka keluaran menghasilkan 1. Sedangkan untuk keluaran 0, ketika array masukan memiliki nilai yang sama (baik keduanya 1 ataupun 0). Data acak ini berupa bitstream ‘double’. Dari proses *running* fungsi untuk *data randomizer* maka dihasilkan keluaran dalam bentuk bilangan bit dengan jumlah sama dengan data generator.

```
data_rand=randomizer(data_get);
```

c. Reed Solomon Encoder

Fungsi dari *reed solom encoder* adalah untuk mengkodekan pesan yang menggunakan bantuan generator polynomial untuk membentuk *array Galois* sehingga data masukan yang telah berbentuk bit dan telah mengalami pengacakan akan membentuk bit baru. Sebelum membentuk *array galois*, data terlebih dahulu dikonversi dari biner menjadi decimal

```
data = reshape(data_in,8,length(data_in)/8);
data = bi2de(data.','left-msb');
data=[data.' 0];
```

Setelah itu barulah membentuk *array galois* dengan bantuan generator polynomial “gf”.

```
msg = gf([data],m); % used polynomial to generate gf field
array is same as describe in ieee standrds
codeRS = rsenc(msg,n,k); % here we used primitive polynomial
as in bydefault in matlab
out = codeRS.x ; % convert codeRS a gf object to
uni8 array
data_out=double(out); % convert to double array
```

Jika mengalami kelebihan bit baru maka kelebihan bit tersebut akan dimasukkan pada array terakhir sehingga bit asli masih dapat mengalami pengkodean selanjutnya dan kemudian data dikonversi kembali menjadi biner.

d. Convolutional Encoder

Convolutional Encoder adalah proses pengkodean dalam setelah pengkodean menggunakan *RS encoder*. Disini menggunakan empat nilai coding rate yang berbeda-beda untuk masing-masing modulasi sesuai dengan standard IEEE 802.16, yaitu *Convolutional Coder* $\frac{1}{2}$, *Convolutional Coder* $\frac{2}{3}$, *Convolutional Coder* $\frac{3}{4}$, dan *Convolutional Coder* $\frac{5}{6}$ untuk menghasilkan nilai *Code rate* seperti pada tabel 3.1. Selain itu nilai dari fungsi penerima polynomial generator dari *convolutional encoder* adalah 7 untuk batas panjang, dan vector [171 133] untuk kode generatornya.

Lalu untuk proses pengkodean itu sendiri menggunakan fungsi convenc.

```
coded_data = convenc(data_in,t); % encoding
data_out=coded_data;
```

e. Interleaving

Setelah proses *channel coding* proses selanjutnya adalah interleaver. Pada proses ini merupakan proses pemetaan data yang terdapat dua tahapan yaitu

memisahkan data yang berdekatan, sehingga mampu meningkatkan performansi dari proses *decoder* nantinya. Lalu tahap yang kedua adalah memastikan bit yang berdekatan menjadi sedikit dan menunjukkan perbedaan pada bit-bit yang saling berdekatan untuk konstelasi modulasi.

Pada interleaver terdapat dua nilai bit sesuai dengan tahapannya yaitu N_{cpc} atau nilai blok-blok per carrier (1 untuk BPSK, 2 untuk QPSK, 4 untuk 16QAM, dan 6 untuk 64 QAM). Dan N_{cbps} atau nilai blok-blok bit untuk subcarrier pada pembentukan symbol OFDM. Serta terdapat nilai s yang terbentuk dari $s = \text{ceil}(N_{cpc}/2)$.

```
data_interleav=interleav_d(data_coded,rate_id);
data_out = zeros(1,Ncbps);
    data_out(i) = data(b(i));
data_out=data_out';
```

f. Modulator

Sinyal masukan yang berupa bit dirubah menjadi symbol dengan menambahkan nilai 'k'. Nilai 'k' merupakan total bit per simbol dari masing-masing modulasi. Nilai 'k' didapat dari persamaan $k = \log_2(M)$ dengan nilai M ini merupakan nilai bit per simbol dari tiap-tiap modulasi (2 untuk BPSK, 4 untuk QPSK, 16 untuk 16QAM, dan 64 untuk 64QAM). Setelah sinyal berupa simbol barulah terjadi proses pemodulasian dengan syarat sinyal harus dalam bentuk vektor kolom yang mengandung integer antara 0 hingga $M-1$.

Setelah dilakukan proses modulasi maka bilangan bit yang berupa serial akan dirubah menjadi bentuk paralel dalam data matriks. Dengan jumlah baris sesuai dengan jumlah sinyal yang dicoding.

```
data_mod=mod_d(data_interleav,rate_id);
```

g. OFDM Symbol

Pada proses ini terjadi tiga proses yaitu proses IFFT, pembentukan symbol OFDM, dan penyisipan *cyclic prefix*. Pada proses pembentukan symbol OFDM yang menggunakan fungsi `symbol_ofdm = createsymbol (pilots,data)`.

Sebelum membentuk simbol OFDM maka harus membentuk pilots dan datanya dengan program sebagai berikut:

```
A=complex(-1,0);
B=complex(1,0);
pilots = [A B A B B B A A];
n_symbol = 1;
seed = [1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1];
for i=1:n_symbol+2
    wk(i) = seed (11);
    next = xor(seed(9),seed(11));
    seed = [next seed(1,1:10)];
end
```

Setelah pilot terbentuk selanjutnya membuat *guard band subcarrier* dengan bantuan program seperti berikut:

```
guard1 = complex (0,0) * ones (1,28);
DC = complex (0,0);
guard2 = complex (0,0) * ones (1,27);
```

Guard band subcarrier dan pilot terbentuk kemudian dilakukan proses pembuatan simbol OFDM

```
symbol_ofdm = [guard1 data(1:12) pilots(1) data(13:36) ...
pilots(2) data(37:60) pilots(3) data(61:84) pilots(4) ...
data(85:96) DC data(97:108)
pilots(5) data(109:132) pilots(6) ...
data(133:156) pilots(7) data(157:180) pilots(8)
data(181:192) guard2];
%ofdm symbol is completed
```

Setelah itu terjadi proses IFFT yang ditambahkan dengan memasukkan nilai *Nfft* sebesar 256 pada simbol OFDM

```
%Penambahan IFFT
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
symbol_ofdm = sqrt(Nfft).*ifft(symbol_ofdm,Nfft);
```

Proses selanjutnya yaitu penyisipan *cyclic prefix*. *Cyclic prefix* merupakan salinan bagian akhir simbol OFDM dan ditempatkan pada bagian awal simbol supaya mencegah terjadinya *Intersymbol Interference (ISI)*. Disini nilai *cyclic prefix* yang digunakan adalah $\frac{1}{4}$. Data hasil dari penyisipan *cyclic prefix* ini berupa data transmitter yang juga masukan dari receiver.

```
%Penyisipan cyclic prefix
margin = length(symbol_ofdm)*G;
data_tx = [symbol_ofdm((end-margin+1):end) symbol_ofdm];
data_out=data_tx;
```

h. Kanal AWGN

Disini merupakan bagian terpenting dari transmitter karena data yang telah diolah sebelumnya akan diterima kanal AWGN lalu diolah dengan menambahkan nilai SNR kanal sebesar 10 dB dan data keluarannya akan diterima oleh receiver nantinya.

```
data_rx = awgn(data_tx,snr,'measured');
```

i. OFDM Data

Proses pertama dari bagian *receiver* ini yaitu FFT demodulator atau proses kebalikan dari IFFT modulator. Pada proses ini terjadi penghilangan *cyclic prefix* dan peng-*invers*-an IFFT menjadi FFT.

Kegunaan penghilangan *cyclic prefix* ini untuk memisahkan sinyal sebenarnya dengan ekstensi *cyclic* yang mungkin telah mendapatkan efek ISI akibat pengaruh multipath pada proses pengiriman sinyal dari transmitter ke receiver. Proses penghilangan CP ini dapat dilakukan dengan program seperti berikut:

```
margin = length(data_rx)*G;
margin = margin/(1+G);
symbol_ofdm_rx= data_rx(margin+1:end);
```

Setelah terjadi proses penghilangan CP, barulah terjadi proses *inverse* IFFT menggunakan FFT

```
symbol_rx = fft(symbol_ofdm_rx,Nfft) ./ sqrt(Nfft);
```

Kemudian dilanjutkan dengan membuat data keluaran dari pilot symbol_rx

```
pilots = [symbol_rx(41) symbol_rx(66) symbol_rx(91)
symbol_rx(116) symbol_rx(142) symbol_rx(167) symbol_rx(192)
symbol_rx(217)];
data_total = [symbol_rx(29:40) symbol_rx(42:65)
symbol_rx(67:90) symbol_rx(92:115) symbol_rx(117:128)...
symbol_rx(130:141) symbol_rx(143:166) symbol_rx(168:191)
symbol_rx(193:216) symbol_rx(218:229)];
data_out=data_total'; %this makes it a column vector
```

j. Demodulator

Proses demodulasi ini akan mentransformasikan simbol kembali dalam bentuk bit. Namun sebelum terjadi proses demodulasi, terlebih dahulu akan dilihat konstelasi dari sinyal yang diterima. Jika konstelasi sinyal yang diterima sesuai dengan jenis modulasi yang ditransmisikan maka sinyal dapat dimodulasi dengan jenis demodulator yang sama dengan modulator pada transmitter.

```
data_demod=demod_d(data_rxp,rate_id);
```

k. Deinterleaver

Deinterleaver merupakan proses kebalikan dari *interleaver*. Hal ini juga memiliki dua proses yaitu mengembalikan indeks yang berjauhan menjadi berdekatan, dan proses bit yang berdekatan menjadi sejumlah d yang merupakan nilai dari parameter *arbitrary* dengan nilai 16.

```
data_deinterleav=deinterleav_d(data_demod,rate_id);
```

l. Convolution Decoder

Pada proses ini terjadi pembentukan data yang berasal dari data deinterleaver untuk didecoding.

```
decoded_data=vitdec(data_in,t,12,'trunc','hard');% decoding
data_out=decoded_data;
```

m. Reed Solomon Decoder

Reed Solomon decoder merupakan kebalikan dari *RS encoder* yang mana pada prosesnya adalah mengkonversi data keluaran yang berasal dari *convolution decoder* menjadi bentuk decimal. Sebab pada *Reed Solomon* data yang diminta selalu berbentuk decimal.

```
% RS DECODER
% binary to decimal conversion
data = reshape(data_in,8,length(data_in)/8);
data = bi2de(data.','left-msb'); data=[data.'];
```

Lalu jika terdapat kelebihan bit maka sama dengan *RS Encoder*, kelebihan tersebut akan dimasukkan pada array terakhir.

```
data=[data(d+1:end) data(1:d)];
```

Setelah itu barulah terjadi proses *decoding* terluar dan data dikembalikan dalam bentuk biner.

n. Derandomizer

Derandomizer merupakan proses penyusun kembali data dari *Reed Solomon Decoder*. Pada proses ini akan didapatkan kembali bit informasi yang sebelumnya diacak oleh pengirim. Proses pengambilan ini sama seperti proses pengacakan (*randomizer*) pada bagian pengirim yang juga mengalami iterasi dan loop sejumlah dari data masukan sebelumnya.

```
data_unrand=randomizer(data_rsdecoded);
```

o. Bit Error Rate

Tahap terakhir dari simulasi ini yaitu menentukan nilai bit error rate yang menjadi acuan untuk mengetahui kinerja sistem WiMAX dengan menggunakan teknik modulasi adaptif. Dengan harapan semakin kecil nilai BER yang dihasilkan maka modulasi yang memiliki nilai BER tersebut adalah yang terbaik untuk sistem ini.

```
[noerr(p),ber(p)] = biterr(data_unrand,data_get);
bit_error_rate=bit_error_rate+ber;
bit_error_rate=bit_error_rate/no;
```

4.2 Perhitungan *Bit Error Rate* Tiap Modulasi

Pada tugas akhir ini juga menggunakan analisa perhitungan yang mewakili teori yang nantinya akan menjadi pembanding dari simulasi tersebut.

Sedangkan dari sisi perhitungan untuk variabel sebagai pendukung mencari nilai BER didapat dari hasil sebagai berikut:

$$\begin{aligned} N_{used} &= N_{data} + N_{pilot} \\ &= 192 + 8 \\ &= 200 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} F_s &= n_f \times BW \\ &= 57/50 \times 10 \text{ MHz} \\ &= 11.4 \text{ MHz} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Delta f &= F_s/N_{fft} \\ &= 11.4/256 \\ &= 0.044 \text{ MHz} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} T_b &= 1/\Delta f \\ &= 1/0.044 \\ &= 22.45 \mu s \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 BR &= N_{used} \times B_m \times \frac{Ct}{T_b} \\
 &= 200 \times 1 \times \frac{1/2}{22.45} \\
 &= 4.45 \text{ Mbps}
 \end{aligned}$$

Menggunakan persamaan yang sama sehingga tiap modulasi menghasilkan nilai pendukung perhitungan BER seperti pada tabel 4.2.

Tabel 4.2 Hasil perhitungan *bit rate* tiap modulasi

Modulasi	Nused	Coding Rate (Ct)	Periode Simbol (Tb)	Bit Rate (Mbps)
BPSK	200	1/2	22.45 μ s	4.45
QPSK	200	1/2	22.45 μ s	8.9
QPSK	200	3/4	22.45 μ s	13.36
16-QAM	200	1/2	22.45 μ s	17.81
16-QAM	200	3/4	22.45 μ s	26.72
64-QAM	200	2/3	22.45 μ s	35.63
64-QAM	200	3/4	22.45 μ s	40.68

Selain itu dalam perhitungan BER diperlukan nilai E_b/N_o (*Energy bit to Noise Ratio*). Nilai ini merupakan perbandingan SNR terhadap *noise*.

Untuk memperoleh nilai E_b/N_o dengan menggunakan teknik modulasi BPSK 1/2 dengan nilai SNR standard IEEE 802.16 yaitu 6 dB yang mempunyai *bit rate* 4.45 Mbps dapat diperoleh menggunakan persamaan:

$$\begin{aligned}
 \left(\frac{E_b}{N_o}\right) &= \text{SNR} - 10\log\left(\frac{B_w}{BR}\right) \\
 &= 6 - 10\log\frac{10 \times 10^6}{4.45 \times 10^6} \\
 &= 6 - 3.5164 \\
 &= 2.4836 \text{ dB}
 \end{aligned}$$

Dengan cara perhitungan yang sama untuk modulasi QPSK $\frac{1}{2}$, QPSK $\frac{3}{4}$, 16QAM $\frac{1}{2}$, 16QAM $\frac{3}{4}$, 64QAM $\frac{2}{3}$, 64QAM $\frac{3}{4}$, dan nilai-nilai pendukung (SNR dan *bit rate*) yang telah diperoleh sebelumnya maka didapat dilakukan perhitungan untuk mencari *bit error rate* pada masing-masing modulasi.

1. Modulasi BPSK $\frac{1}{2}$

Besarnya nilai BER menggunakan teknik modulasi BPSK $\frac{1}{2}$ dengan nilai SNR 6 dB dan $E_b/N_0 = 2.4836$ dB maka dapat dihitung menggunakan persamaan:

$$\begin{aligned}
 PB &= Q\left(\sqrt{\frac{2E_b}{N_0}}\right) \\
 &= Q\sqrt{2 \times 2.4836} \\
 &= Q\sqrt{4.9672} \\
 &= Q(2.22872) \\
 Q(x) &= \frac{1}{2} \operatorname{erfc}\left(\frac{2.22872}{\sqrt{2}}\right) \\
 Q(2.22872) &= \frac{1}{2} \operatorname{erfc}(1.57594) \\
 \operatorname{Erfc}(x) &= \frac{1}{\sqrt{\pi x}} e^{-x^2} \\
 &= \frac{1}{\sqrt{3.14 \times 1.57594}} e^{-(1.57594)^2} \\
 &= \frac{1}{4.94846} e^{-2.48359} \\
 &= 0.01686 \\
 Q(2.22872) &= \frac{1}{2} \operatorname{erfc}(1.57594) \\
 &= \frac{1}{2} (0.01686) \\
 &= 8.43122 \times 10^{-3}
 \end{aligned}$$

2. Modulasi QPSK $\frac{1}{2}$

Besarnya nilai BER menggunakan teknik modulasi QPSK $\frac{1}{2}$ dengan nilai SNR 9 db dan $E_b/N_o = 8.49390$ dB maka dapat dihitung menggunakan persamaan:

$$\begin{aligned}
 PB &= Q\left(\sqrt{\frac{2Eb}{No}}\right) \\
 &= Q\sqrt{2 \times 8.4939} \\
 &= Q(4.12163) \\
 Q(4.12163) &= \frac{1}{2} \operatorname{erfc}\left(\frac{4.12163}{\sqrt{2}}\right) \\
 &= \frac{1}{2} \operatorname{erfc}(2.91443) \\
 \operatorname{Erfc}(x) &= \frac{1}{\sqrt{\pi x}} e^{-x^2} \\
 &= \frac{1}{\sqrt{3.14 \times 2.91443}} e^{-(2.91443)^2} \\
 &= \frac{1}{3.0251} e^{-8.4939} \\
 &= 6.76716 \times 10^{-5} \\
 Q(4.12163) &= \frac{1}{2} \operatorname{erfc}(2.91443) \\
 &= \frac{1}{2} (6.76716 \times 10^{-5}) \\
 &= 3.38358 \times 10^{-5}
 \end{aligned}$$

3. Modulasi QPSK $\frac{3}{4}$

Besarnya nilai BER menggunakan teknik modulasi QPSK $\frac{3}{4}$ dengan nilai SNR 9 dB dan $E_b/N_o = 10.2581$ dB maka dapat dihitung menggunakan persamaan:

$$\begin{aligned}
 PB &= Q\left(\sqrt{\frac{2Eb}{No}}\right) \\
 &= Q\sqrt{2 \times 10.2581} \\
 &= Q(4.52948) \\
 Q(4.52948) &= \frac{1}{2} \operatorname{erfc}\left(\frac{4.52948}{\sqrt{2}}\right) \\
 &= \frac{1}{2} \operatorname{erfc}(3.20282)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Erfc}(x) &= \frac{1}{\sqrt{\pi x}} e^{-x^2} \\
 &= \frac{1}{\sqrt{3.14 \times 3.20282}} e^{-(3.20282)^2} \\
 &= \frac{1}{5.67542} e^{-10.2581} \\
 &= 6.17968 \times 10^{-6}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Q(4.52948) &= \frac{1}{2} \text{erfc}(3.20282) \\
 &= \frac{1}{2} (6.17968 \times 10^{-6}) \\
 &= 3.08984 \times 10^{-6}
 \end{aligned}$$

4. Modulasi 16-QAM $\frac{1}{2}$

Besarnya nilai BER menggunakan teknik modulasi 16-QAM $\frac{1}{2}$ dengan nilai SNR 16 dB dan $E_b/N_o = 18.50664$ dB maka dapat dihitung menggunakan persamaan:

$$\begin{aligned}
 P_b \text{ 16QAM } \frac{1}{2} &= \frac{4(\sqrt{M})-1}{\sqrt{M} \log_2 M} Q\left(\sqrt{\frac{3 \log_2 M E_b}{(M-1)N_o}}\right) \\
 &= \frac{2(\sqrt{M})-1}{\sqrt{M} \log_2 M} \text{erfc}\left(\sqrt{\frac{3 \log_2 M E_b}{4(M-1)N_o}}\right) \\
 &= \frac{2(\sqrt{16})-1}{\sqrt{16} \log_2 16} \text{erfc}\left(\sqrt{\frac{3 \log_2 16}{4(16-1)} \times 18.50664}\right) \\
 &= \frac{6}{16} \text{erfc}\left(\sqrt{\frac{12}{60} \times 18.50664}\right) \\
 &= 0.375 \text{erfc}(1.92388)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Erfc}(x) &= \frac{1}{\sqrt{\pi x}} e^{-x^2} \\
 &= \frac{1}{\sqrt{3.14 \times 1.92388}} e^{-(1.92388)^2} \\
 &= \frac{1}{2.45784} e^{-3.70183} \\
 &= 0.010045
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 P_b \text{ 16QAM } \frac{1}{2} &= 0.375 \operatorname{erfc}(1.92388) \\
 &= 0.375 (0.010045) \\
 &= 3.766875 \times 10^{-3}
 \end{aligned}$$

5. Modulasi 16-QAM $\frac{3}{4}$

Besarnya nilai BER menggunakan teknik modulasi 16-QAM $\frac{3}{4}$ dengan nilai SNR 16 dB dan $E_b/N_o = 20.26836$ maka dapat dihitung menggunakan persamaan:

$$\begin{aligned}
 P_b \text{ 16QAM } \frac{3}{4} &= \frac{4(\sqrt{M})-1}{\sqrt{M} \log_2 M} Q\left(\sqrt{\frac{3 \log_2 M E_b}{(M-1)N_o}}\right) \\
 &= \frac{2(\sqrt{M})-1}{\sqrt{M} \log_2 M} \operatorname{erfc}\left(\sqrt{\frac{3 \log_2 M E_b}{4(M-1)N_o}}\right) \\
 &= \frac{2(\sqrt{16})-1}{\sqrt{16} \log_2 16} \operatorname{erfc}\left(\sqrt{\frac{3 \log_2 16}{4(16-1)} \times 20.26836}\right) \\
 &= \frac{6}{16} \operatorname{erfc}\left(\sqrt{\frac{12}{60} \times 20.26836}\right) \\
 &= 0.375 \operatorname{erfc}(2.01337)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \operatorname{Erfc}(x) &= \frac{1}{\sqrt{\pi x}} e^{-x^2} \\
 &= \frac{1}{\sqrt{3.14 \times 2.01337}} e^{-(2.01337)^2} \\
 &= \frac{1}{2.51436} e^{-4.05367} \\
 &= 6.90376 \times 10^{-3}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 P_b \text{ 16QAM } \frac{3}{4} &= 0.375 \operatorname{erfc}(2.01337) \\
 &= 0.375 (6.90376 \times 10^{-3}) \\
 &= 2.58891 \times 10^{-3}
 \end{aligned}$$

6. Modulasi 64-QAM 2/3

Besarnya nilai BER menggunakan teknik modulasi 64-QAM $\frac{3}{4}$ dengan nilai SNR 22 dB dan $E_b/N_0 = 20.26836$ maka dapat dihitung menggunakan persamaan:

$$\begin{aligned}
 P_b \text{ 64QAM } 2/3 &= \frac{4(\sqrt{M})-1}{\sqrt{M} \log_2 M} Q\left(\sqrt{\frac{3 \log_2 M E_b}{(M-1)N_0}}\right) \\
 &= \frac{2(\sqrt{M})-1}{\sqrt{M} \log_2 M} \operatorname{erfc}\left(\sqrt{\frac{3 \log_2 M E_b}{4(M-1)N_0}}\right) \\
 &= \frac{2(\sqrt{64})-1}{\sqrt{64} \log_2 64} \operatorname{erfc}\left(\sqrt{\frac{3 \log_2 64}{4(64-1)} \times 27.51816}\right) \\
 &= \frac{14}{64} \operatorname{erfc}\left(\sqrt{\frac{18}{252} \times 27.51816}\right) \\
 &= 0.292 \operatorname{erfc}(1.40199)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \operatorname{Erfc}(x) &= \frac{1}{\sqrt{\pi x}} e^{-x^2} \\
 &= \frac{1}{\sqrt{3.14 \times 1.40199}} e^{-(1.40199)^2} \\
 &= \frac{1}{2.09816} e^{-1.96558} \\
 &= 0.06676
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 P_b \text{ 64QAM } 2/3 &= 0.292 \operatorname{erfc}(1.40199) \\
 &= 0.292 (0.06676) \\
 &= 0.01949
 \end{aligned}$$

7. Modulasi 64-QAM $\frac{3}{4}$

Besarnya nilai BER menggunakan teknik modulasi 64-QAM $\frac{3}{4}$ dengan nilai SNR 22 dB dan $E_b/N_0 = 20.26836$ maka dapat dihitung menggunakan persamaan:

$$\begin{aligned}
 P_b \text{ 64QAM } \frac{3}{4} &= \frac{4(\sqrt{M})-1}{\sqrt{M} \log_2 M} Q\left(\sqrt{\frac{3 \log_2 M E_b}{(M-1)N_0}}\right) \\
 &= \frac{2(\sqrt{M})-1}{\sqrt{M} \log_2 M} \operatorname{erfc}\left(\sqrt{\frac{3 \log_2 M E_b}{4(M-1)N_0}}\right) \\
 &= \frac{2(\sqrt{64})-1}{\sqrt{64} \log_2 64} \operatorname{erfc}\left(\sqrt{\frac{3 \log_2 64}{4(64-1)} \times 28.09381}\right)
 \end{aligned}$$

$$= \frac{14}{48} \operatorname{erfc} \left(\sqrt{\frac{18}{252} \times 28.09381} \right)$$

$$= 0.292 \operatorname{erfc} (1.41658)$$

$$\operatorname{Erfc}(x) = \frac{1}{\sqrt{\pi x}} e^{-x^2}$$

$$= \frac{1}{\sqrt{3.14 \times 1.41658}} e^{-(1.41658)^2}$$

$$= \frac{1}{2.10904} e^{-2.00669}$$

$$= 0.06374$$

$$\operatorname{Pb} 64\text{QAM } \frac{3}{4} = 0.292 \operatorname{erfc} (1.41658)$$

$$= 0.292 (0.06374)$$

$$= 0.01861$$

Setelah melakukan perhitungan *bit error rate* dari masing-masing modulasi maka hasilnya dapat dilihat pada tabel 4.3.

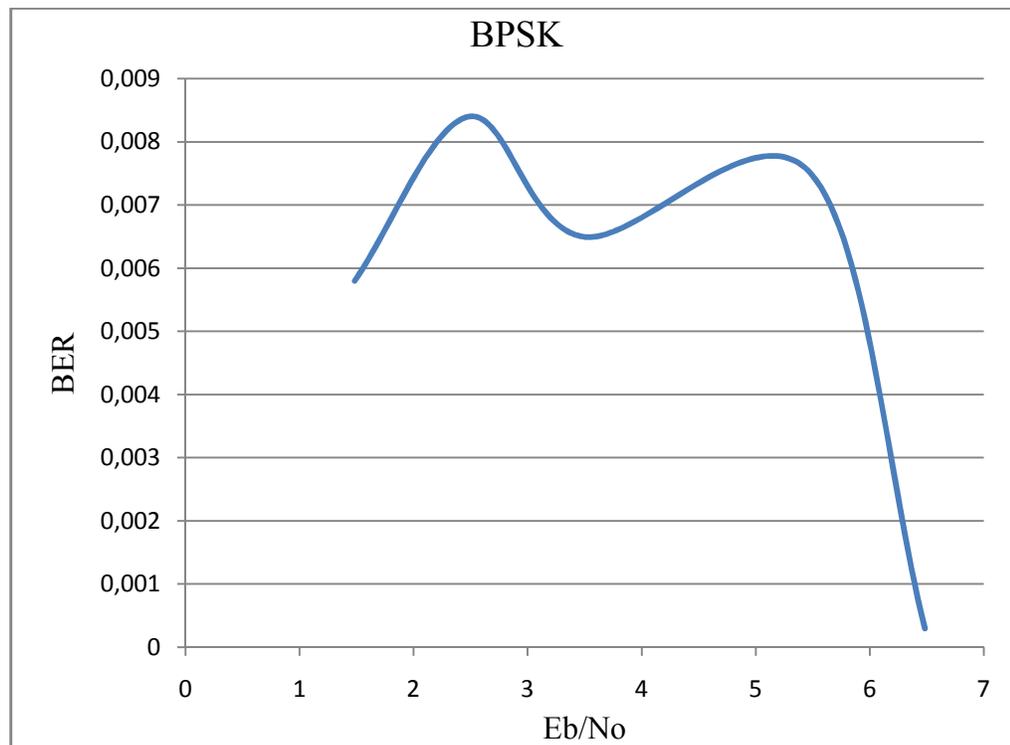
Tabel 4.3 Hasil perhitungan *bit error rate*

Modulasi	Coding Rate (Cr)	SNR (dB)	Eb/No (dB)	BER
BPSK	$\frac{1}{2}$	6	2.48360	8.43122×10^{-3}
QPSK	$\frac{1}{2}$	9	8.49390	3.38358×10^{-5}
QPSK	$\frac{3}{4}$	9	10.2581	3.08984×10^{-6}
16-QAM	$\frac{1}{2}$	16	18.50664	3.766875×10^{-3}
16-QAM	$\frac{3}{4}$	16	20.26836	2.58891×10^{-3}
64-QAM	$\frac{2}{3}$	22	27.51816	0.01949
64-QAM	$\frac{3}{4}$	22	28.09381	0.01861

Dan juga dilakukan perhitungan untuk mendapatkan nilai Eb/No dari tiap modulasi. Hasil ini akan dibandingkan dengan hasil nilai BER yang didapat dari perhitungan Bit Error Rate. Hasil untuk perhitungan Eb/No untuk modulasi BPSK dapat dilihat pada tabel dan grafik berikut.

Tabel 4.4 Hasil perhitungan Eb/No dan BER untuk modulasi BPSK

Eb/No (dB)	BER
1.4835	0.0058
2.4836	0.0084
3.4836	0.0065
5.4836	0.0075
6.4836	0.0003



Gambar 4.1 Grafik perbandingan nilai Eb/No dan BER modulasi BPSK

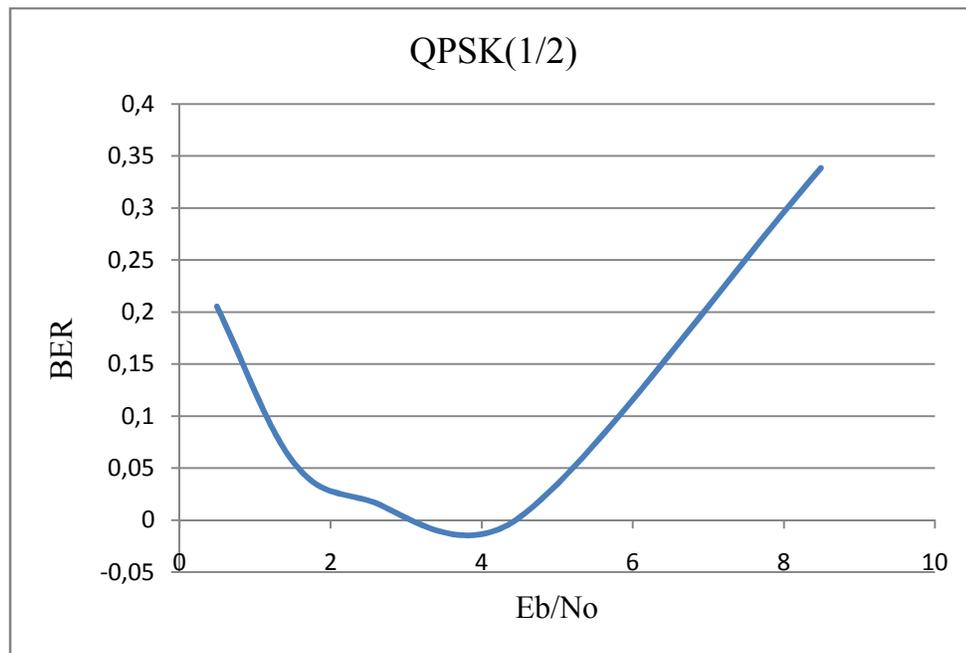
Dari tabel dan grafik tersebut dapat diketahui bahwa pada modulasi BPSK semakin besar energi Bit yang digunakan maka semakin kecil nilai BER yang didapat. Ini dapat dilihat pada saat nilai BER sekitar 10^{-3} maka nilai $E_b/N_0 > 6$ dB. Ini terjadi karena pada saat BER sudah mencapai yang di inginkan maka kemudian

akan memilih menggunakan modulasi QPSK yang lebih baik untuk penggunaan energy Bit yang lebih besar.

Sedangkan untuk hasil perhitungan menggunakan modulasi QPSK dapat dilihat pada tabel dan grafik sebagai berikut.

Tabel 4.5 Hasil perhitungan Eb/No dan BER modulasi QPSK(1/2)

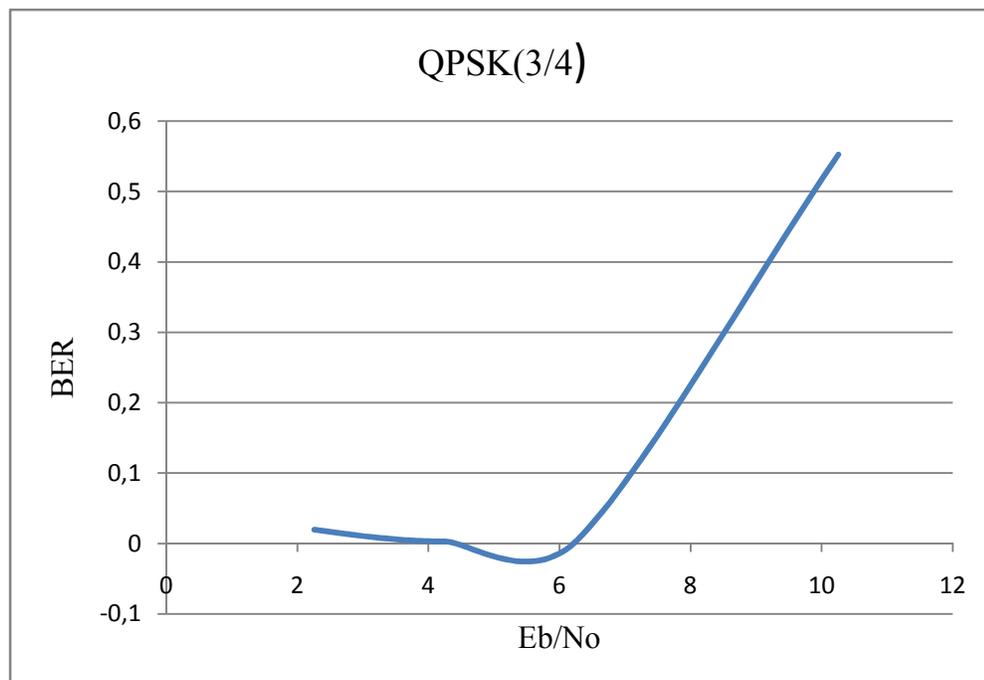
Eb/No	BER
0.494	0.2053
1.494	0.057
2.494	0.019
4.494	0.0021
8.494	0.3384



Gambar 4.2 Grafik perbandingan nilai Eb/No dan BER modulasi QPSK(1/2)

Tabel 4.6 Hasil perhitungan Eb/No dan BER modulasi QPSK(3/4)

Eb/No	BER
2.258	0.0195
3.258	0.0080
4.258	0.0028
6.258	0.0036
10.258	0.5525



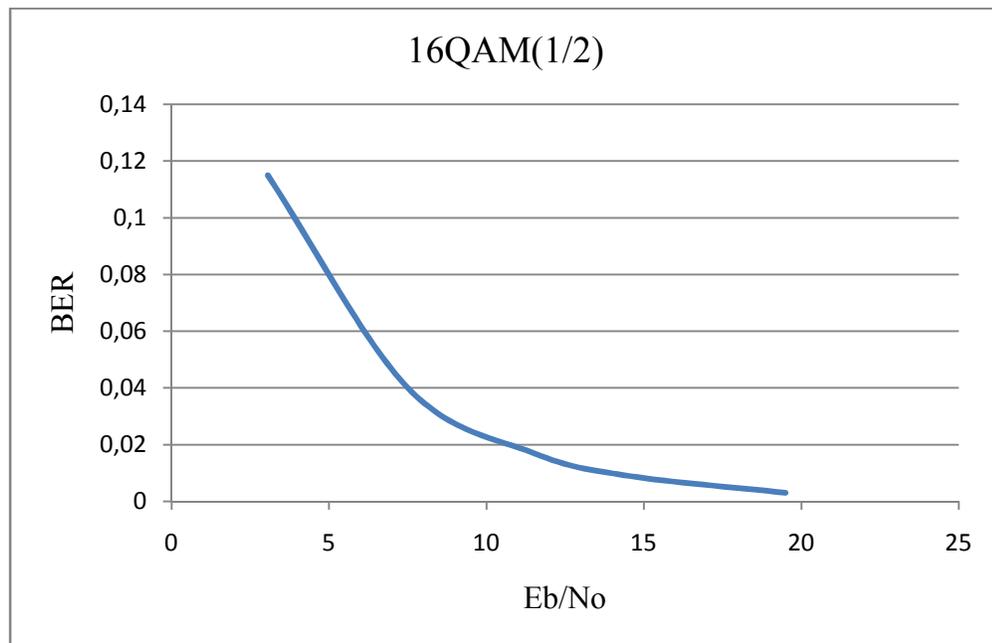
Gambar 4.3 Grafik perbandingan nilai Eb/No dan BER modulasi QPSK(3/4)

Dari tabel dan grafik tersebut dapat diketahui pada modulasi QPSK nilai Eb/No semakin besar maka nilai BER yang didapat juga semakin besar. Ini terjadi karena pada saat sudah mencapai nilai BER yang di inginkan maka untuk pengiriman data selanjutnya akan menggunakan modulasi yang lainnya yaitu modulasi QAM yang dapat membawa data lebih besar dari PSK.

Kemudian dicari juga nilai perhitungan E_b/N_0 terhadap BER pada modulasi QAM. Untuk modulasi 16QAM dengan *coding rate* $\frac{1}{2}$ dan $\frac{3}{4}$ dapat dilihat pada tabel dan gambar berikut.

Tabel 4.7 Hasil perhitungan E_b/N_0 dan BER modulasi 16QAM(1/2)

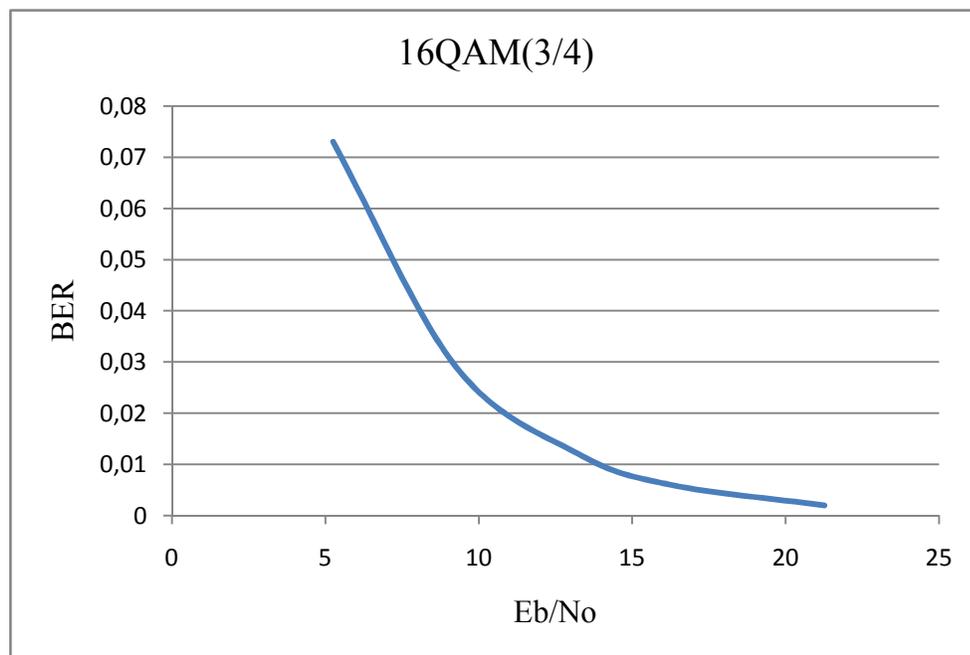
E_b/N_0 (dB)	BER
3.057	0.115
7.507	0.040
11.507	0.017
14.507	0.009
19.507	0.003



Gambar 4.4 Grafik perbandingan nilai E_b/N_0 dan BER modulasi 16QAM(1/2)

Tabel 4.8 Hasil perhitungan Eb/No dan BER modulasi 16QAM(3/4)

Eb/No(dB)	BER
5.258	0.073
9.268	0.029
13.268	0.012
16.268	0.006
21.268	0.002



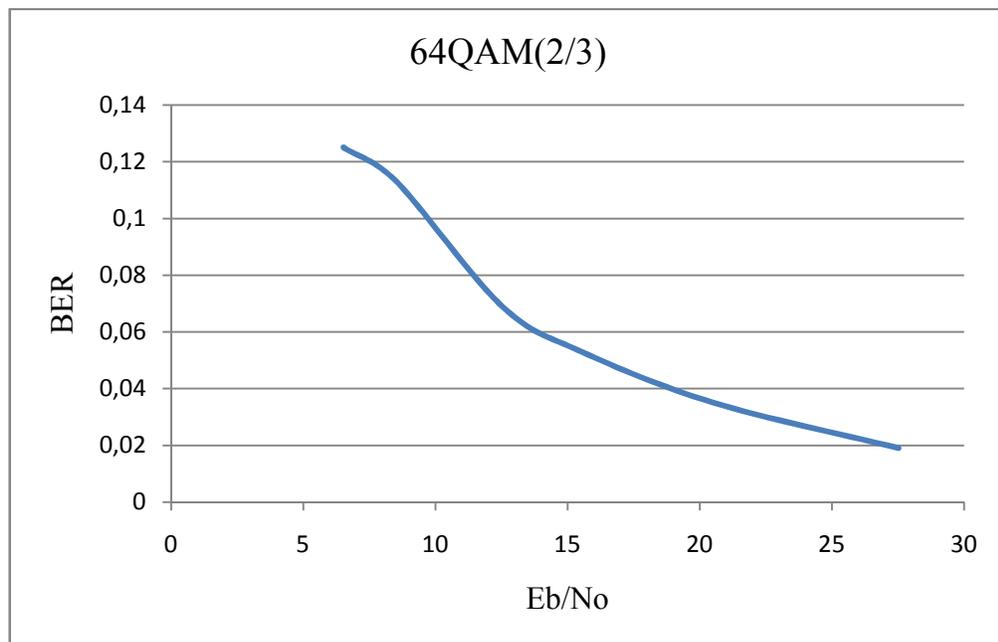
Gambar 4.5 Grafik perbandingan nilai Eb/No dan BER modulasi 16QAM(3/4)

Dari tabel dan grafik dapat dilihat bahwa modulasi 16QAM dapat mencapai BER yang kecil atau rendah saat Eb/No besar. Ini dapat dikatakan bahwa modulasi 16QAM dapat membawa data yang besar dengan menggunakan energy Bit yang besar juga.

Kemudian untuk mencari nilai perhitungan E_b/N_0 terhadap BER pada modulasi 64QAM dengan menggunakan *coding rate* $2/3$ dan $3/4$ dapat dilihat pada tabel dan gambar berikut.

Tabel 4.9 Hasil perhitungan E_b/N_0 dan BER modulasi 64QAM($2/3$)

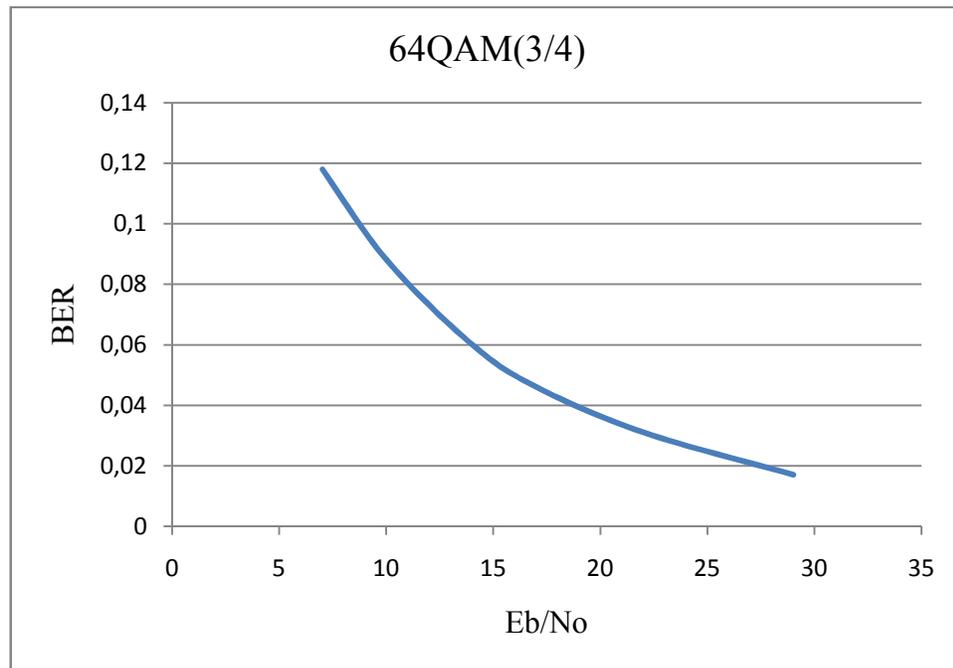
E_b/N_0 (dB)	BER
6.52	0.125
8.52	0.113
12.52	0.069
15.52	0.053
20.52	0.035
27.52	0.019



Gambar 4.6 Grafik perbandingan nilai E_b/N_0 dan BER modulasi 64QAM($2/3$)

Tabel 4.9 Hasil perhitungan Eb/No dan BER modulasi 64QAM(3/4)

Eb/No(dB)	BER
7.03	0.118
10.03	0.088
14.03	0.060
17.03	0.046
22.03	0.031
29.03	0.017



Gambar 4.7 Grafik perbandingan nilai Eb/No dan BER modulasi 64QAM(3/4)

Dari tabel dan grafik dapat dilihat bahwa modulasi 64QAM dapat mencapai BER yang kecil atau rendah saat Eb/No besar. Ini dapat dikatakan bahwa modulasi 64QAM dapat membawa data yang besar dengan menggunakan energy Bit yang besar juga.

Kinerja dari sistem WiMAX dapat dilihat dengan menggunakan perbandingan E_b/N_0 terhadap BER. Ini terlihat bahwa setiap modulasi dengan *code rate* kecil memiliki nilai E_b/N_0 yang lebih kecil daripada *code rate* yang besar. Ini dapat diketahui pada modulasi BPSK memiliki kinerja yang paling baik pada kondisi E_b/N_0 yang rendah. Pada penggunaan skema modulasi yang lebih tinggi maka E_b/N_0 yang dibutuhkan akan semakin tinggi, hal ini dikarenakan pada *bandwidth* yang sama, jumlah simbol yang dikirimkan akan lebih banyak daripada skema modulasi yang rendah. Modulasi 64QAM lebih cocok untuk layanan dengan laju tinggi namun juga harus melihat kondisi lingkungan yang baik agar pengaruh *noise* dapat diminimalkan.

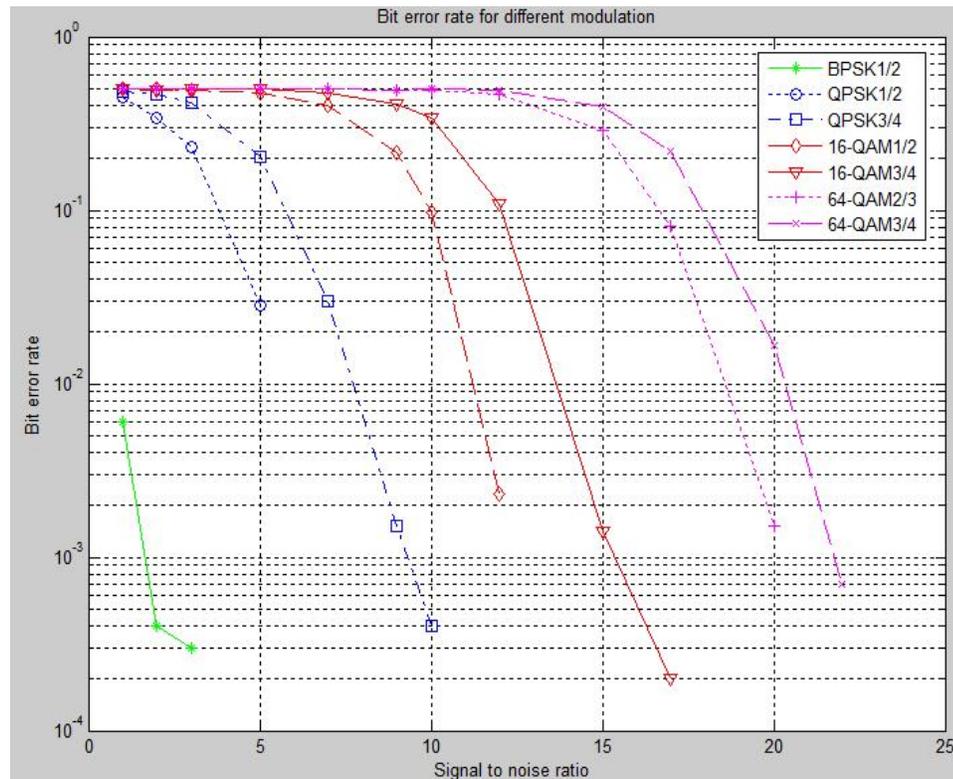
4.3 Hasil Simulasi

Dari program simulasi sistem WiMAX dilakukan proses pengambilan data dengan mengubah parameter utama yaitu tipe modulasi maka akan diperoleh nilai BER yang beragam. Nilai BER adalah jumlah kesalahan laju bit yang terjadi pada proses sinyal yang dipancarkan. Pada sinyal input menggunakan sinyal acak yang memiliki 6 nilai sehingga tiap modulasi akan memiliki nilai masukan yang berbeda-beda. Sedangkan nilai SNR akan otomatis terbentuk setelah nilai BER yang dihasilkan. Untuk simulasi ini nilai SNR yang ditentukan adalah [1 2 3 5 7 9 10 12 15 17 20 22 25 27 30]. Untuk mengetahui kinerja sistem WiMAX maka parameter yang perlu diubah yaitu jenis modulasi dengan nilai coding yang berbeda-beda. Dari proses simulasi dihasilkan nilai BER seperti pada tabel 5.1 .

Tabel 5.1 Hasil BER modulasi yang berbeda dari proses simulasi

Modulasi		BPSK 1/2	QPSK 1/2	QPSK 3/4	16QAM 1/2	16QAM 3/4	64QAM 2/3	64QAM 3/4
SNR	1	0,006	0,446	0,483	0,498	0,501	0,502	0,5002
	2	0,0004	0,3432	0,4653	0,4992	0,4955	0,5013	0,4996
	3	0,0003	0,2303	0,4144	0,4942	0,5003	0,5026	0,4993
	5	0	0,0281	0,2035	0,4758	0,4990	0,5007	0,5000
	7	0	0	0,0299	0,4016	0,4768	0,5009	0,5007
	9	0	0	0,0015	0,2143	0,4092	0,4939	0,4963
	10	0	0	0,0004	0,0980	0,3373	0,4964	0,4969
	12	0	0	0	0,0023	0,1077	0,4698	0,4924
	15	0	0	0	0	0,0014	0,2887	0,3958
	17	0	0	0	0	0,0002	0,0812	0,2186
	20	0	0	0	0	0	0,0015	0,0167
	22	0	0	0	0	0	0	0,0007
	25	0	0	0	0	0	0	0
	27	0	0	0	0	0	0	0
	30	0	0	0	0	0	0	0

Dari tabel 5.1 dapat diketahui bahwa setiap modulasi memiliki nilai error yang berbeda-beda. Pada modulasi BPSK dengan *code rate* $\frac{1}{2}$ memiliki nilai error yang paling rendah pada SNR 3 dB, dengan nilai mencapai 0,0003. Jika dibandingkan dengan modulasi QPSK dengan *code rate* yang sama yaitu $\frac{1}{2}$, BER yang dihasilkan QPSK jauh lebih besar. QPSK baru mencapai nilai BER terendah yaitu pada titik antara 10^{-1} hingga 10^{-2} ketika berada pada SNR 5 dB. Sedangkan untuk QPSK dengan *code rate* $\frac{3}{4}$ BER mencapai hampir 10^{-4} ketika SNR sekitar 10 dB. Pada 16-QAM yang memiliki *code rate* $\frac{1}{2}$ dan $\frac{3}{4}$ nilai BER yang paling rendah berada diantara 10^{-3} dan 10^{-4} dengan nilai yaitu 0,0002 pada SNR 12 dB. Dan pada modulasi 64-QAM dengan *code rate* $\frac{3}{4}$, nilai BER terkecil pada SNR 22 dB mencapai titik 10^{-3} dan 10^{-4} dengan nilai sebesar 0,0007.



Gambar 4.8 Nilai BER dari tiap modulasi

Dari tabel 5.1 dan gambar 4.8 menunjukkan hubungan BER yang terjadi pada setiap nilai SNR. Dari gambar 4.8 dapat diketahui bahwa grafik yang terbentuk pada modulasi BPSK dengan *code rate* $\frac{1}{2}$ memiliki kinerja paling buruk dibanding grafik yang terbentuk oleh modulasi lain. Hal ini terlihat pada saat SNR = 3 dB, nilai BER yang terjadi adalah 0,0003. Namun setelah itu tidak ada lagi proses pengiriman data, sehingga BER yang dihasilkan pada SNR selanjutnya adalah 0. Pada modulasi QPSK *code rate* $\frac{1}{2}$ memiliki kinerja yang lebih baik daripada modulasi BPSK *code rate* $\frac{1}{2}$ dan QPSK *code rate* $\frac{3}{4}$. Hal ini dapat dilihat bahwa pada SNR = 5 dB, nilai BER yang terjadi sebesar 0,0281 dan pada saat SNR = 10 dB, nilai BER adalah 0. Sedangkan pada QPSK *code rate* $\frac{3}{4}$ nilai BER yang dihasilkan pada SNR = 5 dB adalah 0,2035 dan pada SNR = 10 dB adalah 0,0004.

Lalu pada modulasi 16-QAM terdapat dua nilai *code rate* yang berbeda yaitu $\frac{1}{2}$ dan $\frac{3}{4}$. Dapat dilihat pada grafik yang terbentuk saat *code rate* $\frac{1}{2}$ dengan SNR = 12

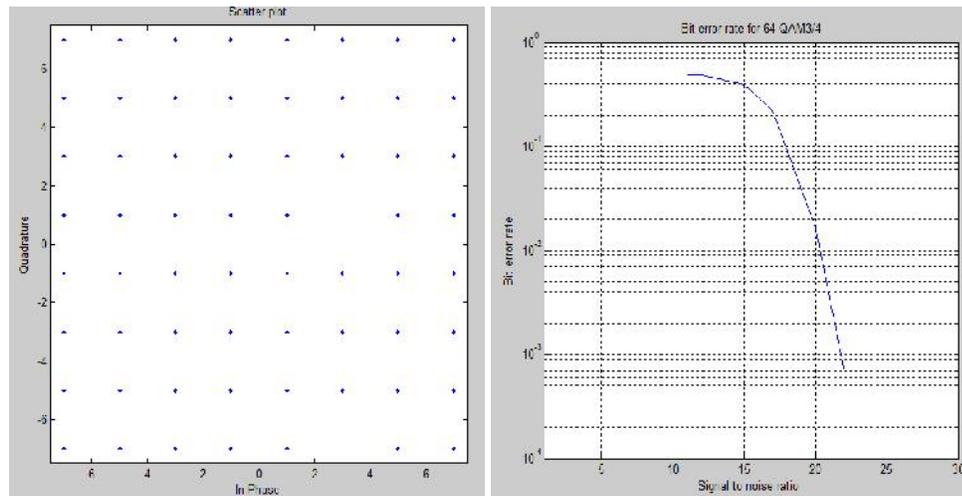
dB, nilai BER yang dihasilkan adalah 0,0023 dan ketika SNR = 17 dB, nilai BER yang dihasilkan sebesar 0. Namun pada kondisi *code rate* $\frac{3}{4}$, nilai BER yang dihasilkan sebesar 0,1077 ketika SNR = 12 dB dan 0,0002 pada SNR = 17 dB.

Dan untuk modulasi 64-QAM yang memiliki *code rate* $\frac{2}{3}$ dan $\frac{3}{4}$. Dapat dilihat bahwa grafik yang terbentuk saat *code rate* $\frac{2}{3}$ dengan SNR = 20 dB, nilai BER yang dihasilkan sebesar 0,0015 dan ketika SNR = 22 dB tidak ada nilai BER yang dihasilkan sebab modulasi dengan *code rate* $\frac{2}{3}$ tidak mampu membawa data melebihi SNR 20 dB, sehingga data pada SNR 22 dB akan ditransmisikan menggunakan modulasi 64-QAM dengan *code rate* $\frac{3}{4}$. Ini terlihat pada saat SNR = 20 dB nilai BER yang dihasilkan adalah 0,0167 dan pada SNR = 22 dB mencapai nilai BER sebesar 0,0007.

Jika dilihat dari keempat modulasi tersebut yang menghasilkan nilai error rate berbeda-beda dapat dilakukan analisa bahwa setiap jenis modulasi ini memiliki pengaruh terhadap kinerja sistem WiMAX. Seperti pada sistem yang menggunakan modulasi 64-QAM, SNR yang dihasilkan jauh lebih besar dibandingkan modulasi lainnya. Sedangkan untuk modulasi 16-QAM, nilai SNR lebih besar daripada modulasi BPSK dan QPSK. Hal ini terjadi sebab pada saat modulasi BPSK memodulasikan 1 bit/symbol dan QPSK hanya memodulasikan 2 bit/symbol sedangkan pada modulasi 16-QAM dan 64-QAM memodulasikan 4 dan 6 bit/symbol sehingga lebih rentan terhadap noise selama proses pengiriman data. Maka dari itu pada modulasi BPSK nilai BER terkecil lebih cepat diperoleh pada SNR dengan nilai 3 dB. Begitu juga pada modulasi QPSK, BER terendah diperoleh ketika SNR 10 dB, sedangkan untuk modulasi 16-QAM, BER terendah diperoleh ketika SNR 17 dB dan 64-QAM pada SNR 22 dB untuk mencapai BER terendah.

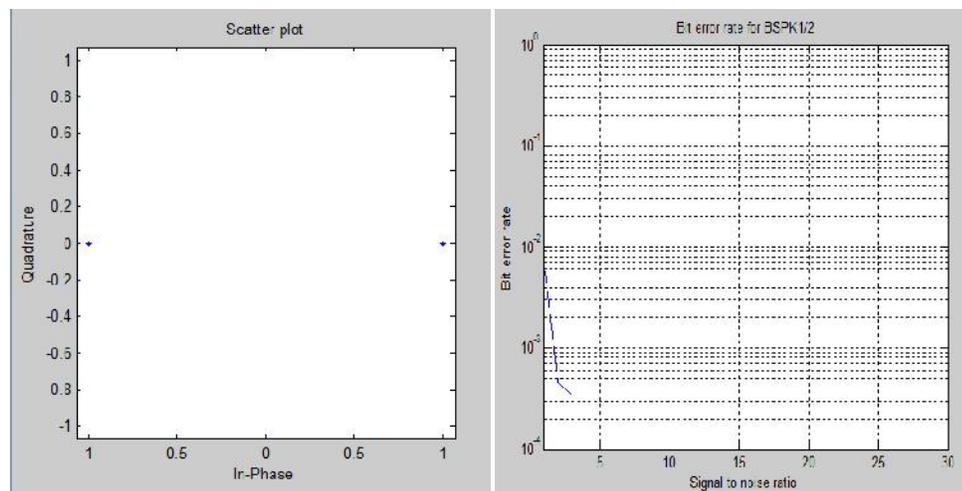
Namun pada proses pengiriman data, modulasi yang mampu membawa data paling besar terdapat pada modulasi 16-QAM dan 64-QAM, selain karena memiliki nilai orde paling besar hal ini juga disebabkan oleh banyaknya titik konstelasi yang mewakili tiap-tiap simbol. Pada modulasi 64-QAM memiliki titik konstelasi sekitar

64 titik yang masing-masing titik berisi 6 bit. Sehingga dapat terlihat bahwa 64-QAM membawa data paling besar.



Gambar 4.9 Titik konstelasi dan nilai BER modulasi 64-QAM

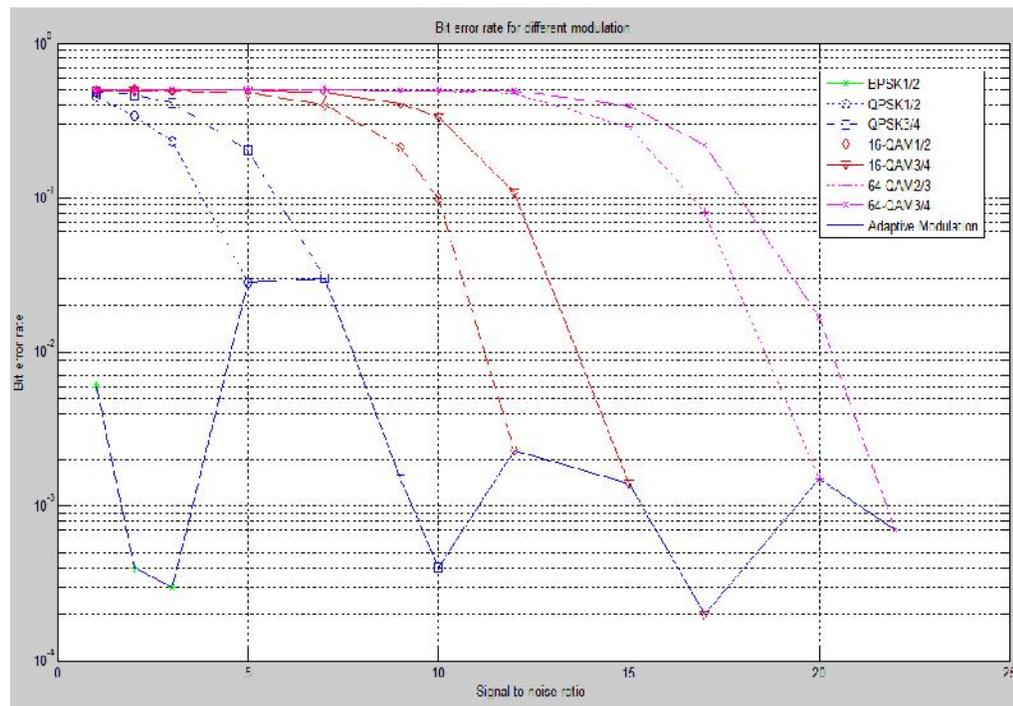
Sedangkan pada modulasi BPSK hanya memiliki dua titik konstelasi dengan masing-masing titik terdiri dari 1 bit. Sehingga tidak mampu membawa data dalam jumlah besar.



Gambar 5.0 Titik konstelasi dan nilai BER modulasi QPSK

Sehingga hal ini juga mempengaruhi nilai BER yang didapat sebelumnya. Karena semakin besar data yang dibawa maka menyebabkan titik konstelasi semakin berdekatan jaraknya dan nilai SNR yang dihasilkan pun semakin besar dan pastinya membutuhkan jenis modulasi yang mampu memodulasikan data dalam jumlah besar untuk menghasilkan BER yang rendah. Begitu juga sebaliknya, jika data yang dibawa sedikit maka jarak titik konstelasi pun berjauhan sehingga nilai SNR yang dihasilkan semakin kecil dan membutuhkan modulasi yang mampu memodulasikan data dalam jumlah kecil.

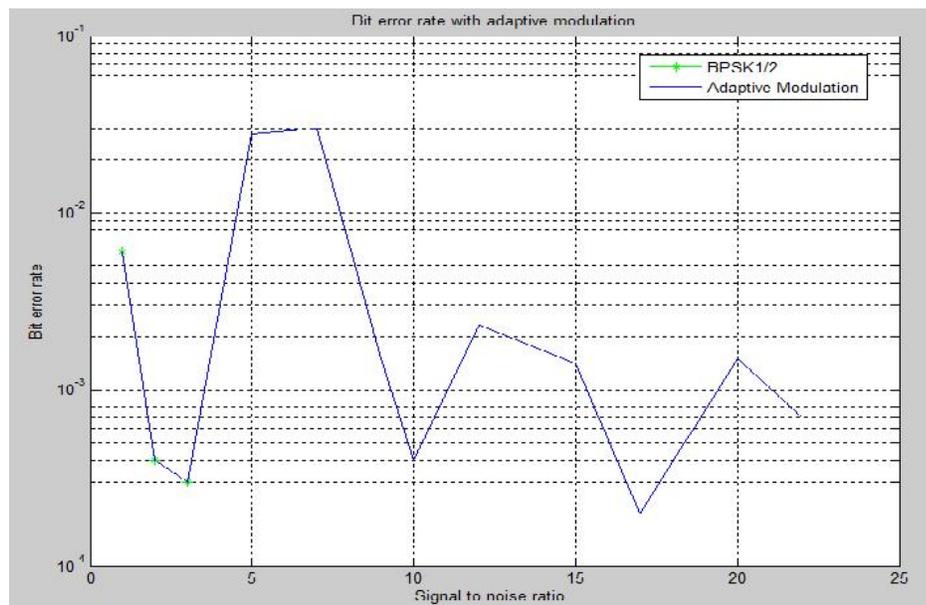
Selain menggunakan beberapa modulasi tersebut juga akan dilakukan dengan menggunakan modulasi adaptif. Dengan menggunakan modulasi adaptif didapatkan hasil yang lebih baik sesuai dengan kondisi kanal yang terjadi. Ini dapat dilihat pada hasil simulasi pada gambar 5.1.



Gambar 5.1 Nilai BER tiap modulasi dan adaptive modulation

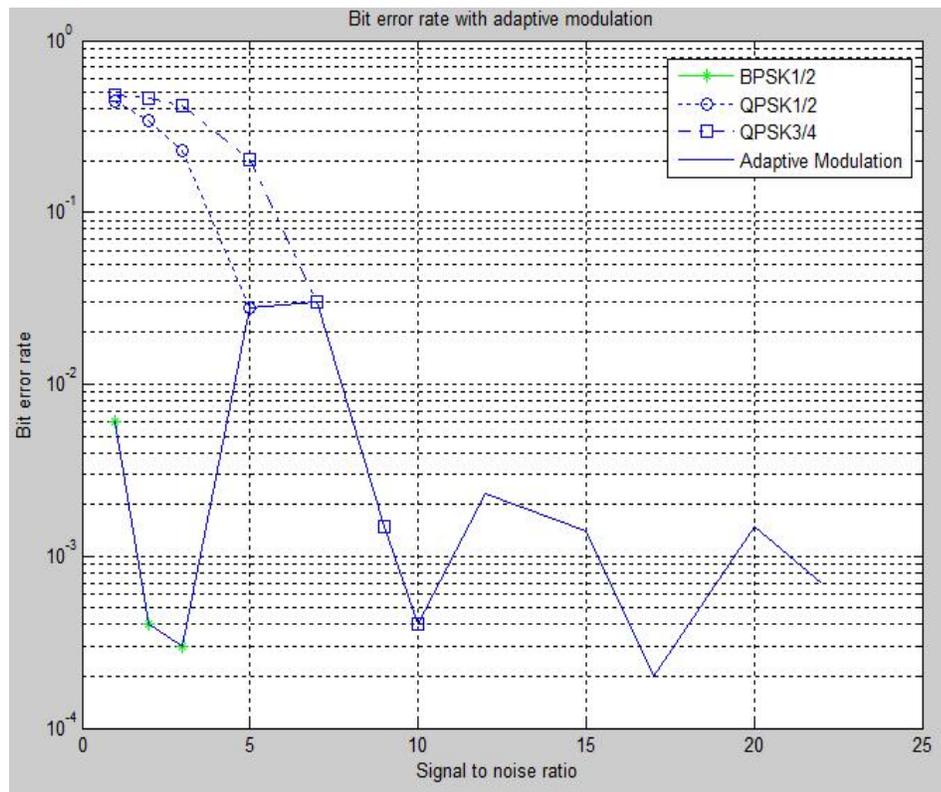
Dari gambar tersebut dapat diketahui bahwa modulasi adaptif memilih modulasi yang baik untuk penggunaan setiap kondisi. Pada saat nilai SNR mencapai 3 dB modulasi adaptif menggunakan modulasi BPSK dan saat nilai SNR > 3 dB modulasi adaptif akan berpindah menggunakan modulasi QPSK yang dapat membawa data lebih besar dari BPSK. Karena pada SNR > 3 dB tidak ada nilai BER atau tidak ada pengiriman data pada modulasi BPSK. Ini dapat dilihat pada saat SNR > 3 dB modulasi QPSK masih mempunyai nilai BER. Pada saat SNR > 10 dB modulasi adaptif berpindah menggunakan modulasi 16QAM. Pada modulasi QAM data yang dibawa lebih besar daripada modulasi BPSK dan QPSK. Ini dapat dilihat bahwa pada SNR > 10 dB modulasi 16QAM masih mempunyai nilai BER. Pada saat SNR > 17 dB modulasi adaptif menggunakan modulasi 64QAM yang dapat membawa data lebih besar daripada BPSK, QPSK dan 16 QAM. Ini dapat dilihat pada saat SNR > 17 dB modulasi 64QAM masih memiliki BER.

Kemudian dari tiap modulasi juga terdapat perbandingan dengan modulasi adaptif yang digunakan. Ini dapat dilihat pada gambar berikut.



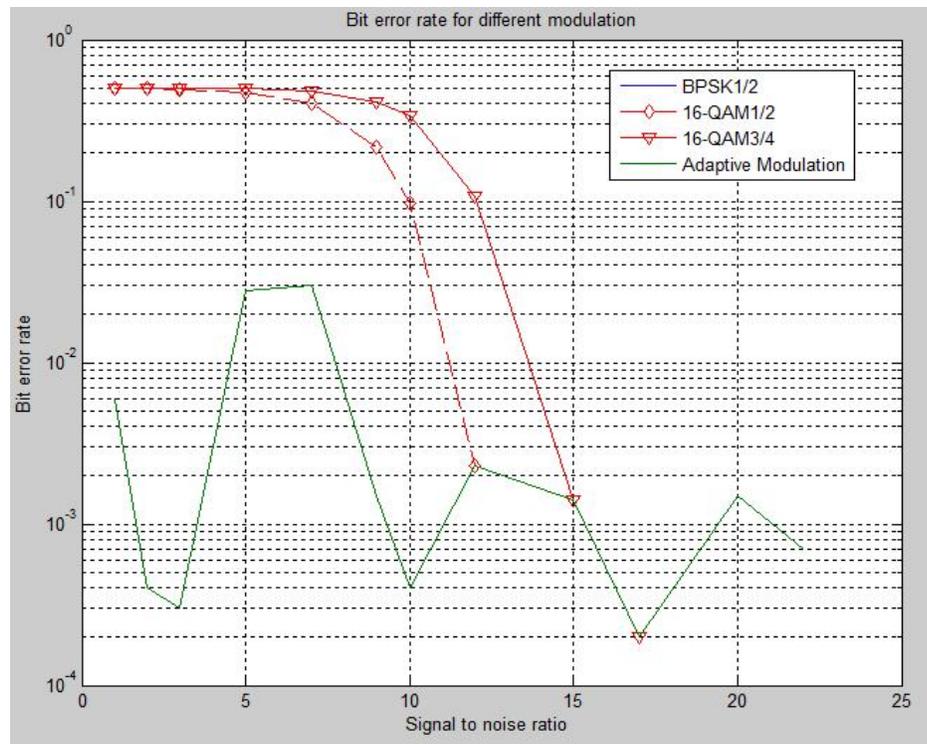
Gambar 5.2 Perbandingan modulasi adaptif dengan modulasi BPSK

Pada gambar tersebut dapat dilihat bahwa disaat modulasi BPSK mencapai nilai SNR sebesar 3 dB maka modulasi adaptif akan berpindah memilih modulasi QPSK yang lebih baik daripada modulasi BPSK. Ini karena disaat $SNR > 3$ dB modulasi BPSK sudah tidak dapat mengirim data. Sehingga modulasi adaptif akan memilih modulasi QPSK yang dapat mengirimkan data disaat $SNR > 3$ dB.



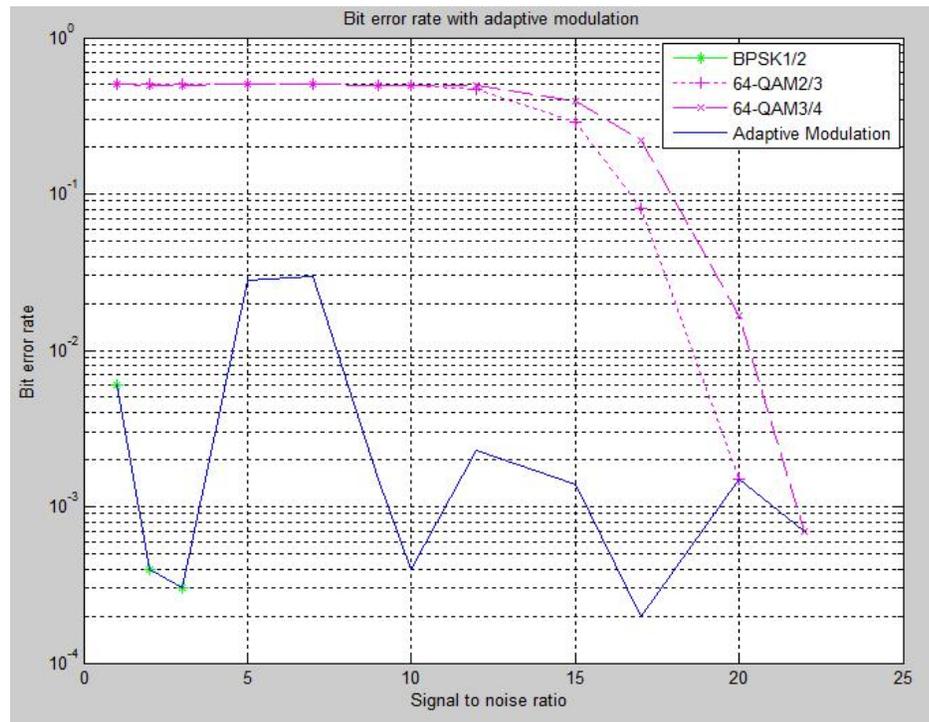
Gambar 5.3 Perbandingan modulasi adaptif dan modulasi QPSK

Pada gambar tersebut dapat dilihat bahwa disaat modulasi BPSK mencapai nilai SNR sebesar 3 dB maka modulasi adaptif akan berpindah memilih modulasi QPSK yang lebih baik daripada modulasi BPSK. Ini karena disaat $SNR > 3$ dB modulasi BPSK sudah tidak dapat mengirim data. Sehingga modulasi adaptif akan memilih modulasi QPSK yang dapat mengirimkan data disaat $SNR > 3$ dB. Dan juga setelah mencapai $SNR > 10$ dB maka modulasi adaptif akan memilih modulasi 16QAM yang dapat membawa data lebih baik dari modulasi BPSK dan QPSK.



Gambar 5.4 Perbandingan modulasi adaptif dengan modulasi 16QAM

Pada gambar tersebut dapat dilihat bahwa modulasi adaptif dapat memilih penggunaan skema modulasi yang terbaik. Saat SNR rendah masih menggunakan modulasi BPSK dan QPSK. Ini dikarenakan modulasi tersebut masih dapat membawa data dengan kondisi SNR rendah. Setelah $SNR > 10$ dB maka menggunakan modulasi 16QAM yang lebih bisa untuk mengirimkan data dengan kondisi SNR yang tinggi. Kemudian disaat $SNR > 17$ dB modulasi adaptif memilih menggunakan modulasi 64QAM. Ini dikarenakan modulasi 16QAM sudah tidak dapat membawa data dengan $SNR > 17$ dB. Sehingga modulasi adaptif akan berpindah memilih modulasi yang dapat membawa data lebih baik dari modulasi 16QAM.



Gambar 5.5 Perbandingan modulasi adaptif dengan modulasi 64QAM

Pada gambar tersebut modulasi adaptif dapat memilih menggunakan skema modulasi yang paling baik sesuai dengan kondisi kanal yang terjadi. Ini dilihat saat $SNR > 17$ dB modulasi adaptif memilih menggunakan modulasi 64QAM yang sebelumnya menggunakan 16QAM. Penggunaan modulasi adaptif dapat untuk menekan nilai BER dan dapat digunakan untuk memilih skema modulasi yang paling baik untuk kondisi kanal yang terjadi.

Dari proses simulasi ini dapat dikatakan bahwa untuk mengetahui kinerja dari suatu sistem WiMAX tidak hanya dari perbandingan nilai SNR dan BER tetapi juga perlu melihat dari sisi data yang dibawa oleh masing-masing modulasi. Sehingga modulasi ini sangat berpengaruh terhadap kinerja suatu sistem WiMAX tersebut. Memang secara teori dengan semakin tinggi nilai SNR yang dicapai maka secara otomatis nilai BER yang didapat akan semakin rendah, namun hal itu tidak dapat lepas dari data yang dibawa. Jika data yang dibawa besar, maka dapat menyebabkan peningkatan nilai *error rate*. Sehingga bisa dikatakan juga bahwa modulasi yang

memiliki orde rendah tidak mampu membawa data dalam jumlah besar karena akan menyebabkan peningkatan nilai error yang lebih besar. Begitu juga untuk modulasi dengan orde tinggi tidak mampu membawa data dalam jumlah kecil karena akan menyebabkan penurunan nilai SNR dan BER akan berada dalam jumlah besar. Modulasi adaptif dapat digunakan untuk menekan BER agar dapat menurunkan nilai error saat pengiriman data. Modulasi adaptif juga dapat memaksimalkan kinerja dari suatu sistem WiMAX dengan cara merubah skema modulasi yang digunakan dengan kondisi kanal yang terjadi dan data dapat terkirim dengan meminimalisir error yang terjadi saat proses pengiriman data.

4.4 Analisa Data (Perbandingan Perhitungan dengan Simulasi)

Dari hasil perhitungan ini jika dibandingkan dengan hasil simulasi dapat dianalisa bahwa terdapat hasil yang bervariasi dari hasil simulasi dan hasil perhitungan dengan nilai SNR yang digunakan pada perhitungan merupakan standart yang diberikan oleh IEEE 802.16. Dengan begitu perubahan nilai SNR dan jenis modulasi sangat berpengaruh terhadap kinerja sistem, seperti pada tabel 5.2.

Tabel 5.2 Perbandingan Hasil Perhitungan dan Simulasi

Modulasi	SNR	Hasil Perhitungan	Hasil Simulasi
BPSK $\frac{1}{2}$	6	8.43122×10^{-3}	0
QPSK $\frac{1}{2}$	9	3.38358×10^{-5}	0
QPSK $\frac{3}{4}$	9	3.08984×10^{-6}	0.0015
16-QAM $\frac{1}{2}$	16	3.766875×10^{-3}	0
16-QAM $\frac{3}{4}$	16	2.58891×10^{-3}	0.0014
64-QAM $\frac{2}{3}$	22	0.01949	0
64-QAM $\frac{3}{4}$	22	0.01861	0.0007

Pada modulasi BPSK, sistem terlihat lebih baik pada simulasi yang memiliki nilai BER 0 dengan SNR 6 dB. Sedangkan pada perhitungan dengan SNR 6 dB, BER yang dihasilkan adalah 8.43122×10^{-3} . Begitu juga untuk modulasi QPSK dengan rumus yang sama, hasil simulasi terlihat lebih baik daripada hasil

perhitungan. Terlihat pada simulasi QPSK $\frac{1}{2}$ menghasilkan BER 0 ketikan SNR 9 dB. Sengkan menurut hasil perhitungan mencapai 3.38358×10^{-5} . Ini dapat dikatakan bahwa modulasi QPSK lebih baik daripada modulasi BPSK yang menghasilkan BER terendah saat SNR yang tinggi.

Untuk modulasi QAM yang memiliki perumusan dan nilai SNR yang lebih besar dibandingkan modulasi PSK juga terdapat berbagai hasil. Untuk modulasi 16-QAM ketika dilakukan simulasi BER terendah memiliki nilai 0.0007, sedangkan secara perhitungan dengan nilai SNR 16 dB, BR terendah mencapai 3.766875×10^{-3} dan 2.58891×10^{-3} .

Dan untuk modulasi 64-QAM secara simulasi nilai BER terendah berada ketika SNR 20 hingga 22 dB dengan nilai sekitar 0,0007. Sedangkan untuk nilai perhitungan pada modulasi 64-QAM nilai BER yang dihasilkan adalah 0.01949 dan 0.01861. Sehingga diketahui bahwa nilai BER pada modulasi 64-QAM masih begitu besar pada nilai SNR maksimal daripada modulasi 16-QAM. Sehingga terdapat kemungkinan akan memiliki nilai error terendah jika SNR dinaikkan.

Simulasi sistem WiMAX ini mampu menghasilkan hasil lebih baik daripada hanya menggunakan perhitungan. Sebab pada simulasi nilai dari tiap-tiap parameter tersebut diperhitungkan. Sehingga nilai *error* pun lebih akurat. Sedangkan pada perhitungan nilai dari parameter seperti *cyclic prefix* tidak diperhitungkan. Yang mendukung hanya SNR, coding, dan *channel bandwidth*.

Dari analisa ini dapat diketahui bahwa teknik modulasi adaptif dan coding ditujukan guna menekan nilai BER untuk mendukung kinerja suatu sistem WiMAX yang baik. Ketika kondisi kanal buruk dengan kata lain kanal tersebut memiliki nilai SNR yang rendah, maka modulasi adaptif akan memilih jenis modulasi sesuai dengan orde yang rendah tetapi memiliki *coderate* yang tinggi. Seperti pada modulasi QPSK dengan *coderate* $\frac{1}{2}$, modulasi jenis ini tahan terhadap kondisi kanal dengan nilai SNR yang rendah terbukti modulasi ini menghasilkan BER hanya sampai SNR 9 dB. Namun modulasi ini memiliki kelemahan yaitu tidak dapat

membawa data dalam jumlah besar sebab hanya mampu memodulasi data 2 bit/symbol sedangkan modulasi QPSK hanya memiliki 4 simbol.

Sedangkan untuk kondisi kanal tinggi atau disebut juga kanal tersebut memiliki nilai SNR tinggi maka teknik modulasi adaptif akan memilih jenis modulasi dengan orde tinggi dengan *code rate* rendah, seperti pada modulasi 64-QAM dengan *code rate* $\frac{3}{4}$ mampu menghasilkan BER hingga SNR 22 dB. Selain itu modulasi 64-QAM ini memodulasikan data sebanyak 6 bit/symbol yang mana pada modulasi ini memiliki simbol sebanyak 64 simbol. Sehingga dapat dikatakan juga bahwa modulasi 64-QAM mampu membawa data dalam jumlah besar.

Dengan demikian untuk mengetahui kinerja dari suatu sistem WiMAX yang baik dengan mendapatkan nilai BER yang rendah maka haruslah melakukan pemilihan jenis modulasi yang tepat sesuai dengan kondisi kanal yang memiliki nilai SNR tinggi dan mampu mendukung kinerjanya secara optimal.

BAB 5. PENUTUP

5.1. Kesimpulan

1. Kinerja suatu sistem WiMAX sangat dipengaruhi oleh jenis modulasi yang digunakan. Sebab jenis modulasi ini yang akan mengatur jumlah data yang dibawa.
2. Modulasi adaptif dapat digunakan guna menekan nilai BER serendah mungkin dan dapat memilih modulasi yang tepat sesuai dengan kondisi kanal yang sedang terjadi pada sistem WiMAX.
3. Penggunaan skema modulasi dengan *code rate* kecil maka membutuhkan Eb/No yang kecil dan skema modulasi dengan *code rate* besar maka membutuhkan Eb/No yang besar juga.
4. Pada modulasi 64-QAM memiliki titik konstelasi sekitar 64 titik yang masing-masing titik berisi 6 bit. Sehingga dapat dikatakan bahwa 64-QAM membawa data paling besar.
5. Pada modulasi BPSK hanya memiliki dua titik konstelasi dengan masing-masing titik terdiri dari 1 bit. Sehingga tidak mampu membawa data dalam jumlah besar.
6. Dari keempat tipe modulasi dengan nilai *coderate* yang berbeda-beda, diketahui bahwa modulasi terbaik terdapat pada modulasi QPSK dan 64-QAM. Sebab modulasi tersebut mampu menghasilkan nilai *bit error rate* yang rendah ketika SNR tinggi.
7. Nilai BER terbaik untuk modulasi QAM terdapat pada modulasi 64-QAM dengan nilai simulasi sebesar 0.007 dan secara perhitungan sebesar 0.01861 dan masih memungkinkan turun jika nilai SNR dinaikkan.
8. Nilai BER terbaik untuk modulasi PSK terdapat pada modulasi QPSK dengan nilai simulasi sebesar 0 dan secara perhitungan 3.38358×10^{-5} .

5.2. Saran

Untuk simulasi pada tugas akhir ini menggunakan data masukan hanya berupa sinyal acak. Diharapkan untuk nantinya mampu menggunakan masukan bentuk lain seperti gambar atau video dan menambahkan kanal fading sehingga tidak terpaku pada satu jenis kanal.

DAFTAR PUSTAKA

- Andrews, G. Jeffrey, Arunabha Ghosh, and Rias Muhamed. 2007. *Fundamental of WiMAX–Understanding Broadband Wireless Networking*. Prentice Hall, Massachusetts.
- Birla, Varsha, Prof.Rupesh Dubey. 2012. *Capacity Enhancement of WiMAX System Using Adaptive Modulation and Code Rate*.
- Freeman, Roger L. 1998. *Telecommunications Transmission Handbook*. John Wiley & Sons.
- Harivikram, T.S, Dr.R.Harikumar, Dr.C.Ganesh Babu, P.Murugamanickam. 2013. *Adaptive Modulation and Coding Rate for OFDM System*.
- IEEE Std 802.16e-2005. *Part 16: Air Interface for Fixed Broadband Wireless Access Systems – Amendment for Physical and Medium Access Control Layers for Combined Fixed and Mobile Operation in Licensed Band*. IEEE, Dec.
- Korangga, Anjali, Koushik Barman. 2013. *Performance Enhancement of WiMAX using Adaptive Modulation Scheme*.
- Nuaymi, Loutfi. 2007. *WiMAX – Technology for Broadband Wireless Access*. John Wiley & Sons, England.
- Prasad, Ramjee. 2007. “OFDM For Wireless Communications Systems”, Artech House, Inc. London.
- Putra, Deni Ade, Ajub Ajulian Zahra, Imam Santoso. *Evaluasi Kinerja OFDMA Dengan Modulasi Adaptif Pada Kanal Downlink*.
- Reddy, B. Siva Kumar, Dr..Lakshmi. 2014. *Adaptive Modulation and Coding with Channel State Information in OFDM for WiMAX*.
- Salih, Sami H. O., Mamoun M. A. Suliman. 2011. *Implementation of Adaptive Modulation and Coding Technique using*.
- V.S. Abhayawardhana, I. J. Wassel, D. Crosby, M. P. Sellars, and M. G. Brown. *Comparison of Empirical Propagation Path Loss Models for Fixed Wireless Access Systems*. BT Mobility Research Unit, United Kingdom.
- Xiong, Fuqin. 2007. *Digital Modulation Techniques 2nd Edition*. Artech House, Massachusetts.

LAMPIRAN

A. Perhitungan *Bit Rate*

1. BPSK $\frac{1}{2}$

$$\begin{aligned} \text{BR} &= N_{\text{used}} \times B_m \times \frac{C_t}{T_b} \\ &= 200 \times 1 \times \frac{1/2}{22.45} \\ &= 4.45 \text{ Mbps} \end{aligned}$$

2. QPSK $\frac{1}{2}$

$$\begin{aligned} \text{BR} &= N_{\text{used}} \times B_m \times \frac{C_t}{T_b} \\ &= 200 \times 2 \times \frac{1/2}{22.45} \\ &= 8.9 \text{ Mbps} \end{aligned}$$

3. QPSK $\frac{3}{4}$

$$\begin{aligned} \text{BR} &= N_{\text{used}} \times B_m \times \frac{C_t}{T_b} \\ &= 200 \times 2 \times \frac{3/4}{22.45} \\ &= 13.36 \text{ Mbps} \end{aligned}$$

4. 16-QAM $\frac{1}{2}$

$$\begin{aligned} \text{BR} &= N_{\text{used}} \times B_m \times \frac{C_t}{T_b} \\ &= 200 \times 4 \times \frac{1/2}{22.45} \\ &= 17.81 \text{ Mbps} \end{aligned}$$

5. 16-QAM $\frac{3}{4}$

$$\begin{aligned} \text{BR} &= N_{\text{used}} \times B_m \times \frac{C_t}{T_b} \\ &= 200 \times 4 \times \frac{3/4}{22.45} \end{aligned}$$

$$= 26.72 \text{ Mbps}$$

6. 64-QAM 2/3

$$\begin{aligned} BR &= N_{used} \times B_m \times \frac{Ct}{Tb} \\ &= 200 \times 6 \times \frac{2/3}{22.45} \\ &= 35.63 \text{ Mbps} \end{aligned}$$

7. 64-QAM 3/4

$$\begin{aligned} BR &= N_{used} \times B_m \times \frac{Ct}{Tb} \\ &= 200 \times 6 \times \frac{3/4}{22.45} \\ &= 40,08 \text{ Mbps} \end{aligned}$$

B. Perhitungan E_b/N_o

1. BPSK 1/2

$$\begin{aligned} \left(\frac{Eb}{No}\right) &= SNR - 10 \log\left(\frac{Bw}{BR}\right) \\ &= 6 - 10 \log \frac{10}{4.45} \\ &= 6 - 3,5164 \\ &= 2,4836 \text{ dB} \end{aligned}$$

2. QPSK 1/2

$$\begin{aligned} \left(\frac{Eb}{No}\right) &= SNR - 10 \log\left(\frac{Bw}{BR}\right) \\ &= 9 - 10 \log \frac{10}{4.45} \\ &= 8,4939 \text{ dB} \end{aligned}$$

3. QPSK $\frac{3}{4}$

$$\begin{aligned} \left(\frac{Eb}{No}\right) &= \text{SNR} - 10\log\left(\frac{Bw}{BR}\right) \\ &= 9 - 10\log\frac{10}{13.36} \\ &= 10,2580 \text{ dB} \end{aligned}$$

4. 16-QAM $\frac{1}{2}$

$$\begin{aligned} \left(\frac{Eb}{No}\right) &= \text{SNR} - 10\log\left(\frac{Bw}{BR}\right) \\ &= 16 - 10\log\frac{10}{17.81} \\ &= 18,50664 \text{ dB} \end{aligned}$$

5. 16-QAM $\frac{3}{4}$

$$\begin{aligned} \left(\frac{Eb}{No}\right) &= \text{SNR} - 10\log\left(\frac{Bw}{BR}\right) \\ &= 16 - 10\log\frac{10}{26.72} \\ &= 20,26836 \text{ dB} \end{aligned}$$

6. 64-QAM $\frac{2}{3}$

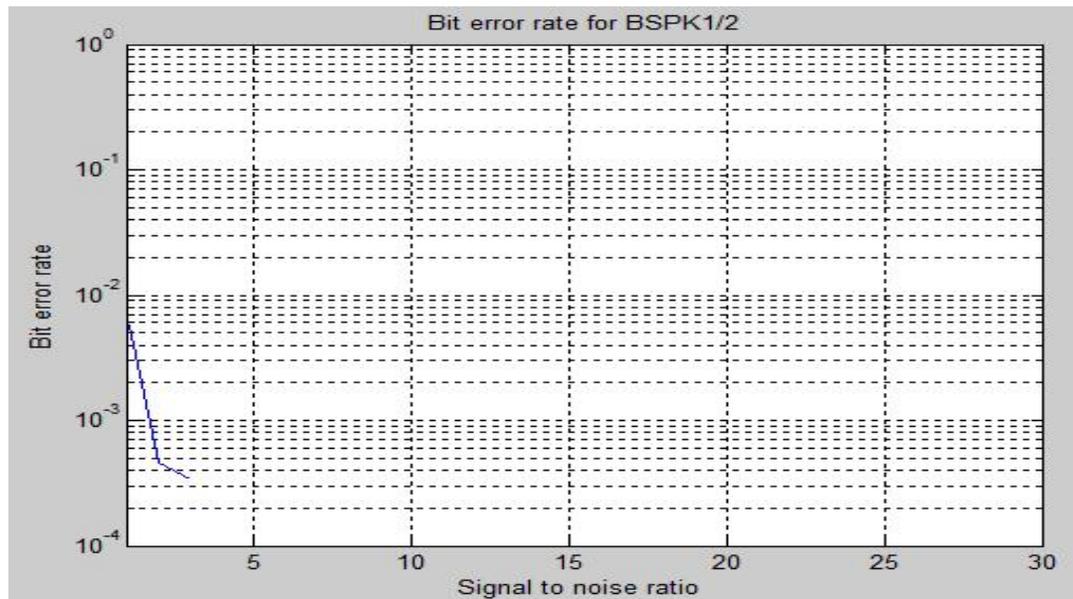
$$\begin{aligned} \left(\frac{Eb}{No}\right) &= \text{SNR} - 10\log\left(\frac{Bw}{BR}\right) \\ &= 22 - 10\log\frac{10}{35.63} \\ &= 27,51816 \text{ dB} \end{aligned}$$

7. 64-QAM $\frac{3}{4}$

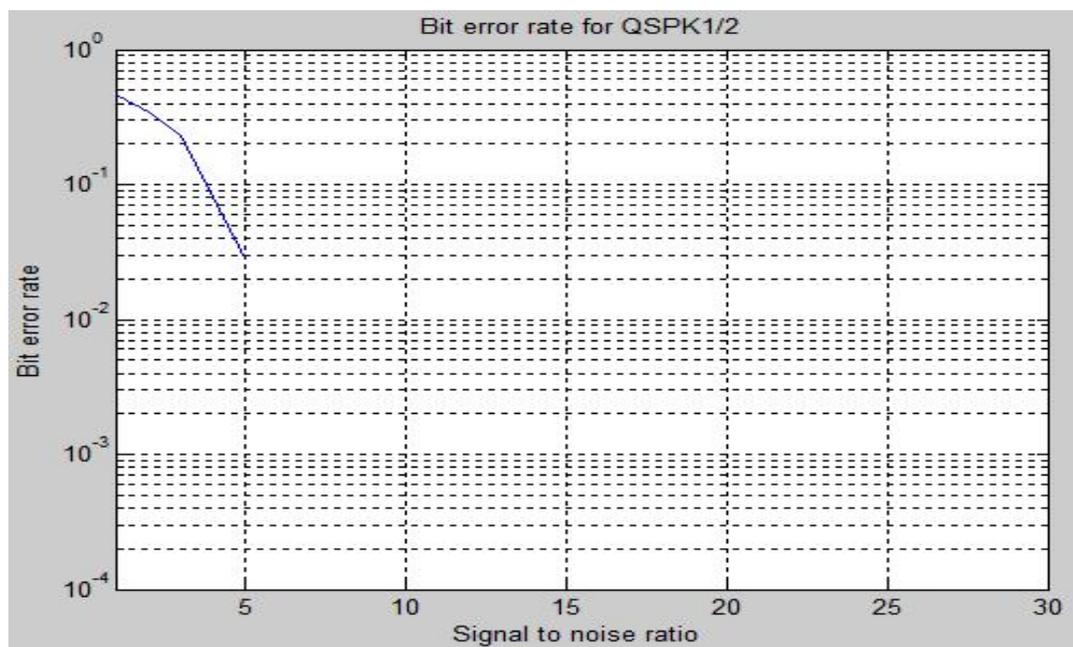
$$\begin{aligned} \left(\frac{Eb}{No}\right) &= \text{SNR} - 10\log\left(\frac{Bw}{BR}\right) \\ &= 22 - 10\log\frac{10}{40.68} \\ &= 28,09381 \text{ dB} \end{aligned}$$

C. Gambar Hasil Modulasi

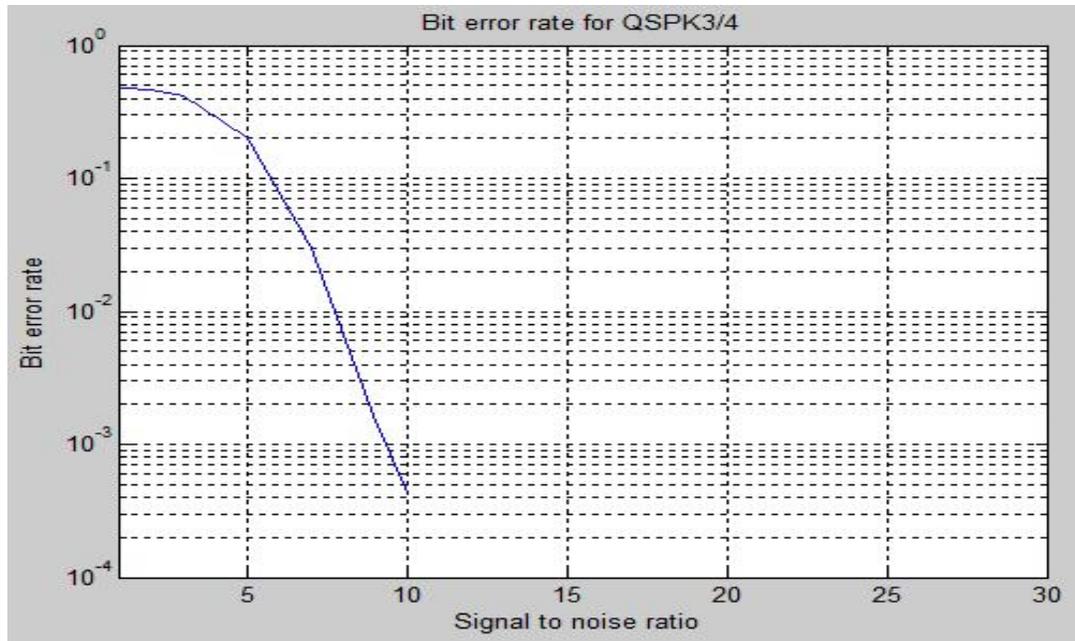
1. Modulasi BPSK $\frac{1}{2}$



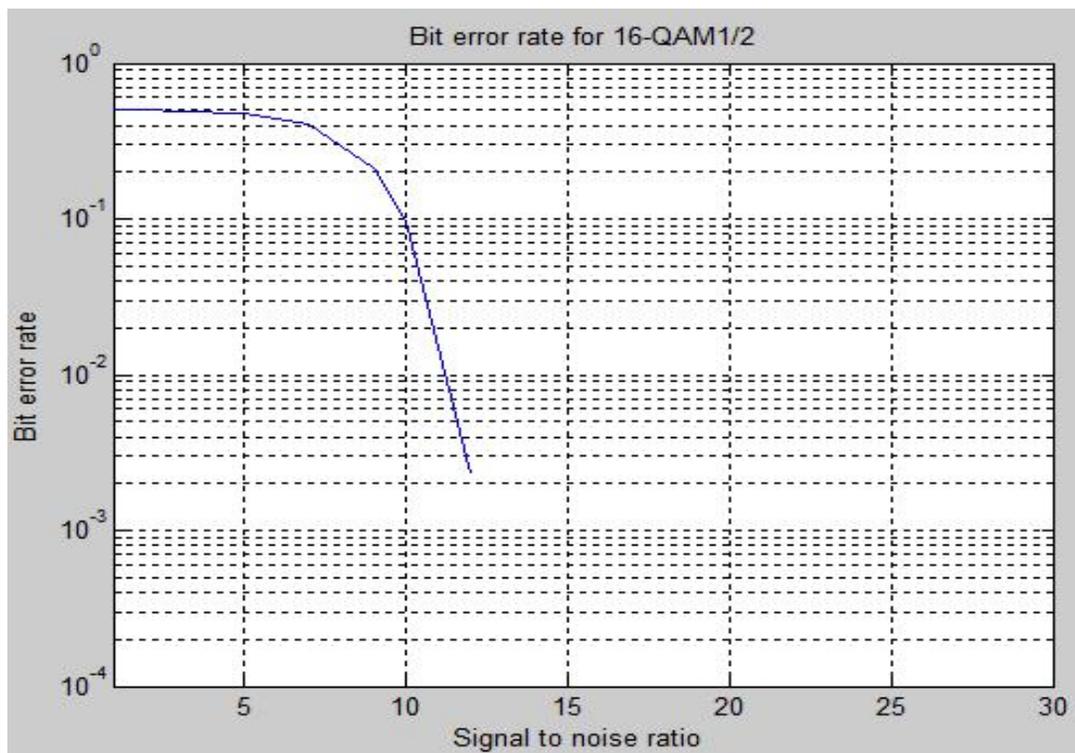
2. Modulasi QPSK $\frac{1}{2}$



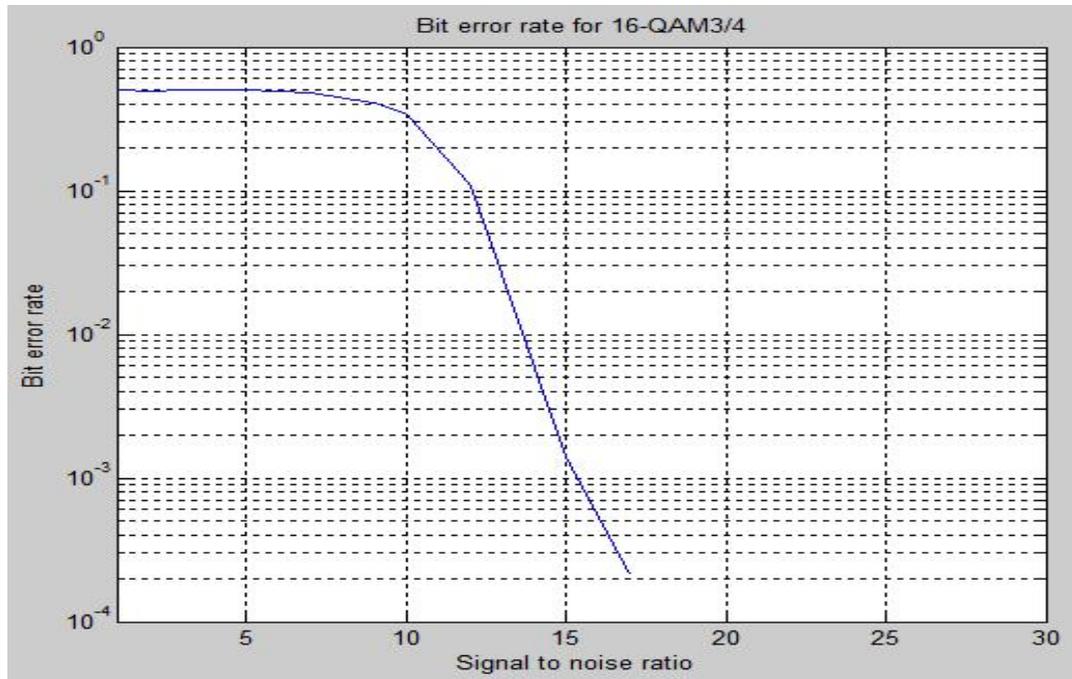
3. Modulasi QPSK $\frac{3}{4}$



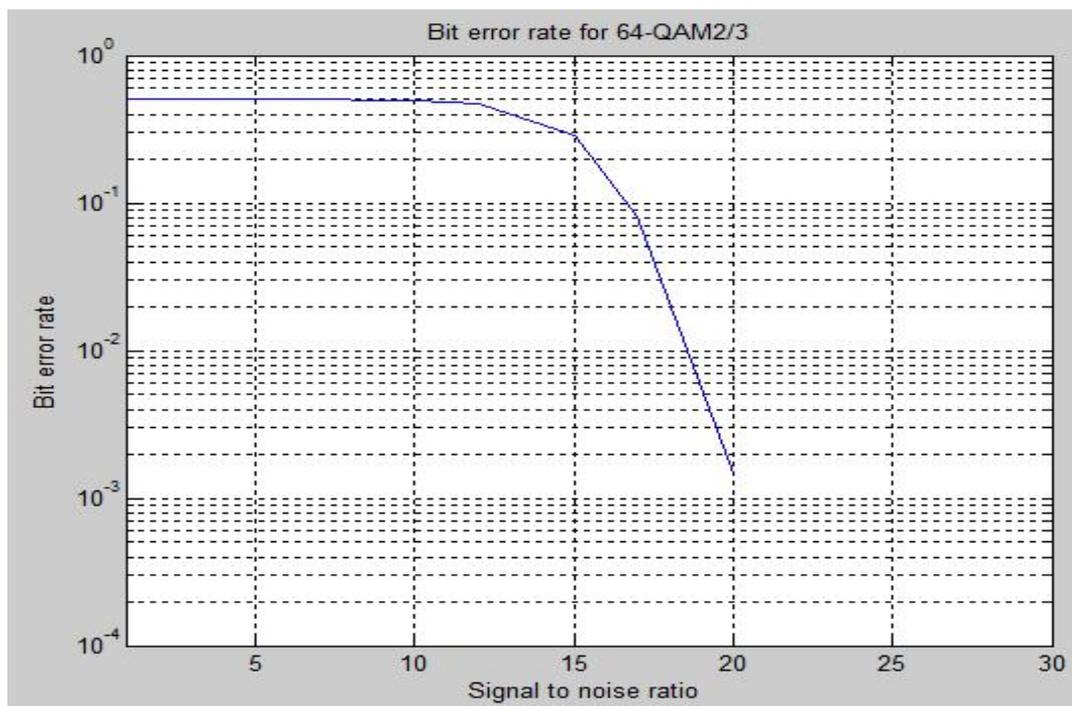
4. Modulasi 16-QAM $\frac{1}{2}$



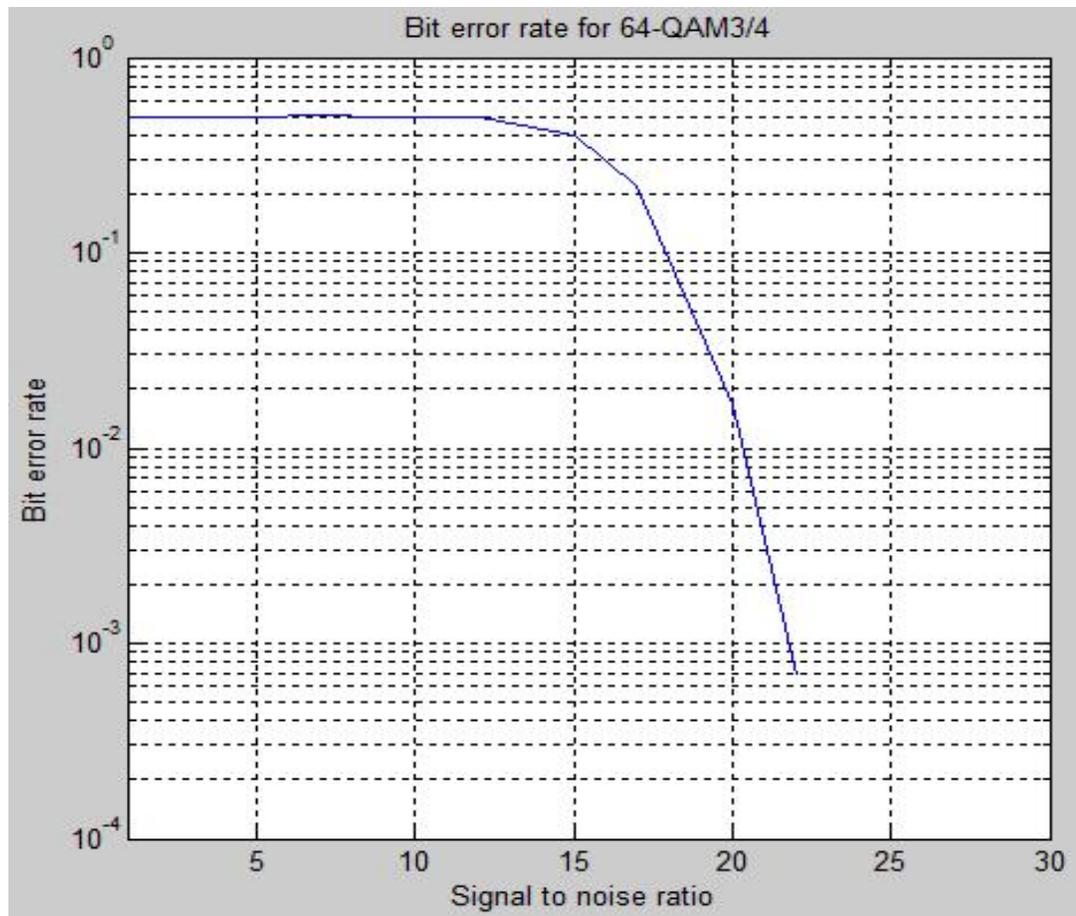
5. Modulasi 16-QAM $3/4$



6. Modulasi 64-QAM $2/3$



7. Modulasi 64-QAM^{3/4}



D. Source Code MATLAB

```

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%
%%                                     Name: deepwimaxmain.m
%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%
clc
close all
clear all

disp('
*****
*****');
disp(' *                                     *');
disp(' * "SIMULASI SISTEM WIMAX IEEE 802.16e" *');
disp(' *                                     *');
disp('
*****
*****');
disp(' ');
disp(' ');
disp(' -----
-----');
disp(' | Modulation | BPSK 1/2 | QPSK 1/2 | QPSK 3/4 | 16-QAM
1/2 | 16-QAM 3/4 | 64-QAM 2/3 | 64QAM-3/4 |');
disp(' |-----|-----|-----|-----|-----
-----|-----|-----|-----|');
disp(' | rate_id | 0 | 1 | 2 | 3
| 4 | 5 | 6 |');
disp(' -----
-----');
disp(' ');
rate_id=input(' enter the rate_id = ');
disp(' ');
G=input(' select G(Cyclic Prefix) [1/4] G= ');
disp(' ');
no=input(' enter number of ofdm symbol (100) no= ');
disp(' ');
disp(' Waiting.....process.....');

bit_error_rate=[0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0];
for q=1:no
%%% data generation
data_get =data_gen(rate_id);
function data_get=data_gen(rate_id)

switch (rate_id)
case 0

```

```

        data_get=randint(11*8,1);           % No. of bit generated
    case 1
        data_get=randint(23*8,1);         % here we generate one less
byte than the uncoded block size
    case 2
        data_get=randint(35*8,1);         % (example 23 byte for rate_id
1)
        data_get=randint(47*8,1);         % because we need to add one
byte of 'zeros' after randmization
    case 3
        data_get=randint(47*8,1);
    case 4
        data_get=randint(71*8,1);
    case 5
        data_get=randint(95*8,1);
    case 6
        data_get=randint(107*8,1);
    otherwise
        display('error in data getneration give proper rate_id')
end

%%% data randomization
data_rand=randomizer(data_get);
function [data_out] = randomizer(data_in)
D=length(data_in);
State=[1 0 0 1 0 1 0 1 0 0 0 0 0 0 0];

for k=1:D
    fdB=bitxor(State(14),State(15));
    State=[fdB State(1:end-1)];
    data_out(k,1)=bitxor(data_in(k,1),fdB);
end

%%% FEC ENCODER
data_rscoded=rsencodecod(data_rand,rate_id,10);
function [data_out] = rsencodecod(data_in,rate_id,TxRx)
%% Description: The Reed-Solomon encoder is realized according to
the standard. %

if rate_id==0
    if TxRx==10
        data_out=[data_in;0;0;0;0;0;0;0;0]; %RS encoder is by passed
for BPSK1/2
    elseif TxRx==01
        data_out=[data_in(1:end-8)]; %remove added zero bit
    end
else
switch (rate_id)
case 1
    n = 32;
    k = 24;
case 2

```

```

        n = 40;
        k = 36;
    case 3
        n = 64;
        k = 48;
    case 4
        n = 80;
        k = 72;
    case 5
        n = 108;
        k = 96;
    case 6
        n = 120;
        k = 108;
    end
m = 8;    % Number of bits per symbol
d=n-k;
if TxRx==10
    % To realize the Reed-Solomon code, the information is needed
    in decimal.
    data = reshape(data_in,8,length(data_in)/8);
    data = bi2de(data.','left-msb');
    % one bytes are needed with a stuffed zero at the end of the
    vector:
    data=[data.' 0];
    % The Galois vector is generated, the generating polynomial of
    the
    % code. Then the symbols are encoded with Reed-Solomon.
    msg = gf([data],m);    % used polynomial to generate gf field
    array is same as describe in ieee standrds
    codeRS = rsenc(msg,n,k);    % here we used primitive polynomial
    as in bydefault in matlab
    out = codeRS.x ;    % convert codeRS a gf object to uni8
    array
    data_out=double(out);    % convert to double array
    data_out=[data_out(end-d+1:end) data_out(1:end-d)];    % extra
    bits should be send before the original bits
    % decimal to binary conversion for continue
    data_out=de2bi(data_out,'left-msb');
    data_out=reshape(data_out.',length(data_out)*8,1);

elseif TxRx==01
    % RS DECODER
    % binary to decimal conversion
    data = reshape(data_in,8,length(data_in)/8);
    data = bi2de(data.','left-msb');
    data=[data.'];
    data=[data(d+1:end) data(1:d)]; % putting the extra bit to last
    of the array
    %decoding
    msg = gf([data],m);
    decodeRS = rsdec(msg,n,k);

```

```

    out = decodeRS(1:end-1)';
    out= out.x;
    out = double (out);
    % The binary data to continue working:
    out = de2bi (out, 'left-msb');
    out = reshape (out.', 1, length(out)*8);
    data_out=out';
end
end

%%convolution encoder
data_coded=convolution(data_rscoded,rate_id,10);
% convolutional encoder with viterbi decoder
function [data_out]=convolution(data_in,rate_id,TxRx)
t=poly2trellis(7, [171 133]);

switch (rate_id)
    case 0          %%% cc coding rate 1/2
        if TxRx==10
            coded_data = convenc(data_in,t); % encodeing
            data_out=coded_data;
        elseif TxRx==01
            decoded_data=vitdec(data_in,t,12, 'trunc', 'hard');%
decoding
            data_out=decoded_data;
        end

    case {1,3}      % %% cc coding rate 2/3
        if TxRx==10
            coded_data = convenc(data_in,t);
            coded_data(3:4:end)=[]; %
puncturing the code
            data_out=coded_data;
        elseif TxRx==01
            data_in=-2*data_in+1;
            decoded_data1=zeros(2*2*length(data_in)/3,1); % generate
the decoded length zero vector
            decoded_data1(1:4:end)=data_in(1:3:end); % writng
the original data
            decoded_data1(2:4:end)=data_in(2:3:end);
            decoded_data1(4:4:end)=data_in(3:3:end);

            decoded_data=vitdec(decoded_data1,t,32, 'trunc', 'unquant');
            data_out=decoded_data;
        end

    case {2,4,6}    % % cc coding rate 5/6
        if TxRx==10
            coded_data = convenc(data_in,t);
            coded_data(3:10:end)=[]; % puncturing
the code

```

```

        coded_data(5:9:end)=[];
        coded_data(5:8:end)=[];
        coded_data(7:7:end)=[];
        data_out=coded_data;
    elseif TxRx==01
        data_in=-2*data_in+1;
        decoded_data1=zeros(2*5*length(data_in)/6,1); % generate
the decoded length zero vector
        decoded_data1(1:10:end)=data_in(1:6:end); % writng
the original data
        decoded_data1(2:10:end)=data_in(2:6:end);
        decoded_data1(4:10:end)=data_in(3:6:end);
        decoded_data1(5:10:end)=data_in(4:6:end);
        decoded_data1(8:10:end)=data_in(5:6:end);
        decoded_data1(9:10:end)=data_in(6:6:end);

    decoded_data=vitdec(decoded_data1,t,40,'trunc','unquant');
    data_out=decoded_data;
    end

    case 5 %% rate 3/4
        if TxRx==10
            coded_data = convenc(data_in,t);
            coded_data(3:3:end)=[]; %
puncturing the code
            data_out=coded_data;
        elseif TxRx==01
            data_in=-2*data_in+1;
            decoded_data1=zeros(2*3*length(data_in)/4,1); % generate
the decoded length zero vector
            decoded_data1(1:3:end)=data_in(1:2:end); % writng
the original data
            decoded_data1(2:3:end)=data_in(2:2:end); %

    decoded_data=vitdec(decoded_data1,t,96,'trunc','unquant');
    data_out=decoded_data;
    end

    otherwise
        display('error in convolutional encoder decoder give proper
rate_id and TxRx')
    end

    %%% INTERLEAVING
    data_interleav=interleav_d(data_coded,rate_id);
    % Interleaver function
    function [data_out]=interleav_d(data_in,rate_id)

    switch (rate_id)
        case 0

```

```

        Ncbps=192; % In BPSK no.of bits allocated to subcarrier in a
OFDM symbol
        Ncpc=1; % In cash of BPSK No. of coded bit per carrier.
        case {1,2}
            Ncbps=384;
            Ncpc=2;
        case {3,4} %% note: no. of coded bit Ncpc=1,2,4,6 for
bpsk,qpsk,16qam,64qam respectively%%
            Ncbps=768;
            Ncpc=4;
        case {5,6}
            Ncbps=1152;
            Ncpc=6;
        otherwise
            display('error in interleaver give proper rate_id')
    end

s=ceil(Ncpc/2);

data=data_in';
    % k-->index of the bit encoded BEFORE the first permutation
    % mk-->index of this bit BEFORE the second permutation and AFTER
the first one
    % jk-->index after the SECOND permutation, just before the mapping
of the
    % signal.

    k=0:Ncbps-1;
    mk = ((Ncbps/12)*mod(k,12))+floor(k/12); %
First permutation
    jk = s*floor(mk/s)+mod(mk+Ncbps-floor(12*mk/Ncbps),s); %
Second permutation

    % Now I must arrange the indices to know in what order I must take
the bits of the entering sequence.
    [a b] = sort(jk);

%% % finally the bits are rearranged.

    i = 1:Ncbps;
    data_out = zeros(1,Ncbps);
    data_out(i) = data(b(i));
    data_out=data_out';

%% Digital modulator SYMBOL MAPPER
data_mod=mod_d(data_interleav,rate_id);
function [data_out]=mod_d(data_in,rate_id)

```

```

switch (rate_id)
    case 0
        M=2; %Size of signal constellation for BFSK
    case {1,2}
        M=4; %Size of signal constellation QPSK
    case {3,4}
        M=16; %Size of signal constellation 16QAM
    case {5,6}
        M=64; %Size of signal constellation 64QAM
    otherwise
        display('error in constellation modulator give proper
rate_id')
end

k=log2(M); % no. of bits per symbol
x=data_in;
% bits to symbol mapping
xnew1=reshape(x,k,length(x)/k);
xsym = bi2de(xnew1.', 'left-msb');
% modulating % the symbole signal xsym should be
% a column vector containing integers between 0 to M-1
switch (rate_id)
    case {0,1,2}
        y = pskmod(xsym,M);
    case {3,4,5,6}
        y = qammod(xsym,M);
    otherwise
        display('error in modulation give proper rate_id')
end
% scatterplot(y)
%% Transmitted Signal
data_out = y;

%%% IFFT modulator
data_tx=ofdm_symbol_fft_cp(data_mod,G,10);
% We can make Nfft as a parameter as well
Nfft = 256;

if TxRx==10
    data=data_in'; %this makes the input column vector to a array

% %% making ofdm symbol and taking IFFT
% function symbol_ofdm = createsymbol (pilots,data)

%% now first generate the pilot
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
A=complex(-1,0);
B=complex(1,0);
pilots = [A B A B B B A A]; %% here we direct making the
pilot,detail procedure given below

```



```

symbol_ofdm = [guard1 data(1:12) pilots(1) data(13:36)...
    pilots(2) data(37:60) pilots(3) data(61:84) pilots(4)...
    data(85:96) DC data(97:108) pilots(5) data(109:132) pilots(6)...
    data(133:156) pilots(7) data(157:180) pilots(8) data(181:192)
guard2];

% here the ofdm symbol is completed
%Now taking IFFT
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%
symbol_ofdm = sqrt(Nfft).*ifft(symbol_ofdm,Nfft);

%Now adding cyclic
prefix%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
% we generate the cyclic prefix so that the multipaths do not affect
our data so much.
margin = length(symbol_ofdm)*G;
data_tx = [symbol_ofdm((end-margin+1):end) symbol_ofdm];
data_out=data_tx;

SNR=[1 2 3 5 7 9 10 12 15 17 20 22 25 27 30]; % specify SNR
for p=1:1:15
    snr=SNR(p);
    %% channel
    data_rx=channel_d(data_tx,snr);
function [data_rx]=channel_d(data_tx,snr)

%% specify the snr level
%snr =10; % In dB

data_rx = awgn(data_tx,snr,'measured');

    %% FFT demodulator
    data_rxp=ofdmsymbol_fft_cp(data_rx,G,01);
% At receiving end
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%
elseif TxRx==01

data_rx=data_in;
% First, we must remove the CP.
margin = length(data_rx)*G;
margin = margin/(1+G);
symbol_ofdm_rx= data_rx(margin+1:end);

% After removing the CP, we have to inverse the IFFT, logcally by
FFT.

symbol_rx = fft(symbol_ofdm_rx,Nfft) ./ sqrt(Nfft);

```

```

% Here the pilots are indicated, since i need to know where they
are.
% now we will be able to estimate the channel.

pilots = [symbol_rx(41) symbol_rx(66) symbol_rx(91) symbol_rx(116)
symbol_rx(142) symbol_rx(167) symbol_rx(192) symbol_rx(217)];

% After getting the received symbol, the channel is to be estimated
using
% the pilot carriers. This is bypassed for an AWGN channel.

% Next, the values of the data and pilot carriers are extracted
data_total = [symbol_rx(29:40) symbol_rx(42:65) symbol_rx(67:90)
symbol_rx(92:115) symbol_rx(117:128) ...
symbol_rx(130:141) symbol_rx(143:166) symbol_rx(168:191)
symbol_rx(193:216) symbol_rx(218:229)];
data_out=data_total'; %this makes it a column vector
else
disp('error in ofdmsymbol_fft_cp.m function');
end

%% Digital demodulator SYMBOL DEMEPPER
data_demod=demod_d(data_rxp,rate_id);
function [data_out]=demod_d(data_in,rate_id)
% define parameter
switch (rate_id)
case 0
M=2; %Size of signal constellation for BFSK
case {1,2}
M=4; %Size of signal constellation QPSK
case {3,4}
M=16; %Size of signal constellation 16QAM
case {5,6}
M=64; %Size of signal constellation 64QAM
otherwise
display('error in constellation modulator give proper
rate_id')
end

k=log2(M); % no. of bits per symbol
%% Received Signal
yrx = data_in;
% %%
% scatterplot(yrx)

% Demodulate signal % result in column vector containing the value 0
to M-1
switch (rate_id)

```

```

    case {0,1,2}
        zsym = pskdemod(yrx,M);
    case {3,4,5,6}
        zsym = qamdemod(yrx,M);
    otherwise
        display('error in demodulation give proper rate_id')
end

% Symbol-to-Bit Mapping
z = de2bi(zsym, 'left-msb');
data_out = reshape(z.',prod(size(z)),1);

%%% DEINTERLEAVING
data_deinterleav=deinterleav_d(data_demod,rate_id);
function [data_out]=deinterleav_d(data_in,rate_id)

switch (rate_id)
    case 0
        Ncbps=192; % In BPSK no.of bits allocated to subcarrier in a
OFDM symbol
        Ncpc=1; % In cash of BPSK No. of coded bit per carrier.
    case {1,2}
        Ncbps=384;
        Ncpc=2;
    case {3,4} % note: no. of coded bit Ncpc=1,2,4,6 for
bpsk,qpsk,16qam,64qam respectivly%%
        Ncbps=768;
        Ncpc=4;
    case {5,6}
        Ncbps=1152;
        Ncpc=6;
    otherwise
        display('error in interleaver give proper rate_id')
end

s=ceil(Ncpc/2);

data=data_in';
%%% Deinterleaving
% j-->index of the bit encoded BEFORE the first permutation
% mj-->index of this bit BEFORE the second permutation and AFTER
the first one
% kj-->index after the SECOND permutation, just before the mapping
of the sign.

j = 0:Ncbps-1;
mj = s*floor(j/s) + mod((j + floor(12*j/Ncbps)),s); %
First permutation

```

```

    kj = 12*mj-(Ncbps-1)*floor(12*mj/Ncbps); %
    Second permutation

    % The indices are ordered to know what must be taken.
    [c d]= sort(kj);

% finally the bits are rearranged.

i = 1:Ncbps;
data_out = zeros(1,Ncbps);
data_out(i) = data(d(i));
data_out=data_out';

    % %% FEC DECODER
    %% convolution decoder
    data_decoded=convolution(data_deinterleav,rate_id,01);
    %% RSdecoder
    data_rsdecoded=rsencodecod(data_decoded,rate_id,01); % removing
added tail bits
    %% Data Derandomizer
    data_unrand=randomizer(data_rsdecoded);
    %% BER calculation
    [noerr(p),ber(p)] = biterr(data_unrand,data_get); %#ok<*SAGROW>
end
bit_error_rate=bit_error_rate+ber;
end
bit_error_rate=bit_error_rate/no;
%%plot the grapgh
result=berplot(SNR,bit_error_rate,rate_id);
function [a]=berplot(SNR,ber,rate_id)
% plot(SNR,ber)
semilogy(SNR,ber)
grid on
axis([-Inf Inf 10^(-4) 1])
xlabel('Signal to noise ratio ')
ylabel('Bit error rate')

switch (rate_id)
    case 0
        title('Bit error rate for BSPK1/2')
    case 1
        title('Bit error rate for QSPK1/2')
    case 2
        title('Bit error rate for QSPK3/4')
    case 3
        title('Bit error rate for 16-QAM1/2')
    case 4
        title('Bit error rate for 16-QAM3/4')
    case 5
        title('Bit error rate for 64-QAM2/3')
    case 6

```

```
        title('Bit error rate for 64-QAM3/4')
    otherwise
        display('error in plot give proper rate_id')
end
a='simulation has successfully completed' ;
```