

ANALISIS MODEL KANAL PROPAGASI COST 231 HATA PADA JARINGAN
MOBILE WORLDWIDE INTEROPERABILITY FOR MICROWAVE ACCESS
(WIMAX)

S K R I P S I
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO

Diajukan untuk memenuhi sebagian persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik



Disusun oleh :

RIZKY FIRMANSYAH

NIM. 115060309111014-63

KEMENTERIAN PENDIDIKAN NASIONAL
UNIVERSITAS BRAWIJAYA
FAKULTAS TEKNIK
MALANG

2014

LEMBAR PERSETUJUAN

**ANALISIS MODEL KANAL PROPAGASI COST 231 HATA PADA JARINGAN
MOBILE WORLDWIDE INTEROPERABILITY FOR MICROWAVE ACCESS (WIMAX)**

SKRIPSI

KONSENTRASI TEKNIK TELEKOMUNIKASI

Diajukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik



Disusun oleh:
RIZKY FIRMANSYAH
NIM. 115060309111014

Telah diperiksa dan disetujui oleh :

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II

Rudy Yuwono, ST., Msc
NIP. 19710615 199802 1 003

Erfan Achmad Dahlan, Ir., MT
NIP. 19530714 198203 1 003



LEMBAR PENGESAHAN

**ANALISIS MODEL KANAL PROPAGASI COST 231 HATA PADA
JARINGAN *MOBILE WORLDWIDE INTEROPERABILITY FOR
MICROWAVE ACCESS (WIMAX)***

**SKRIPSI
KONSENTRASI TEKNIK TELEKOMUNIKASI**

Diajukan untuk memenuhi sebagian persyaratan
Memperoleh gelar Sarjana Teknik

Disusun Oleh :

**RIZKY FIRMANSYAH
NIM. 115060309111014 – 63**

Skripsi ini telah diuji dan dinyatakan lulus
Pada tanggal 11 Agustus 2014

Majelis Penguji

M. Fauzan Edy Purnomo, ST., MT.
NIP. 19710609 200003 1 005

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

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

Mengetahui :
Ketua Jurusan Teknik Elektro

Muhammad Aziz Muslim, ST., MT., Ph.D.
NIP. 19741203 200012 1 001

PENGANTAR

Alhamdulillah, segenap puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi dengan judul “Analisis Model Kanal Propagasi COST 231 HATA Pada Jaringan Mobile Worldwide Interoperability For Microwave Access (WIMAX)” yang diajukan untuk memenuhi sebagian persyaratan memperoleh gelar Sarjana Teknik. Tidak lupa shalawat serta salam selalu penulis sampaikan kepada junjungan besar Nabi Muhammad SAW yang membukakan jalan terang umatnya.

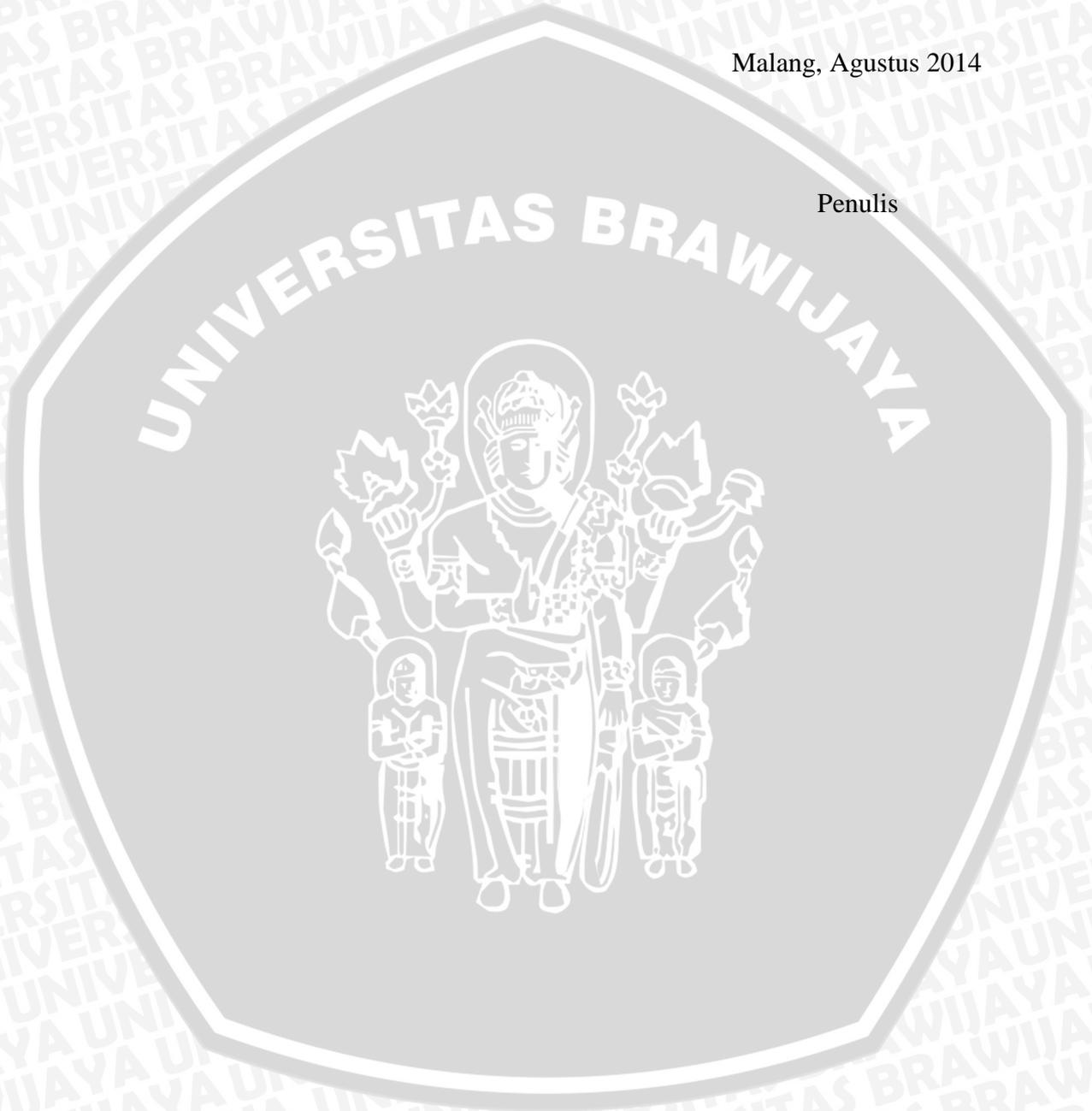
Penulis ingin mengucapkan terima kasih bagi berbagai pihak yang telah membantu dan mendukung dalam penyelesaian skripsi ini. Kepada :

1. Bapak, Ibu, dan keluarga besarku tercinta,
Bapak Budi Hartono, Ibu Imro'Atin, dan semua keluarga besarku di Malang terima kasih. Doa, kasih sayang, dan kepercayaan yang tak pernah putus kalian berikan untuk anakmu ini.
2. Bapak M. Aziz Muslim, ST., M.Sc, Ph.D. selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro.
3. Bapak Hadi Suyono, ST., MT., Ph.D. selaku Sekretaris Jurusan Teknik Elektro.
4. Bapak Mochammad Rif'an ST., MT. selaku Ketua Program Studi Teknik Elektro.
5. Bapak Ali Mustofa, ST., MT. selaku Ketua Kelompok Dosen dan Keahlian Telekomunikasi.
6. Bapak Rudy Yuwono, ST., Msc dan Bapak Erfan Achmad Dahlan, Ir, MT. selaku pembimbing skripsi yang sudah banyak memberikan motivasi, saran, nasehat dan waktu untuk yang telah dicurahkan dalam pengerjaan hingga penyelesaian skripsi ini.
7. Seluruh dosen dan karyawan Jurusan Teknik Elektro..
8. Keluarga SAP 2011 (Fifo, Fauzi, Agung, Yoga, Angga, Adit, Adif, Andri, Rizal, Pipit, Enggar) dan SAP 2012 khususnya teman seperjuangan Paket C (Yanuar, Dirthon, Ira, Imam, Irfan, Mahe).
9. Seluruh teman-teman Paket C angkatan 2010 yang telah menjadi teman diskusi dalam perkuliahan di konsentrasi Telekomunikasi.
10. Semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu persatu sehingga skripsi ini dapat diselesaikan dengan baik.

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

Malang, Agustus 2014

Penulis



DAFTAR ISI

PENGANTAR	i
DAFTAR ISI	iii
DAFTAR GAMBAR	v
DAFTAR GRAFIK	vi
DAFTAR TABEL	viii
DAFTAR LAMPIRAN	ix
ABSTRAK	x
BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Batasan Masalah	2
1.4 Tujuan	3
1.5 Sistematika Penulisan	3
BAB II DASAR TEORI	
2.1 Standar WIMAX	4
2.2 Teknologi <i>Mobile</i> WIMAX.....	5
2.2.1 Arsitektur <i>Mobile</i> WIMAX.....	6
2.2.2 Protokol <i>Mobile</i> WIMAX	8
2.1.2.1 <i>Physical Layer</i> (PHY)	8
2.1.2.2 <i>Data Link Layer / MAC Layer</i>	9
2.3 <i>Orthogonal Frequency Division Multiple Access</i> (OFDMA).....	10
2.3.1 Struktur Simbol OFDMA dan Subkanalisasi	10
2.3.2 Pembagian Aliran Data pada OFDMA.....	11
2.3.3 Blok Diagram OFDMA	12
2.3.4 <i>Encoding</i> dan Modulasi	13
2.3.5 <i>Subcarrier Mapping and Transform</i>	14
2.4 Modulasi	17
2.4.1 <i>Quadrature Phase Shift Keying</i> (QPSK).....	18
2.4.2 <i>Quadrature Amplitude Modulation</i> (QAM)	19
2.5 Propagasi Gelombang	19
2.5.1 Mekanisme Dasar Propagasi Gelombang.....	19

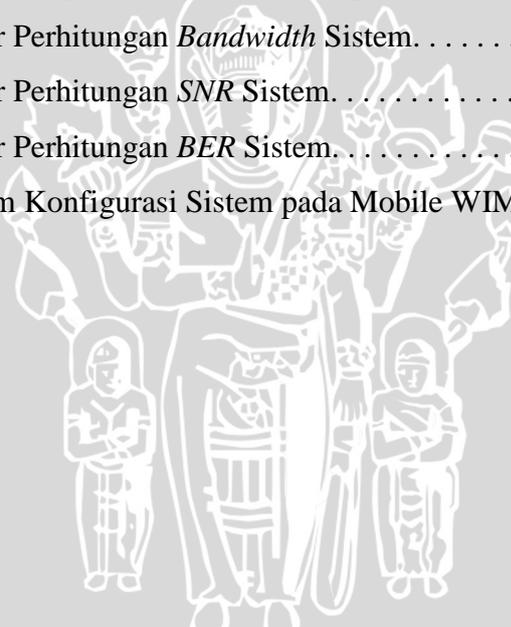


2.5.1.1	<i>Reflection</i> (Pemantulan)	19
2.5.1.2	<i>Scattering</i> (Hamburan)	20
2.5.1.3	<i>Refraction</i> (Pembiasan)	21
2.5.1.4	<i>Difraction</i> (Difraksi).....	22
2.5.2	Kanal Propagasi.....	23
2.5.3	Kanal <i>Additive White Gaussian Noise</i> (AWGN).....	24
2.5.4	Kanal <i>Rayleigh Fading</i>	24
2.6	Model Propagasi	25
2.6.1	Model Propagasi COST 231 Hata	26
2.6.2	Model Propagasi ECC 33	28
2.7	Parameter Performansi Sistem	27
2.7.1	<i>Bandwidth</i> Sistem.....	29
2.7.2	<i>Signal to Noise Ratio</i> (SNR).....	30
2.7.3	<i>Energy Bit to Noise Ratio</i> (E_b/N_o)	31
2.7.4	<i>Bit Error Rate</i> (BER).....	32
 BAB III METODOLOGI		
3.1	Studi Literatur	35
3.2	Pengambilan Data	35
3.3	Perhitungan dan Analisis Data	35
3.4	Pengambilan Kesimpulan dan Saran.....	38
 BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN		
4.1	Tinjauan Umum.....	39
4.2	Analisis <i>Bandwidth</i> Sistem <i>Mobile</i> Wimax dengan Teknik Modulasi Adaptif	41
4.3	Analisis <i>Signal to Noise Ratio</i> (SNR) Sistem <i>Mobile</i> WiMAX.....	47
4.4	Analisis <i>Bit Error Rate</i> (BER) Sistem <i>Mobile</i> WiMAX.....	60
 BAB V PENUTUP		
5.1	Kesimpulan	69
5.2	Saran	70
DAFTAR PUSTAKA		71
LAMPIRAN		72



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Arsitektur <i>Mobile WIMAX</i>	46
Gambar 2.2	Struktur <i>sub-carrier OFDMA</i>	46
Gambar 2.3	Blok Diagram Pemancar dan Penerima <i>OFDMA</i>	46
Gambar 2.4	Blok Diagram proses <i>Encoding</i> dan Modulasi.	46
Gambar 2.5	Ilustrasi Bentuk Gelombang Time-Frequency pada Proses <i>IDFT</i>	46
Gambar 2.6	Sistem Modulasi Adaptif.	46
Gambar 2.7	<i>Reflection</i> (Pemantulan) Gelombang Elektromagnetik	46
Gambar 2.8	<i>Scattering</i> (Hamburan) Gelombang Elektromagnetik.	46
Gambar 2.9	<i>Refraction</i> (Pembiasan) Gelombang Elektromagnetik.	46
Gambar 2.10	<i>Difraction</i> (Difraksi) Gelombang Elektromagnetik.	46
Gambar 3.1	Diagram Alir Langkah Penyusunan Skripsi.	46
Gambar 3.2	Diagram Alir Perhitungan <i>Bandwidth</i> Sistem.	46
Gambar 3.3	Diagram Alir Perhitungan <i>SNR</i> Sistem.	46
Gambar 3.4	Diagram Alir Perhitungan <i>BER</i> Sistem.	46
Gambar 4.1	Blok Diagram Konfigurasi Sistem pada <i>Mobile WIMAX</i>	46





DAFTAR GRAFIK

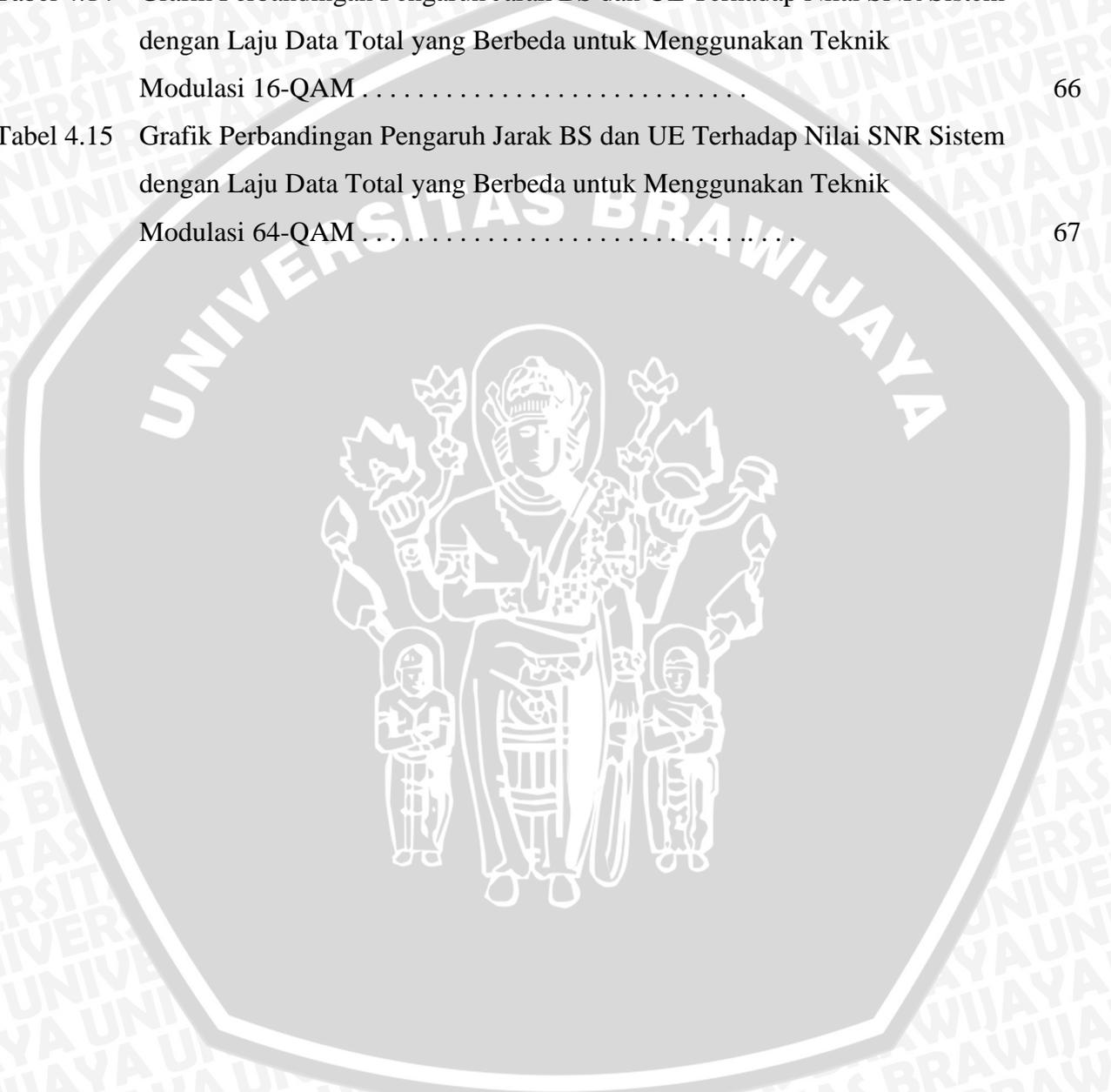
Tabel 4.1	Grafik Pengaruh Kecepatan Pengguna Terhadap <i>Bandwidth</i> Sistem Menggunakan Teknik Modulasi QPSK.	46
Tabel 4.2	Grafik Pengaruh Kecepatan Pengguna Terhadap <i>Bandwidth</i> Sistem Menggunakan Teknik Modulasi 16-QAM.	46
Tabel 4.3	Grafik Pengaruh Kecepatan Pengguna Terhadap <i>Bandwidth</i> Sistem Menggunakan Teknik Modulasi 64-QAM.	47
Tabel 4.4	Grafik Perbandingan Pengaruh Jarak BS dan UE Terhadap Nilai SNR Sistem dengan Laju Data Total yang Berbeda untuk Kecepatan Pengguna 5 km/jam Menggunakan Teknik Modulasi QPSK.	54
Tabel 4.5	Grafik Perbandingan Pengaruh Jarak BS dan UE Terhadap Nilai SNR Sistem dengan Laju Data Total yang Berbeda untuk Kecepatan Pengguna 60 km/jam Menggunakan Teknik Modulasi QPSK.	55
Tabel 4.6	Grafik Perbandingan Pengaruh Jarak BS dan UE Terhadap Nilai SNR Sistem dengan Laju Data Total yang Berbeda untuk Kecepatan Pengguna 100 km/jam Menggunakan Teknik Modulasi QPSK.	55
Tabel 4.7	Grafik Perbandingan Pengaruh Jarak BS dan UE Terhadap Nilai SNR Sistem dengan Laju Data Total yang Berbeda untuk Kecepatan Pengguna 5 km/jam Menggunakan Teknik Modulasi 16-QAM.	56
Tabel 4.8	Grafik Perbandingan Pengaruh Jarak BS dan UE Terhadap Nilai SNR Sistem dengan Laju Data Total yang Berbeda untuk Kecepatan Pengguna 60 km/jam Menggunakan Teknik Modulasi 16-QAM.	56
Tabel 4.9	Grafik Perbandingan Pengaruh Jarak BS dan UE Terhadap Nilai SNR Sistem dengan Laju Data Total yang Berbeda untuk Kecepatan Pengguna 100 km/jam Menggunakan Teknik Modulasi 16-QAM.	57
Tabel 4.10	Grafik Perbandingan Pengaruh Jarak BS dan UE Terhadap Nilai SNR Sistem dengan Laju Data Total yang Berbeda untuk Kecepatan Pengguna 5 km/jam Menggunakan Teknik Modulasi 64-QAM.	57
Tabel 4.11	Grafik Perbandingan Pengaruh Jarak BS dan UE Terhadap Nilai SNR Sistem dengan Laju Data Total yang Berbeda untuk Kecepatan Pengguna 60 km/jam Menggunakan Teknik Modulasi 64-QAM.	58
Tabel 4.12	Grafik Perbandingan Pengaruh Jarak BS dan UE Terhadap Nilai SNR Sistem	

dengan Laju Data Total yang Berbeda untuk Kecepatan Pengguna 100 km/jam Menggunakan Teknik Modulasi 64-QAM. 58

Tabel 4.13 Grafik Perbandingan Pengaruh Jarak BS dan UE Terhadap Nilai BER Sistem dengan Laju Data Total yang Berbeda untuk Menggunakan Teknik Modulasi QPSK. 66

Tabel 4.14 Grafik Perbandingan Pengaruh Jarak BS dan UE Terhadap Nilai SNR Sistem dengan Laju Data Total yang Berbeda untuk Menggunakan Teknik Modulasi 16-QAM. 66

Tabel 4.15 Grafik Perbandingan Pengaruh Jarak BS dan UE Terhadap Nilai SNR Sistem dengan Laju Data Total yang Berbeda untuk Menggunakan Teknik Modulasi 64-QAM. 67





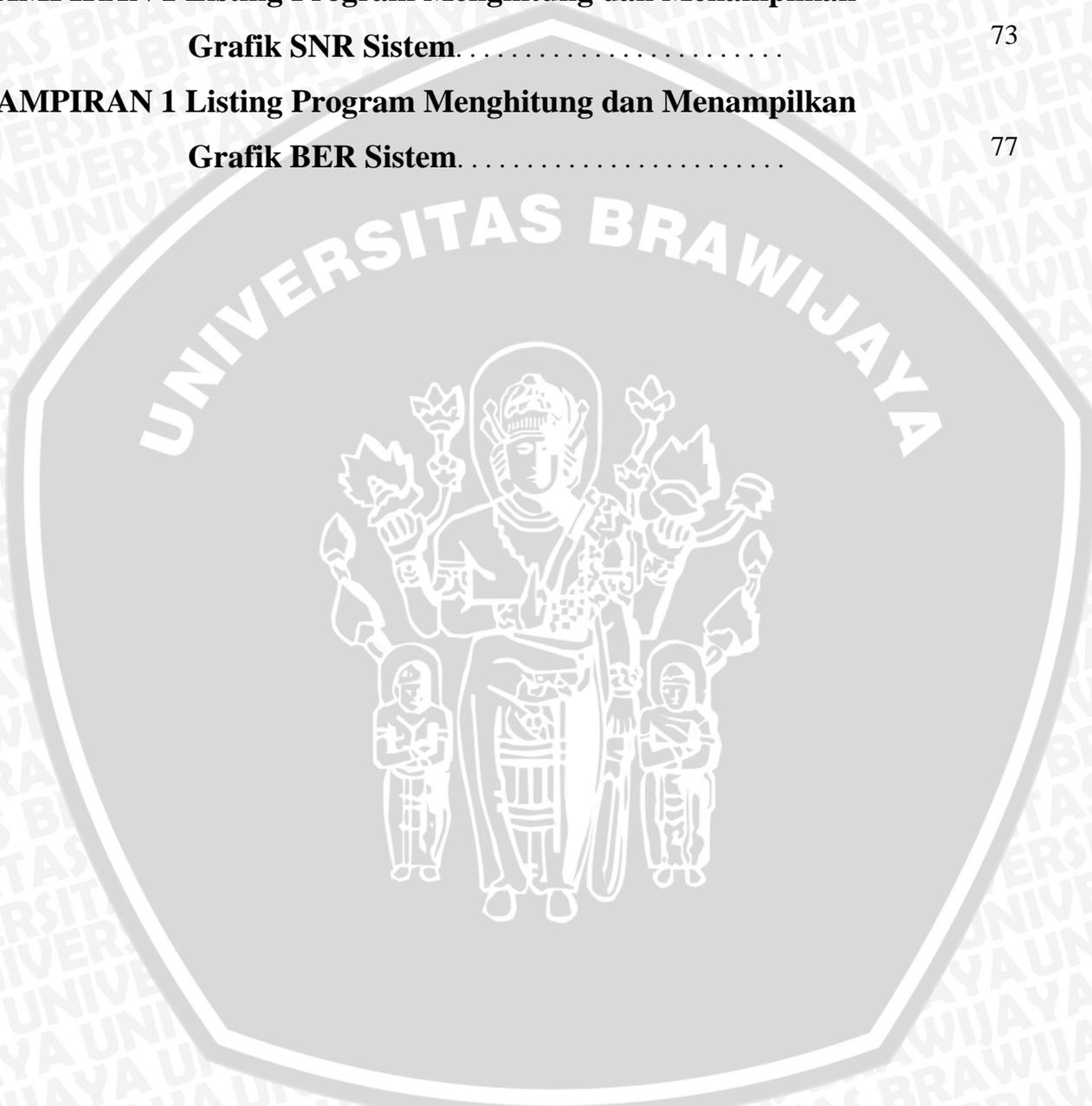
DAFTAR TABEL

Tabel 4.1	Tabel Parameter <i>Scalable</i> OFDMA.	39
Tabel 4.2	Tabel Parameter Laju Data <i>Mobile</i> WiMAX.	40
Tabel 4.3	Tabel Hasil Perhitungan Laju Data masing-masing <i>Subcarrier</i>	41
Tabel 4.4	Tabel Hasil Perhitungan Durasi masing-masing <i>Subcarrier</i>	42
Tabel 4.5	Tabel Hasil Perhitungan Durasi <i>Cyclic Prefix</i> masing-masing <i>Subcarrier</i>	42
Tabel 4.6	Tabel Hasil Perhitungan Durasi Simbol masing-masing <i>Subcarrier</i>	43
Tabel 4.7	Tabel Hasil Perhitungan <i>Bandwidth</i> Sistem.	44
Tabel 4.8	Tabel Spesifikasi <i>Mobile</i> WIMAX.	47
Tabel 4.9	Tabel Hasil Perhitungan Redaman Propagasi NLOS dengan 2 Model Propagasi Berbeda.	49
Tabel 4.10	Tabel Hasil Perhitungan Daya Terima pada <i>Receiver</i> dengan 2 Model Propagasi Berbeda.	50
Tabel 4.11	Tabel Hasil Perhitungan Daya <i>Noise</i>	50
Tabel 4.12	Tabel Hasil Perhitungan SNR sistem pada kecepatan 5 km/jam.	52
Tabel 4.13	Tabel Hasil Perhitungan SNR sistem pada kecepatan 60 km/jam.	52
Tabel 4.14	Tabel Hasil Perhitungan SNR sistem pada kecepatan 100 km/jam.	53
Tabel 4.15	Tabel Hasil Perhitungan E_b/N_0 untuk kecepatan 5 km/jam.	61
Tabel 4.16	Tabel Hasil Perhitungan E_b/N_0 untuk kecepatan 60 km/jam.	61
Tabel 4.17	Tabel Hasil Perhitungan E_b/N_0 untuk kecepatan 100 km/jam.	62
Tabel 4.18	Tabel Hasil Perhitungan BER untuk kecepatan 5 km/jam.	64
Tabel 4.19	Tabel Hasil Perhitungan BER untuk kecepatan 60 km/jam.	65
Tabel 4.20	Tabel Hasil Perhitungan BER untuk kecepatan 100 km/jam.	65



DAFTAR LAMPIRAN

LAMPIRAN 1 Listing Program Menghitung dan Menampilkan Grafik Bandwidth Sistem.....	72
LAMPIRAN 1 Listing Program Menghitung dan Menampilkan Grafik SNR Sistem.....	73
LAMPIRAN 1 Listing Program Menghitung dan Menampilkan Grafik BER Sistem.....	77





ABSTRAK

Rizky Firmansyah, Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, Agustus 2014, *Analisis Model Kanal Propagasi COST 231 HATA Pada Jaringan Mobile Worldwide Interoperability For Microwave Access (WIMAX)*, Dosen Pembimbing : Rudy Yuwono,ST.,MSc. dan Erfan Achmad Dahlan,Ir,MT

Mobile WIMAX merupakan bagian dari WBA (*Wireless Broadband Access*) yang menggunakan *Orthogonal Frequency Division Multiple Access* (OFDMA) sebagai *air interface* nya. Komunikasi nirkabel seperti *mobile WIMAX* menggunakan gelombang elektromagnetik sebagai media transmisinya sehingga rentan mengalami rugi-rugi ruang bebas. Oleh karena itu diperlukan sebuah model propagasi untuk menghitung rugi-rugi atau yang disebut *pathloss*. Pada penelitian ini akan dianalisis performansi sistem berdasarkan parameter dari jaringan *mobile WIMAX* menggunakan model propagasi COST 231 Hata yang kemudian dibandingkan dengan model propagasi ECC 33.

Hasil analisis membuktikan bahwa kecepatan pengguna berpengaruh terhadap *bandwidth* sistem. Nilai *bandwidth* terbesar ketika laju data total 14.26 Mbps pada kecepatan 100 km/jam, yaitu 2.7204 MHz. Model propagasi yang digunakan berpengaruh terhadap nilai SNR sistem. Nilai SNR sistem terbesar didapat ketika menggunakan model propagasi COST 231 Hata dengan modulasi 64-QAM, yaitu 124.8716 dB. Sedangkan nilai BER dipengaruhi oleh jarak base station dan user equipment serta teknik modulasi yang digunakan. Nilai BER terkecil diperoleh ketika menggunakan modulasi QPSK untuk laju data total 3.17 Mbps, yaitu 0.0020.

Kata Kunci: *Mobile WIMAX, model propagasi COST 231 Hata, performansi*

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Teknologi telekomunikasi berkembang pesat seiring meningkatnya kebutuhan untuk memperoleh informasi. Karena peningkatan kebutuhan akan informasi tersebut maka komunikasi nirkabel dengan *data rate* yang tinggi dan mendukung mobilitas diharapkan dapat dikembangkan untuk memenuhi kebutuhan pengguna. Salah satu teknologi komunikasi nirkabel yang dikembangkan untuk mewujudkan hal tersebut adalah *Worldwide Interoperability for Microwave Access* (WIMAX). Teknologi WIMAX adalah bagian dari teknologi *Broadband Wireless Access* (BWA), yaitu teknologi yang mampu memberikan layanan data dengan kecepatan tinggi. WIMAX telah mengalami perkembangan ke arah mobilitas dengan terbentuknya standar IEEE 802.16e yang dikenal dengan *mobile WIMAX*.

Mobile WIMAX yang merupakan bagian dari WBA (*Wireless Broadband Access*) adalah teknologi berstandar dasar IEEE 802.16e yang memungkinkan penggunaan jaringan melalui satu teknologi akses radio dengan cakupan area yang luas dan arsitektur jaringan yang fleksibel. Teknologi ini menggunakan *Orthogonal Frequency Division Multiple Access* (OFDMA) sebagai *air interface* nya. OFDMA merupakan teknik *multiple access* dengan banyak frekuensi (*multicarrier*). Teknik modulasi yang dapat digunakan pada *mobile WIMAX* ini adalah QPSK, 16-QAM, dan 64-QAM. [WIMAX Forum, 2006]

Pada sistem komunikasi nirkabel, informasi dikirim dari antena pemancar menuju antena penerima melalui gelombang elektromagnetik. Kekuatan sinyal gelombang elektromagnetik tersebut melemah saat propagasi melalui lingkungannya. Perbedaan kekuatan sinyal antara antena pemancar dan antena penerima disebut sebagai *pathloss*. *Pathloss* pada antena penerima dapat dihitung menggunakan model propagasi. Ada tiga model propagasi yang dapat digunakan, yaitu model empirik, deterministik, dan stokastik, dimana model empirik merupakan model yang sering digunakan. Model empirik terdiri dari 3 model propagasi, yaitu SUI, COST 231 Hata, dan ECC 33.

Pada penelitian ini akan dianalisis performansi sistem berdasarkan parameter dari jaringan mobile WIMAX dengan menggunakan model propagasi COST 231 Hata untuk menghitung nilai *pathloss* yang kemudian dibandingkan dengan model propagasi yang lain, yaitu ECC 33. Parameter yang dianalisis adalah *bandwidth*, *signal to noise ratio*, dan *bit error rate* terhadap kecepatan pengguna dan perubahan jarak BS dan UE pada kanal *downlink* dengan menggunakan teknik modulasi yang berbeda.

1.2 Rumusan Masalah

Mengacu pada permasalahan yang telah diuraikan dalam latar belakang maka rumusan masalah ditekankan pada :

- 1) Bagaimana perbandingan performansi *bandwidth*, SNR, dan BER pada model propagasi COST 231 Hata dan ECC 33 terhadap pengaruh kecepatan pengguna dengan menggunakan teknik modulasi QPSK, 16-QAM, dan 64-QAM.
- 2) Bagaimana pengaruh perubahan jarak antara *Base Station* dan *user equipment* terhadap perbandingan performansi SNR dan BER *mobile WIMAX* dengan menggunakan model propagasi COST 231 dan ECC 33 serta teknik modulasi QPSK, 16-QAM, dan 64-QAM.

1.3 Batasan Masalah

Penelitian ini membahas analisis perbandingan performansi model propagasi COST 231 Hata dan ECC 33 pada jaringan *mobile WIMAX*. Dengan batasan sebagai berikut :

- 1) Tidak membahas tentang penurunan rumus dari semua rumus yang digunakan.
- 2) Standar WIMAX ini mengacu pada rekomendasi IEEE-802.16e.
- 3) Model propagasi yang digunakan adalah model COST 231 dan ECC 33 untuk daerah *urban outdoor*.
- 4) Hanya membahas kanal *Additive White Gaussian Noise* (AWGN) dan *Rayleigh fading*, teknologi *Orthogonal Frequency Division Multiplexing* (OFDM), serta teknik modulasi sebagai salah satu parameter untuk menganalisa perhitungan performansi dan tidak membahasnya secara spesifik.
- 5) Teknologi *Orthogonal Frequency Division Multiplexing* (OFDM) pada teknik pentransmisiannya.

- 6) Analisis transmisi data dilakukan pada sisi *downlink*.
- 7) Teknik modulasi yang digunakan adalah QPSK, 16QAM, 64QAM.
- 8) Kanal noise yang digunakan untuk uji performansi sistem, yaitu kanal *Additive White Gaussian Noise* (AWGN) dan *Rayleigh fading*,
- 9) Analisis data dilakukan dengan menggunakan *software* Matlab 7.0,
- 10) Parameter sistem OFDMA yang akan dibahas berupa performansi *bandwidth*, *Signal to Noise Ratio* (SNR), serta *Bit Error Rate* (BER).

1.4 Tujuan

Penulisan skripsi ini bertujuan untuk mengkaji tingkat perbandingan performansi model propagasi COST-231 Hata dan ECC 33 pada jaringan *mobile* WIMAX.

1.5 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan yang digunakan dalam penyusunan skripsi ini adalah sebagai berikut:

BAB I : PENDAHULUAN

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

BAB II : TINJAUAN PUSTAKA

Berisi tinjauan pustaka atau dasar teori yang digunakan untuk dasar penelitian yang dilakukan dan untuk mendukung permasalahan yang diungkapkan.

BAB III : METODOLOGI PENELITIAN

Memberikan penjelasan tentang metode yang digunakan dalam skripsi ini, meliputi metode pengambilan data, pengolahan data, dan analisis data.

BAB IV : PEMBAHASAN

Berisi mengenai analisis perhitungan terhadap perbandingan performansi model propagasi COST 231 Hata dan ECC 33 pada jaringan *mobile* WIMAX

BAB V : PENUTUP

Berisi kesimpulan dari hasil analisis perhitungan dan simulasi.



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Standar WIMAX

Standar sistem dari suatu teknologi merupakan salah satu faktor terpenting yang menentukan kesuksesan teknologi tersebut. *Worldwide Interoperability for Microwave Access* (WIMAX) merupakan standar industri yang bertugas menginterkoneksi berbagai standar teknis yang bersifat global menjadi satu kesatuan. Standar WIMAX dibentuk oleh gabungan industri perangkat *wireless* dan *chip-chip* komputer di seluruh dunia. Perusahaan besar ini bergabung dalam suatu forum kerja yang merumuskan standar interkoneksi antar teknologi *broadband wireless access* (BWA) yang mereka miliki pada produk-produknya. Forum kerja tersebut dikenal dengan nama *WIMAX Forum*.

Standar WIMAX yang pertama terbentuk pada bulan Desember 2001, standar tersebut menggunakan *single carrier* dan TDM (*Time Division Multiplexing*). Grup IEEE kemudian membentuk standar 802.16a yang merupakan amandemen dari standar sebelumnya. Standar ini menggunakan teknologi OFDM (*Orthogonal Frequency Division Multiplexing*), bekerja pada pita frekuensi 2-11 GHz, dan mendukung aplikasi NLOS (*Non Line of Sight*). Standar 802.16 terus berkembang sampai akhirnya terbentuk standar IEEE 802.16e pada bulan Desember 2005. Standar ini merupakan standar dari *mobileWIMAX* yang merupakan amandemen standar sebelumnya untuk mendukung aplikasi *mobile*.

Berikut ini adalah keunggulan yang dimiliki *mobileWIMAX* yang tidak didapat pada versi-versi sebelumnya :

- *Coverage* di indoor lebih baik

Dengan sub-kanalisasi dan opsi AAS (*Adaptive Antenna System*), maka 802.16e dapat melayani CPE (*Customer Premise Equipment*) indoor, dimana pelanggan lebih sering dalam kondisi NLOS.

- Mobilitas

Produk 802.16e dikembangkan untuk mendukung mobilitas dan *handoff* pada kecepatan sampai dengan 120 km/jam. Mendukung penghematan daya dan terdapat *mode sleep* dan *idle* untuk menghemat umur baterai.

- Fleksibel
Sub-kanalasi juga membawa pada kemampuan jaringan untuk secara cerdas mengalokasikan sumber daya spektrum pada saat dibutuhkan. Sehingga meningkatkan efisiensi spektrum dan meningkatkan *throughput*.
- Pilihan variasi perangkat pelanggan
Laptop *PCMCIA* card, mini card, *indoor modem*, PDA dan telepon akan muncul sebagai CPE pada 802.16e. Hal ini akan membuat diversifikasi layanan dan segmen pasar pengguna. Dengan potensi besar tersebut, perangkat CPE akan menjadi lebih murah.

2.2 Teknologi Mobile WIMAX

Mobile WIMAX adalah solusi *wireless broadband* yang memungkinkan konvergensi jaringan *mobile* dan *fixed broadband* melalui teknologi *Wide Area Broadband* (WAN) dan arsitektur jaringan fleksibel lainnya. *Air interface* dari *mobile WIMAX* mengadopsi *Orthogonal Frequency Division Multiple Access* (OFDMA) untuk meningkatkan kinerja *multipath* pada lingkungan *Non Line of Sight* (NLOS). *Scalable OFDMA* (SOFDMA) diperkenalkan pada amandemen IEEE 802.16e untuk mendukung *bandwidth* kanal berskala dari 1.25 sampai 20 Mhz. Sistem profil *mobile WIMAX* memungkinkan sistem *mobile* untuk dikonfigurasi berdasarkan fitur dasar umum yang ditetapkan sehingga memastikan fungsi dasar untuk terminal dan BTS yang sepenuhnya *interoperable*.

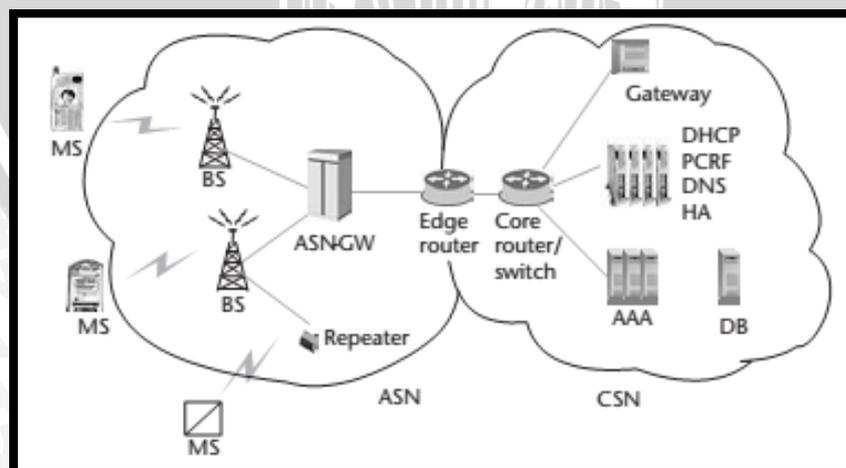
Sistem *mobile WIMAX* menawarkan skalabilitas di kedua teknologi, akses radio maupun arsitektur jaringan, sehingga memberikan banyak fleksibilitas dalam pilihan pengadaan jaringan dan layanan. Beberapa fitur menonjol yang didukung oleh *mobile WIMAX* antara lain:

- *Data rate* yang tinggi : Digunakan nya teknik antena MIMO beserta dengan skema fleksibel *sub-channelization*, pengkodean dan modulasi mutakhir memungkinkan teknologi *mobile WIMAX* untuk mendukung *data rate Downlink* hingga 63 Mbps per sektor dan *data rates Uplink* hingga 28 Mbps per sektor pada kanal 10 MHz.
- Toleransi pada *multipath* dan *self interference* dengan orthogonalitas sub-kanal, baik untuk *downlink* maupun *uplink*

- Skalabilitas : teknologi *mobileWIMAX* dirancang untuk dapat bekerja dalam skala kanalisasi yang berbeda mulai dari 1.25 MHz sampai 20 MHz.
- Sekuritas: didukung dengan beragam aplikasi keamanan dengan ijin pengguna seperti : kartuSIM/USIM, *Smart Card*, SertifikatDigital, dan skemaUsername / Password, karena teknologi ini menggunakan autentifikasi berbasis EAP, enkripsi berbasis AES-CCM dan proteksi pesan berbasis CMAC/HMAC.
- *Hybrid-Automatic Repeat Request (H-ARQ)* memberikan tambahan ketahanan pada cepatnya perubahan kondisi *path* pada pengguna dengan kecepatan tinggi.

2.2.1 Arsitektur *MobileWIMAX*

Arsitektur jaringan dan protokol *mobileWIMAX* yang ditunjukkan Gambar 2.1, dirancang oleh badan khusus berwenang dari WIMAX Forum yang bernama *Network Working Group (NWG)*. NWG mendefinisikan beberapa entity fungsional dalam jaringan *mobileWIMAX* ke dalam tiga grup besar, yaitu : MS/SS (*Mobile Station/Subscriber Station*), ASN (*Access Service Network*) dan CSN (*Connectivity Service Network*). MS adalah *end terminal* dari jaringan, ASN merupakan jaringan akses utama tempat dimana BS (*Base Station*) dan ASN Gateway berada, dan CSN adalah jaringan inti yang menyediakan berbagai fungsi dan server pendukung.



Gambar 2.1. Arsitektur *MobileWIMAX*

(Sumber : Byeong Gi Lee, Sunghyun Choi, 2008)

- **Mobile Station (MS)**

Mobile station atau *subscriber station*(SS) adalah set perangkat *mobile* menyeluruh yang menyediakan konektivitas antara perangkat pelanggan dan *base station* (BS). MS/SS dapat mendukung *single* maupun *multiple host*.

- **Access Service Network(ASN)**

Suatu perangkat lengkap fungsi jaringan yang diperlukan untuk menyediakan akses nirkabel ke pelanggan *mobile WIMAX*. ASN terdiri dari elemen jaringan, satu atau lebih *base station* (BS) dan satu atau lebih *ASN Gateway* (ASN-GW). Di antara komponen ASN, BS adalah entitas logik (bukan entitas fisik) yang merupakan perwujudan bentuk *WIMAX MAC* dan *physical layer* sesuai dengan standar IEEE 802.16, dimana BS *instance* merepresentasikan satu sektor dengan satu penetapan frekuensi. Hal ini juga mencakup fungsi penjadwalan untuk manajemen sumber daya *uplink* dan *downlink*. Untuk setiap MS, BS berkaitan dengan satu ASN-GW, tetapi setiap BS dibutuhkan untuk dihubungkan ke dua atau lebih ASN-GW untuk *load balancing* dan keperluan redundansi.

Di sisi lain, ASN-GW adalah entitas logik yang merepresentasikan penggabungan dari fungsi *control plane*. ASN juga melakukan fungsi *bridging* dan *bearer plan routing*. ASN pada dasarnya menyediakan konektivitas layer 2 (L2) dengan *WIMAX MS*, mentransfer pesan *authentication, authorization, and accounting* (AAA) menuju *home network service provider* (H-NSP), membantu *subscriber network* untuk menemukan dan memilih NSP, dan membantu membangun konektivitas layer 3 (L3) dengan *WIMAX MS*.

- **Connectivity Service Network (CSN)**

CSN adalah suatu perangkat yang menyediakan layanan konektivitas IP kepada pelanggan. CSN memiliki berbagai macam fungsi, termasuk pengalokasian parameter pada MS IP address, mengontrol penerimaan dan pengaturan data, mendukung proses *tunnelling* antara ASN-CSN. Untuk

mendukung fungsi yang beragam tersebut, CSN memiliki *router/switch*, *AAA*, *user database*, dan *interworking gateways*.

Server CSN terdiri dari : Home Agent (HA) untuk manajemen home address, AAA server untuk keamanan dan fungsi perhitungan, DNS server untuk konversi IP address dan penamaan sistem.

2.2.2 Protokol *Mobile WIMAX*

Fungsi-fungsi komunikasi dibagi menjadi suatu rangkaian *layer* yang hierarkis. Masing-masing lapisan menampilkan subrangkaian fungsi-fungsi yang masih berkaitan yang diperlukan untuk berkomunikasi dengan sistem yang lain. Karakteristik standar *mobileWIMAX* ditentukan oleh spesifikasi teknis dari *layer Physical* (PHY) dan *Medium Access control* (MAC). Perbedaan karakteristik kedua *layer* ini akan membedakan varian-variannya.

Physical layer berfungsi untuk mengalirkan data di level fisik. Sedangkan *Medium Access Control layer* berfungsi sebagai penerjemah protocol-protokol yang ada di atasnya seperti ATM, *Ethernet* dan IP. MAC *layer* dibagi lagi menjadi tiga *sub-layer* yaitu *Service Spesific Convergence Sublayer* (SS-CS) yaitu *sublayer* untuk mengakomodasi perkembangan teknologi masa depan, *MAC Common Part Sublayer* dan *Security Sublayer*. MAC *layer* juga berfungsi untuk mengakomodasi *throughput* data kecepatan tinggi melalui *physical layer*.

2.2.2.1 *Physical Layer* (PHY)

Physical layer mengatur hubungan antara perangkat yang berkomunikasi dan bertanggung jawab untuk transmisi urutan bit. *Physical layer* juga mendefinisikan jenis modulasi dan demodulasi serta daya transmisi. *Physical layer Mobile WIMAX* menggunakan dua jenis teknik transmisi OFDM dan OFDMA. Kedua teknik ini memiliki frekuensi di bawah 11 GHz dan menggunakan TDD dan FDD sebagai teknologi *duplexing* nya. Setelah menerapkan OFDM di IEEE 802.16d, OFDMA telah dimasukkan dalam IEEE 802.16e untuk memberikan dukungan dalam kondisi NLOS dan mobilitas. Versi sebelumnya menggunakan 10-66 GHz tetapi versi terbaru telah diperluas untuk menggunakan hingga 2-11 GHz pada *lower bandwidth* nya yang juga mendukung pita frekuensi 10-66 GHz.

Dalam keadaanya di lapangan, kanal *multipath* dan *echo* dari suatu objek akan mengakibatkan perbedaan antara sinyal yang dikirim dengan sinyal yang diterima. Sinyal ini akan mengalami *frequency selective fading* sebagai akibat dari kanal *multipath*. Ketika *single carrier* digunakan untuk mengirimkan *data rate* yang tinggi (periode symbol menjadi singkat), sinyal yang diterima mengalami *delay spread* yang cukup untuk mengakibatkan jatuhnya slot antar symbol menjadi saling tumpang tindih (*intersymbol interference*). Pada kasus ini, *data rate* modulasi *single carrier* yang digunakan dibatasi oleh tipe dari propagasi. Untuk itulah digunakan modulasi *multicarrier* OFDM dan OFDMA untuk meminimalisir kerugian tadi.

2.2.2.2 Data Link Layer / MAC Layer

Tugas dasar MAC layer pada WIMAX adalah untuk menyediakan sebuah antarmuka antara *physical layer* dan *transport layer* bagian atas. Dibutuhkan sebuah paket khusus yang disebut MAC *Service Data Unit* (MSDUs) dari lapisan atas yang membuatnya cocok untuk transmisi melalui udara. Pada mobile WIMAX, terdapat *convergence sub-layer* yang mampu berinteraksi dengan protokol lapisan atas seperti ATM, TDM, Voice dan protokol canggih lainnya. WIMAX MAC memiliki fitur unik untuk mengidentifikasi dan mengalamatkan SS dan BS. Setiap SS membawa 48-bit address IEEE MAC sedangkan BS membawa 48-bit Base Station ID di mana 24-bit digunakan untuk indikator operator. Fitur lainnya adalah, 16-bit CID, 16-bit SAID dan 32-bit SFID.

MAC protocol pada WIMAX memang didesain untuk aplikasi PtMP (*Point to Multipoint*). Mekanisme pengalokasian dipersiapkan untuk menangani SS atau CPE per kanal dan setiap SS dimungkinkan untuk menggunakan secara bersama dengan beberapa pengguna akhir. Digunakan dua jalur berkecepatan data tinggi untuk komunikasi dua arah antara BS dan SS, masing-masing disebut dengan *uplink* (UL) untuk komunikasi menuju BS dan *downlink* (DL) untuk komunikasi dari BS. Secara umum *downlink* ditransmisikan secara broadcast dari BS dan semua SS menerima sinyal *downlink* tersebut tanpa koordinasi langsung antar SS yang ada. Pada penggunaan sistem TDD, ditentukan waktu pancaran untuk *downlink* dan *uplink*.

MAC layer mempunyai karakteristik *connection identifier* (CID). CID digunakan untuk membedakan kanal *uplink* dan lainnya. Dalam mekanisme sambungan

antara SS dengan BS terdapat tiga jenis manajemen sambungan untuk setiap arah, yang masing-masing memerlukan tingkat penanganan QoS yang berbeda. Ketiga sambungan tersebut adalah:

- *Basic Connection*, menjalankan transfer yang relatif singkat, melibatkan *radio link control* (RLC), dan kritis terhadap waktu.
- *Primary Management Connection*, menjalankan transfer relative lama, lebih toleran terhadap *delay*, digunakan tunuk proses otentifikasi dan pengaturan sambungan.
- *Transport Connection*, digunakan untuk pengaturan layanan, QoS dan parameter - parameter trafik.

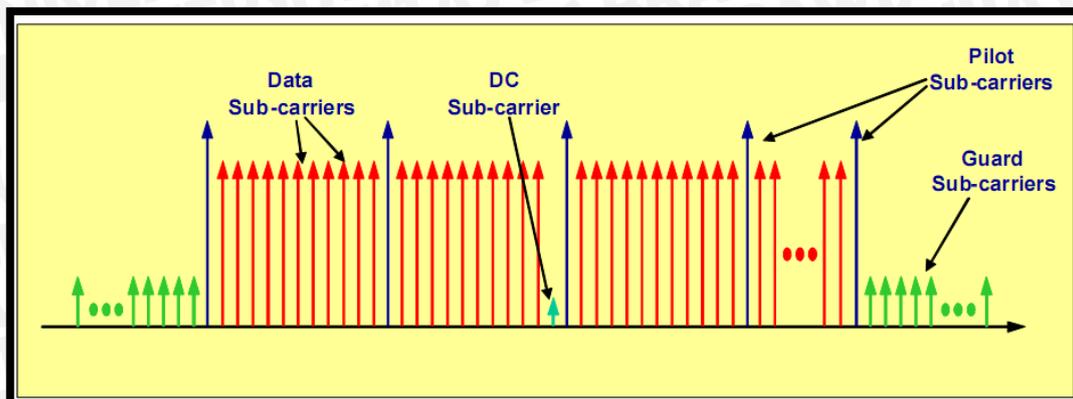
2.3 *Orthogonal Frequency Division Multiple Access (OFDMA)*

Orthogonal Frequency Division Multiple Access (OFDMA) merupakan skema yang baru dari OFDM. OFDMA dikembangkan untuk memberikan kemampuan mobilitas pada OFDM sehingga dapat digunakan untuk sistem seluler. Teknologi ini telah lama digunakan pada ADSL, DVB-H, dan beberapa sistem transmisi digital berkecepatan tinggi lain.

Pada komunikasi *wireless*, masalah yang dihadapi WIMAX adalah banyaknya pengguna pada daerah geografis yang sama meminta kecepatan data yang tinggi dengan *bandwidth* yang terbatas dan latensi yang rendah. Teknik *multiple access* memungkinkan *user* membagi *bandwidth* yang tersedia dengan mengalokasikan beberapa bagian dari sumber daya yang tersedia kepada masing-masing user. Aspek lain yang juga menjadi tantangan yakni berupa mobilitas, sel tetangga dan efisiensi *bandwidth*, menyebabkan implementasi *multiple access* yang rumit. Implementasi dan strategi *multiple access* yang efisien dan fleksibel sangatlah penting untuk menjaga performansi sistem WIMAX.

2.3.1 *Struktur Simbol OFDMA dan Subkanalisasi*

Struktur simbol OFDMA terdiri dari tiga tipe *subcarrier* seperti ditunjukkan Gambar 2.2 :



Gambar 2.2 Struktur sub-carrier OFDMA

(Sumber : WIMAX Forum, 2006)

- Data sub-carrier, yaitu untuk transmisi data
- Pilot sub-carrier, yaitu untuk estimasi dan sinkronisasi
- Null sub-carrier (tidak untuk transmisi) digunakan sebagai guard band

Sub-carrier aktif (data dan pilot) dikelompokkan ke dalam subset dalam subcarrier yang disebut sub kanal. Mobile WIMAX mendukung subkanalisasi untuk DL maupun UL. Unit minimum sumber daya frekuensi waktu dari subkanalisasi adalah satu plot, sama dengan 48 sub carrier. [WIMAX Forum, 2006]

2.3.2 Pembagian Aliran Data pada OFDMA

Prinsip dasar dari sistem OFDMA ini adalah membagi sebuah M laju data yang tinggi (*single high-rate bit stream*) menjadi N laju data rendah. Dalam sistem OFDMA laju transmisi total (R_{total}) yang tersedia dibagi kedalam beberapa subcarrier (R_{sub}) agar dapat mentransmisikan data dengan laju data rendah. Laju transmisi untuk masing-masing subcarrier dari laju transmisi total yang tersedia dapat dinyatakan dengan persamaan berikut :

$$R_{sub} = \frac{R}{N} \tag{2.1}$$

Dengan :

R_{sub} = laju data masing-masing subcarrier (bps)

R = laju data total (bps)

N = jumlah subcarrier

Durasi simbol untuk suatu modulasi pada masing-masing *subcarrier* dinyatakan dengan persamaan : [Tufvesson, 1998]

$$T_{sub} = \frac{\log_2 M}{R_{sub}} = \frac{N \cdot \log_2 M}{R_{tot}} \quad (2.2)$$

Dengan :

T_{sub} = durasi simbol masing-masing *subcarrier*

R_{sub} = laju transmisi masing-masing transmisi

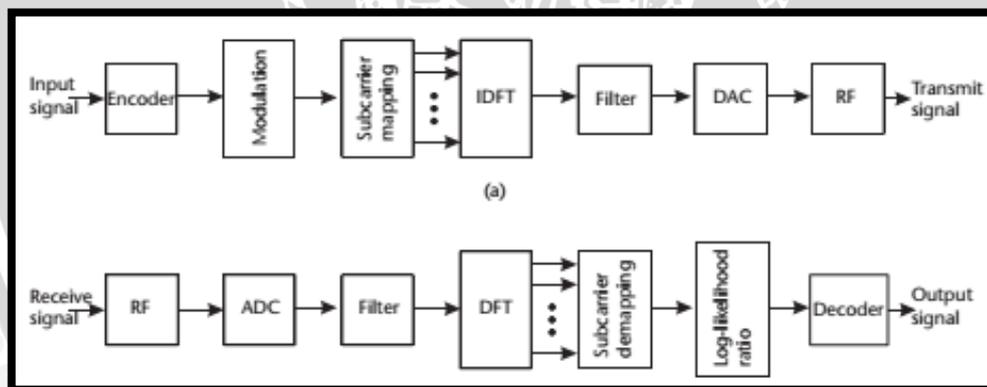
R_{tot} = laju transmisi total (bps)

N = jumlah *subcarrier*

M = jumlah sinyal sesuai modulasi, untuk QPSK nilai $M = 2^2 = 4$, 16-QAM = nilai $M = 2^4 = 16$, dan 64-QAM nilai $M = 2^6 = 24$

2.3.3 Blok Diagram OFDMA

Blok diagram dasar dari pemancar dan penerima OFDMA ditunjukkan pada Gambar 2.3 berikut :



Gambar 2.3 Blok Diagram Pemancar dan Penerima OFDMA

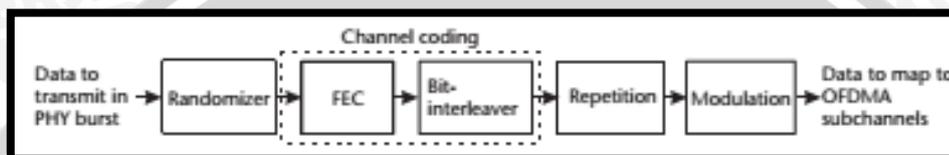
(Sumber : Byeong Gi Lee, Sunghyun Choi, 2008)

Pada sisi *transmitter* input yang berupa sinyal digital atau data MAC, pertama di encoding dan dimodulasi, kemudian dipetakan (*mapped*) ke dalam beberapa OFDMA subcarrier. Hasil sinyal paralel kemudian diubah melalui IDFT, lalu dikonversikan ke dalam bentuk sinyal analog untuk ditransmisikan menggunakan frekuensi RF. Sebaliknya, sisi *receiver*, sinyal RF yang diterima disampling dan difilter, sebelum melalui proses menggunakan DFT. Selanjutnya aliran sinyal paralel yang dialokasikan

ke dalam beberapa *subcarrier*, *didemapped*, *didemodulasi* dan kemudian *didecoding* untuk menghasilkan sinyal output.

2.3.4 Encoding dan Modulasi

Pemrosesan sinyal yang pertama pada OFDMA sisi transmitter, sinyal digital atau data MAC menjalani coding saluran dan proses modulasi. Proses ini diantaranya *randomizing/scrambling*, *forward error correction (FEC)*, *bit interleaving*, *repetition*, dan modulasi seperti yang ditunjukkan gambar 2.4



Gambar 2.4 Blok Diagram proses *Encoding* dan Modulasi

(Sumber : Byeong Gi Lee, Sunghyun Choi, 2008)

Randomizing/Scrambling

Pada proses *randomizing*, input data diinjeksikan ke dalam lapisan fisik berupa *long string* dengan bit sama atau pengulangan dari suatu pola bit yang sama. Sehingga aliran data diacak dengan menggunakan *shift register generator (SRG)*, atau menggunakan *pseudo-random binary sequence (PRBS) generator*, yang terdiri dari *shift register* dan *exclusive-OR (XOR) gates*. Aliran bit *pseudo-random* kemudian digabungkan dengan aliran data MAC melalui gerbang XOR untuk menghasilkan data MAC acak. Proses pengacakan tersebut dilakukan pada mode *frame synchronous*.

Forward Error Correction (FEC)

Forward Error Correction (FEC) merupakan salah satu metode dalam meningkatkan reliabilitas data dalam telekomunikasi data dengan mengoreksi kesalahan bit-bit selama transmisi. Secara garis besar, jenis algoritma FEC dibagi menjadi dua, yaitu: *Block Codes* dan *Convolutional Codes*. Pada standar *mobile WIMAX*, algoritma yang digunakan adalah *convolutional codes (CC)*. Pada rangkaian slot *encoding CC*, data informasi terbagi ke dalam beberapa blok untuk masuk ke slot OFDMA. Slot OFDMA tersebut terangkai bersamaan untuk mengaktifkan blok yang lebih besar untuk dikodekan. Blok yang lebih besar dapat menghasilkan *coding gain* tambahan tetapi pada saat bersamaan juga dapat mengakibatkan *latency* yang besar juga.

BitInterleaving

Interleaving adalah proses *shuffling* bit data yang telah dikodekan secara bergiliran untuk tujuan tertentu. *Interleaving* digunakan untuk melindungi data transmisi dari *long consecutive error*. Saat sinyal ditransmisikan, secara umum sinyal tersebut mengalami *burst error*. *Burst error* ini sulit dideteksi dan dikoreksi di *receiver*. Jika data yang telah dikodekan dilakukan *interleaving*, maka *burst error* yang mungkin terjadi selama transmisi diubah menjadi *random error* ketika dideinterleaved di sisi penerima, yang dapat dideteksi dan dikoreksi setelah proses *decoding*.

Repetition Coding

Repetition coding adalah proses pengulangan slot bit identik sebanyak R kali untuk meningkatkan margin sinyal. Nilai R adalah *repetition factor*. Data yang diperoleh setelah melewati proses FEC dan *interleaving* tersegmentasi menjadi beberapa slot, dan masing-masing kelompok bit ditetapkan agar sesuai dalam slotnya yang kemudian diulang sebanyak R kali. Proses ini membentuk R slot yang berdampingan dengan normal slot yang kemudian dipakai untuk proses *data mapping*.

Modulation

Setelah proses *repetition coding*, dilakukan proses modulasi. Bit data yang telah melalui proses *repetition coding* masuk secara serial ke dalam *constellation mapper* untuk proses modulasi. Semua *interleaved* dan *repeated* bit ditetapkan ke dalam *constellation bits* dimana nilai M untuk masing-masing modulasi adalah 2 untuk QPSK, 4 untuk 16-QAM dan 6 untuk 64-QAM. Kemudian data konstelasi yang telah ditetapkan tersebut dimodulasi ke dalam *subcarrier data*.

2.3.5 Subcarrier Mapping and Transform

Sesuai Gambar 2.3. setelah proses *encoding* dan modulasi dilakukan, output data ditetapkan ke dalam subcarrier OFDMA lalu kemudian dimasukkan melalui proses IDFT atau IFFT. Sehingga data input yang sebelumnya merupakan *frame* yang memiliki

bentuk *domain* frekuensi, setelah melalui proses IDFT berubah ke dalam bentuk *domain* waktu.

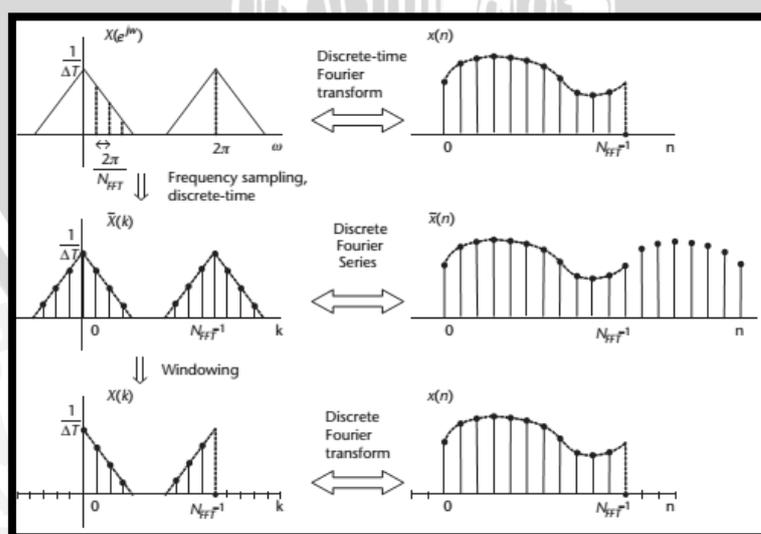
Subcarrier Mapping

Dalam sistem OFDMA, data yang telah dikodekan dan termodulasi dipetakan menjadi beberapa komponen frekuensi yang disebut *subcarrier*. *Subcarrier* dibagi menjadi beberapa bagian yaitu, *datasubcarrier* untuk membawa data pengguna, *pilot subcarrier* untuk estimasi kanal dan fungsi lainnya, dan *null subcarrier* untuk *guard band* dan *DC carrier*, yang tidak ditransmisikan.

Invers Fast Fourier Transform (IFFT) dan Fast Fourier Transform (FFT)

Simbol OFDMA disusun dalam sebuah frame yang diubah dalam bentuk *domain* waktu dengan menggunakan *Invers Fast Fourier Transform* (IFFT). IFFT atau IDFT berfungsi sebagai *modulator*, dimana setiap simbol akan memodulasi frekuensi *subcarrier* yang dibangkitkan oleh blok IFFT. Keluaran dari setiap proses transformasi IFFT akan membuat sebuah deretan simbol OFDMA.

Sedangkan *Fast Fourier Transform* (FFT) berfungsi sebagai *demodulator*, dengan cara mengubah sinyal wilayah waktu ke wilayah frekuensi. Titik FFT diset seperti titik IFFT. Kemudian simbol-simbol disusun kembali sesuai teknik pengalokasian *user* yang digunakan di pemancar. Gambar 2.5 merupakan ilustrasi gelombang time-frequency pada proses IDFT.



Gambar 2.5 Ilustrasi Bentuk Gelombang Time-Frequency pada Proses IDFT

(Sumber : Byeong Gi Lee, Sunghyun Choi, 2008)

Guard Interval dan Cyclic Prefix

Pada komunikasi *wireless* ada salah satu masalah yang terpenting yaitu *delay spread*. *Delay spread* merupakan suatu interval ukuran *delay* masing-masing lintasan yang dilewati sinyal dengan nilai penguatan atau peredaman tertentu. *Delay spread* ini dapat menimbulkan interferensi antar simbol, karena setiap simbol saling bertumpukan dengan simbol sebelum dan sesudahnya. *Delay spread* dapat menimbulkan *Intersymbol Interference (ISI)*.

Pada OFDMA, *delay spread* dapat diatasi dengan menambah panjang simbol OFDMA sehingga melebihi panjang *delay spread*. Dengan bertambahnya panjang simbol OFDMA maka karakteristik kanal dapat berubah sehingga mengakibatkan orthogonalitas antar *subcarrier* dapat hilang dan ISI meningkat. Disisi lain, ISI juga menjadi masalah dengan meningkatnya *bandwidth carrier* dan laju simbol *subcarrier*. Untuk mencegah terjadinya ISI maka pada tiap symbol OFDMA disisipkan *guard interval* secara periodik. Bila panjang *guard interval* melebihi *multipath delay*, maka ISI dapat dihilangkan.

Akan tetapi penggunaan *guard interval* tidak dapat mencegah terjadinya *Interchannel Interference (ICI)* sehingga orthogonalitas antar *subcarrier* tidak mampu dijaga. Untuk mengatasi masalah ini, simbol OFDMA diperpanjang secara *cyclic* dalam *guard interval* atau disebut dengan *cyclic prefix*. Dengan penambahan *cyclic prefix* maka masalah interferensi (ISI dan ICI) yang terjadi pada komunikasi *wireless* dapat diatasi.

Proses penambahan *cyclic prefix* dilakukan pada pemancar terhadap simbol OFDMA. Pada penerima, *cyclic prefix* akan dipisahkan dari simbol OFDMA. Akibat penambahan *cyclic prefix* ini maka total dari durasi simbol OFDMA untuk masing-masing *subcarrier* adalah durasi simbol OFDMA tanpa *cyclic prefix* ditambah durasi *cyclic prefix*.

Bandwidth antar *subcarrier* setelah penambahan *cyclic prefix* sama dengan *invers* dari durasi simbol tanpa *cyclic prefix*. Secara matematis *bandwidth* sistem dari sejumlah *subcarrier* yang digunakan, sesuai pada persamaan : [Hara, 2003]

$$B = \frac{R_{tot} [2(1-\alpha_{cp}) + N - 1]}{(1-\alpha_{cp}) N \log_2 M} \quad (2.3)$$

Dengan :

B = bandwidth sistem (Hz)

R_{tot} = laju data total (bps)

M = jumlah kemungkinan sinyal sesuai modulasi

N = jumlah *subcarrier*

α_{cp} = factor *cyclic prefix*

Pada sisi penerima proses yang dilakukan adalah *remove cyclic prefix*. Proses ini dilakukan untuk memisahkan sinyal sebenarnya dengan *cyclic prefix* yang kemungkinan telah terkena efek ISI dan ICI. Selain itu symbol yang harus diterima oleh stasiun penerima adalah symbol asli tanpa *cyclic prefix*.

Digital to Analog Converter (DAC) dan *Analog to Digital Converter* (ADC)

Pada pemancar, *digital-to-analog converter* (DAC) mengkonversikan sinyal digital OFDMA ke dalam format analog. Sedangkan pada sisi penerima, *analog-to-digital converter* (ADC) menkonversikan sinyal analog OFDMA ke dalam format digital.

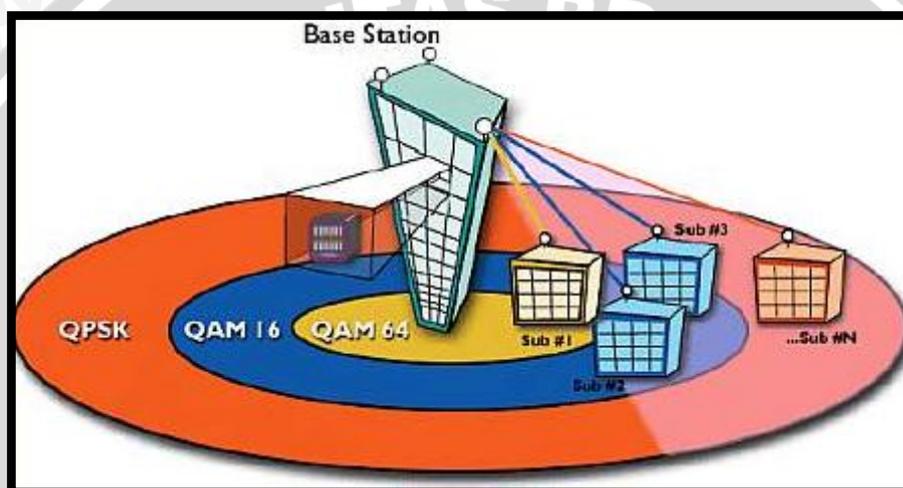
2.4 Modulasi

Modulasi adalah proses pengkodean informasi dari sumber pesan dengan cara yang sesuai dengan proses transmisi. Pada modulasi digunakan sinyal *carrier* yang memiliki nilai frekuensi yang lebih tinggi dibandingkan dengan nilai frekuensi sinyal pesan. Pada umumnya modulasi dapat dilakukan dengan mengubah-ubah amplitudo, fasa, atau frekuensi dari sinyal *carrier* sesuai dengan amplitudo sinyal pesan. Akan tetapi pada perkembangannya teknik modulasi sudah dapat mengkombinasikan perubahan amplitudo, fasa, dan frekuensi dalam suatu teknik modulasi.

Dalam sistem komunikasi *nirkabel*, terdapat sebuah teknik modulasi yang disebut dengan modulasi adaptif. Sistem modulasi adaptif melakukan perubahan jenis modulasi sesuai dengan kondisi *link* radio saat tertentu. Modulasi adaptif secara efektif dapat mengatur keseimbangan akan kebutuhan bandwidth dan kualitas sambungan atau biasanya diukur dengan *Signal to Noise Ratio* (SNR). Sistem modulasi adaptif melakukan perubahan jenis modulasi sesuai dengan kondisi *link* radio saat itu. Jika jarak *user equipment* dengan *base station* dekat, akan menghasilkan redaman kecil

sehinggakualitas sinyal *user equipment* cukup baik maka digunakan modulasi yang lebih tinggi untuk memberikan kapasitas *bandwidth* yang lebih besar. Akan tetapi semakin jauh jarak *user equipment* dengan *base station* yang berarti redaman akan semakin besar, maka sistem modulasinya digeser menjadi lebih rendah untuk menjaga kestabilan dan kualitas sambungan.

Perpindahan modulasi dapat diatur secara otomatis dan dinamis dari 64-QAM, 16-QAM, dan QPSK. Seperti dilihat pada gambar 2.4, jarak yang dekat antara *base station* dan *user equipment* menggunakan teknik modulasi 64-QAM, jarak sedang menggunakan 16-QAM dan jarak yang jauh menggunakan teknik modulasi QPSK.



Gambar 2.6 Sistem Modulasi Adaptif
(Sumber : WIMAX Forum, 2006)

2.4.1 Quadrature Phase Shift Keying (QPSK)

QPSK merupakan bentuk lain dari modulasi *Phase Shift Keying* (PSK). QPSK merupakan teknik modulasi yang merubah atau memodulasikan fasa sinyal *carrier* yang memiliki jumlah fasa sebanyak 4 buah. QPSK mentransmisikan data dua kali lebih cepat karena terdapat dua bit dalam tiap simbolnya. Misalnya fasa 0° merepresentasikan bit 00, fasa 90° merepresentasikan bit 01, fasa 180° merepresentasikan bit 10, dan fasa 270° merepresentasikan bit 11. Pasangan bit-bit yang merepresentasikan masing-masing fasa disebut dibit. Kelemahan dari QPSK yaitu kurang tahan terhadap *noise* dan rawan terjadi interferensi dari sinyal lain.

QPSK memodulasi fasa dengan 2 bit per symbol sehingga symbol satu dengan symbol yang lain berbeda fasa dengan kelipatan $\pi/2$.

2.4.2 *Quadrature Amplitude Modulation (QAM)*

QAM merupakan teknik yang mengkombinasikan teknik *Amplitude Shift Keying* (ASK) dan teknik *Phase Shift Keying* (PSK). Pada QAM, amplitudo dan *phase* sinyal *carrier* berubah terhadap perubahan amplitudo sinyal informasi. Sehingga sinyal direpresentasikan dalam besaran amplitudo dan pergeseran *phase*. Dikatakan *quadrature* karena jumlah minimum *bit* pada tiap simbolnya adalah 2 *bit*. Sehingga dikenal teknik 4-QAM, 8-QAM, 16-QAM, 32-QAM, 64-QAM, 128-QAM, dan 256 QAM tergantung banyaknya jumlah *bit* dalam satu symbol. Tetapi sesuai standar yang telah diterapkan oleh IEEE 802.16e *mobileWIMAX*, teknik QAM yang digunakan pada teknologi *mobileWIMAX* adalah 16-QAM dan 64-QAM. [WIMAX Forum, 2006]

Untuk 16-QAM terdapat 4 bit setiap simbolnya, sehingga disebut juga dengan *quadbit*. Sedangkan untuk 64-QAM terdapat 6 bit pada tiap simbolnya, sehingga disebut juga *hexabit*. Teknik 64-QAM merupakan teknik yang paling cepat mentransmisikan data, karena jumlah *bit* per simbolnya adalah yang tertinggi dibandingkan dengan teknik modulasi digital yang lain, yaitu 6 *bit*.

2.5 Propagasi Gelombang

Propagasi adalah proses perambatan gelombang elektromagnetik dari suatu tempat ke tempat yang lain. Propagasi gelombang elektromagnetik pada umumnya dipengaruhi oleh banyak factor dalam bentuk yang sangat kompleks, diantaranya cuaca, keadaan geografis daerah dan fenomenaluar angkasa yang tidak menentu. Propagasi gelombang elektromagnetik akan mengalami pantulan, difraksi, atau *scattering*, sehingga akan mengalami perubahan nilai amplitudo dan fasa, tergantung dari koefisien refleksi, lintasan, dan sudut datangnya gelombang.

2.5.1 Mekanisme Dasar Propagasi Gelombang

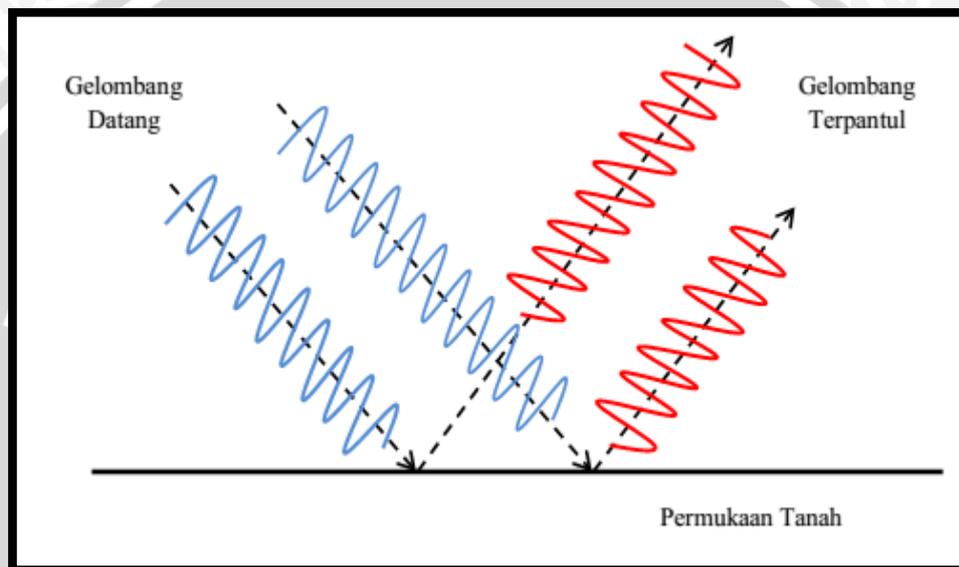
Dalam propagasi gelombang elektromagnetik pada sistem komunikasi *wireless* terdapat empat buah mekanisme, yaitu :

2.5.1.1 Reflection (Pemantulan)

Reflection seperti yang diilustrasikan pada Gambar 2.7, terjadi ketika gelombang elektromagnetik mengenai obyek yang memiliki dimensi lebih besar dibandingkan

dengan panjang gelombang sinyal dari pemancar gelombang. *Reflection* terjadi pada permukaan bumi, bangunan, tembok, dan penghalang yang lain.

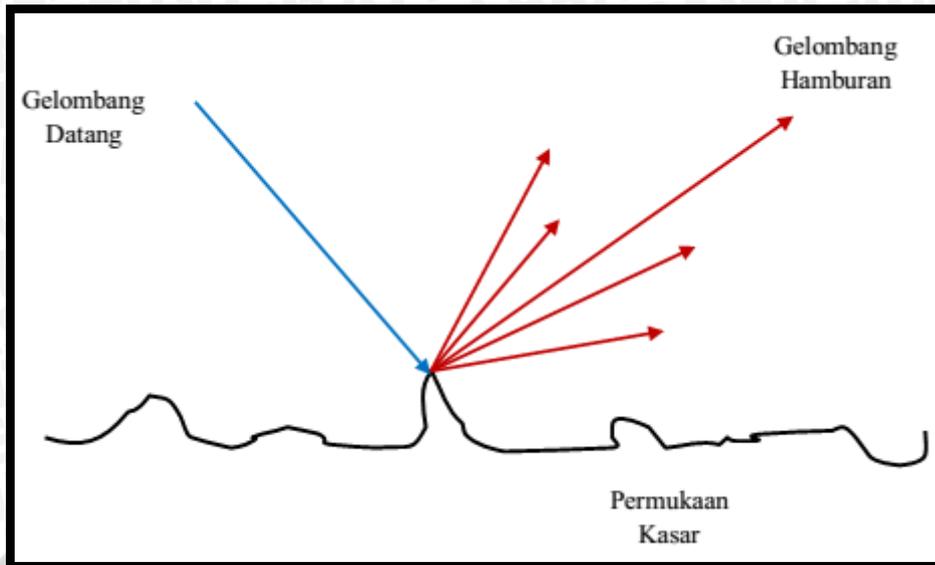
Ketika gelombang radio mengenai bahan dielektrik sempurna, sebagian dari energinya ditransmisikan ke medium kedua, dan sebagian lagi dipantulkan kembali ke medium pertama sehingga tidak ada kehilangan energi karena penyerapan. Jika medium kedua adalah konduktor yang sempurna, maka semua energinya terpantul kembali ke medium pertama tanpa kehilangan energi.



Gambar 2.7 *Reflection* (Pemantulan) Gelombang Elektromagnetik
(Sumber :Sofyan, 2012)

2.5.1.2 *Scattering* (Hamburan)

Scattering terjadi ketika medium dimana gelombang merambat mengandung obyek yang lebih kecil dibandingkan dengan panjang sinyal gelombang tersebut dan jumlah obyek per unit volume sangat besar. Gelombang tersebar dihasilkan dari permukaan kasar, benda kecil, atau obyek seperti tiang lampu dan pohon seperti yang diilustrasikan Gambar 2.8.



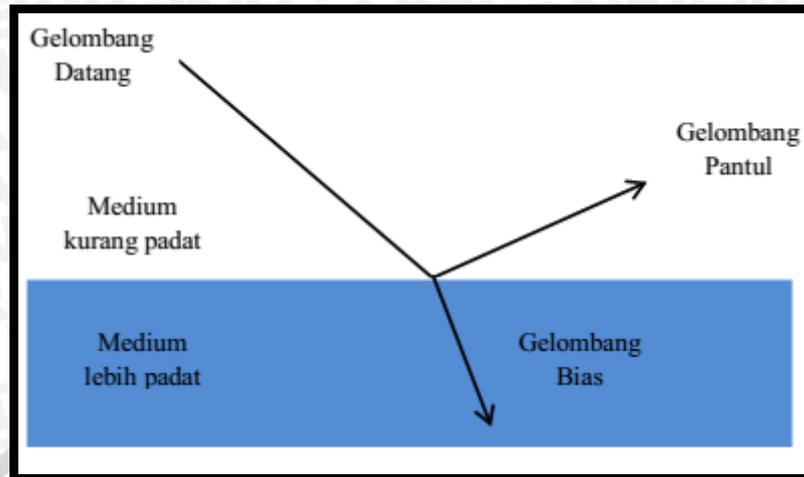
Gambar 2.8 Scattering (Hamburan) Gelombang Elektromagnetik

(Sumber :Sofyan, 2012)

2.5.1.3 Refraction (Pembiasan)

Refraction digambarkan sebagai pembelokan gelombang radio yang melewati medium yang memiliki kepadatan berbeda. Dalam ruang hampa udara, gelombang elektromagnetik merambat pada kecepatan sekitar 300.000 km/detik. Ini adalah nilai konstan c , yang umum disebut dengan kecepatan cahaya tetapi sebenarnya merujuk pada kecepatan cahaya dalam ruang hampa. Dalam udara, air, gelas, dan media transparan, gelombang elektromagnetik merambat pada kecepatan yang lebih rendah dari c .

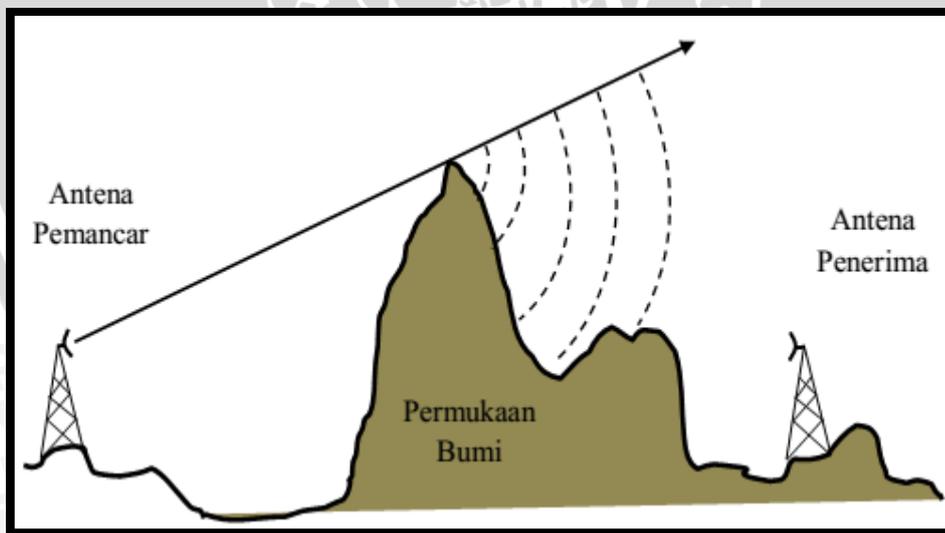
Ketika suatu gelombang elektromagnetik merambat dari satu medium ke medium lain dengan kepadatan berbeda maka kecepatannya akan berubah. Akibatnya adalah pembelokan arah gelombang pada batas kedua medium tersebut. Jika merambat dari medium yang kurang padat ke medium yang lebih padat, maka gelombang akan membelok ke arah medium yang lebih padat seperti yang diilustrasikan pada Gambar 2.9.



Gambar 2.9 *Refraction* (Pembiasan) Gelombang Elektromagnetik
(Sumber :Sofyan, 2012)

2.5.1.4 *Difraction* (Difraksi)

Difraction terjadi ketika garis edar radio antara pengirim dan penerima dihambat oleh permukaan yang tajam atau dengan kata lain kasar seperti yang diilustrasikan pada Gambar 2.10. Pada frekuensi tinggi, difraksi, seperti halnya pada refleksi, tergantung pada ukuran obyek yang menghambat dan amplitudo, fase dan polarisasi dari gelombang pada titik difraksi.



Gambar 2.10 *Difraction* (Difraksi) Gelombang Elektromagnetik
(Sumber :Sofyan, 2012)

2.5.2 Kanal Propagasi

Kanal merupakan suatu media transmisi yang digunakan untuk mentransmisikan informasi dari pemancar ke penerima. Dalam sistem *wireless*, yang tentunya menggunakan medium *wireless*, terdapat dua macam gangguan yang dinilai memiliki efek signifikan terhadap sistem. Gangguan tersebut adalah *noise* dan *fading*. [Gunawan Wibisono, 2008]

- *Noise* atau derau

Noise merupakan gelombang elektromagnetik yang terdapat di alam, dapat bersumber dari matahari, bumi, atmosfer, galaksi, busi kendaraan bermotor, dan lain-lain. Dalam sistem nirkabel, sinyal asli dapat bercampur (ditambahkan) dengan sinyal *noise* ini sehingga *magnitude* sinyal total per satuan waktu merupakan penjumlahan kedua sinyal ini.

- *Fading*

Fading secara definitif adalah penurunan dan fluktuasi daya di sisi receiver. *Fading* menyebabkan suatu kondisi dimana sinyal yang diterima terlalu jelek untuk dilakukan pemrosesan selanjutnya, yaitu demodulasi. Pada proses transmisi, sinyal yang sampai di penerima tidak hanya melewati satu jalur tetapi datang dari berbagai jalur (*multipath*). *Fading* pada sistem komunikasi nirkabel dapat menurunkan kualitas sinyal yang diterima. Beberapa efek *fading* terhadap sinyal diantaranya yaitu :

- Perubahan kuat sinyal secara cepat yang diterima pada jarak dan interval waktu yang singkat.
- Mengakibatkan modulasi frekuensi yang acak yang disebabkan oleh perbedaan sinyal *multipath* berdasar efek *Doppler*.
- *Time dispersion (echo)* yang disebabkan oleh waktu tunda (*delay*) propagasi dari gelombang *multipath*.

Fading juga dapat terjadi walaupun receiver dalam keadaan tetap/diam. Hal ini disebabkan oleh kemungkinan adanya pergerakan dari objek di sekitar receiver. Dalam sistem komunikasi nirkabel, pengaruh *fading* harus diminimalkan.

2.5.3 Kanal Additive White Gaussian Noise (AWGN)

Kanal AWGN adalah kanal ideal yang hanya memiliki *noise* AWGN (*Additive White Gaussian Noise*). Kanal ideal berarti kanal ini tidak menyebabkan *distorsi* (perubahan bentuk sinyal) pada sinyal yang dikirim, satu-satunya alasan melemahnya sinyal disebabkan oleh *noise* AWGN. Kanal ideal memiliki *bandwidth* tidak terbatas dan respon frekuensinya tetap untuk segala frekuensi.

Noise AWGN adalah *noise* yang pasti terjadi dalam jaringan nirkabel manapun, memiliki sifat *additive*, *white*, dan *Gaussian*. Sifat *additive* artinya *noise* ini dijumlahkan dengan sinyal, sifat *white* artinya *noise* tidak bergantung pada frekuensi operasi sistem dan memiliki rapat daya yang konstan, dan sifat *Gaussian* artinya besarnya tegangan *noise* memiliki rapat peluang terdistribusi *Gaussian*. Besarnya daya *noise* AWGN dapat dinyatakan dalam persamaan berikut :

$$N_o = k \times T \times B \quad (2.4)$$

Dengan :

N_o = daya *noise* saluran transmisi (J Hz atau watt)

k = konstanta Boltzman (1.38×10^{-23} J/K)

T = temperatur operasi sistem ($^{\circ}$ K)

B = *bandwidth* (Hz)

2.5.4 Kanal Rayleigh Fading

Kanal *fading* merupakan kanal tidak ideal yang terdapat pada sistem komunikasi nirkabel, yang memiliki keterbatasan *bandwidth* dan menyebabkan *distorsi* pada sinyal yang dikirim. Kanal ini dibuat untuk memperkirakan akibat yang ditimbulkan oleh *multipath fading*. Distribusi yang sering digunakan untuk menjelaskan bentuk selubung sinyal pada kanal *multipath* yaitu distribusi *Rayleigh* sehingga fenomena ini lebih dikenal dengan *Rayleigh Fading Model*.

Pada kanal komunikasi bergerak, distribusi *Rayleigh* biasa digunakan untuk menjelaskan perubahan waktu dari selubung sinyal *fading* datar (*flat fading*) yang diterima atau selubung dari satu komponen *multipath*. Telah diketahui bahwa selubung dari jumlah antara dua sinyal derau *Gaussian* akan membentuk distribusi *Rayleigh*. Distribusi *Rayleigh* digunakan untuk mewakili komunikasi yang sifatnya NLOS (*Non Line Of Sight*). Distribusi *Rayleigh* mempunyai fungsi kerapatan.

Salah satu parameter penting dalam menganalisis karakteristik kanal *fading* yaitu *DopplerShift*. *DopplerShift* disebabkan oleh pergerakan relatif antara pemancar dan penerima dan akibat pergerakan objek-objek pada kanal. Hal ini mengakibatkan adanya pelebaran spektral sinyal yang diterima. Frekuensi *Doppler* maksimum terjadi apabila arah pergerakan relatif user searah dengan arah propagasi sinyal. Untuk perhitungan *Doppler* maksimum ditunjukkan oleh persamaan berikut :

$$f_m = \frac{vf_c}{c} \quad (2.5)$$

Dengan :

f_m = frekuensi *doppler* maksimum (Hz)

f_c = frekuensi *carrier* (Hz)

v = kecepatan pergerakan relatif (m/s)

c = kecepatan gelombang di udara (3×10^8 m/s)

2.6 Model Propagasi

Dalam sistem komunikasi nirkabel, mentransfer informasi dari antenna pemancar dan antenna penerima dilakukan dengan menggunakan gelombang elektromagnetik. Interaksi antara gelombang elektromagnetik dan lingkungan mengurangi kekuatan sinyal kirim dari pemancar ke penerima, yang menyebabkan *pathloss*. *Pathloss* adalah penurunan kekuatan gelombang elektromagnetik karena menyebar melalui ruang bebas. *Pathloss* merupakan komponen utama dalam analisis dan desain *linkbudget* sistem telekomunikasi. Istilah *pathloss* umum digunakan dalam komunikasi nirkabel dan sinyal propagasi. *Pathloss* terjadi karena banyak faktor, seperti *freespace loss*, pembiasan, difraksi, pantulan, hamburan, dan penyerapan. *Pathloss* juga dipengaruhi oleh kontur medan, lingkungan (perkotaan atau pedesaan, *vegetasi* dan dedaunan), propagasi menengah (udara kering atau lembap), jarak antara pemancar dan penerima, dan tinggi serta lokasi antenna.

Model propagasi yang berbeda dapat digunakan untuk menghitung *pathloss*. Model propagasi adalah model estimasi karakteristik kanal. Model propagasi sangat berperan penting dalam perencanaan jaringan nirkabel. Secara umum, model propagasi dikelompokkan menjadi tiga besar, yaitu :

- Model *Empirik*, model yang diturunkan dari hasil pengukuran lapangan dilokasi-lokasi yang dianggap mewakili *sample* lingkungan nirkabel.

- Model *Deterministik*, model yang dikembangkan dari teori propagasi gelombang elektromagnetik dan digunakan untuk perhitungan daya pancar yang ditinjau.
- Model *Stokastik*, model yang menyertakan perubahan acak sebagai representasi kondisi lingkungan yang berubah dari waktu ke waktu dan dari lokasi ke lokasi lain.

Dari ketiga model propagasi di atas, model propagasi empiric merupakan model yang sangat diminati karena kemudahan dalam penggunaan serta toleransi terhadap ketidaktersediaan informasi *terrain*. Yang termasuk dalam model kanal propagasi empiric adalah model ECC-33, COST-231 Hata dan *StanfordUniversityInterim* (SUI).

2.6.1 Model Propagasi COST 231 Hata

Model propagasi COST 231 Hata adalah sebuah model yang banyak digunakan untuk memprediksi *path loss* dalam sistem *wireless mobile*. Model Hata merupakan bentuk ekstensi dari model Okumura-Hata. Model propagasi COST 231 ini merupakan salah satu bentuk dari metode empiris, yaitu pengukuran propagasi pada wilayah geografis yang berbeda dengan menggunakan faktor koreksi empiris. Model ini dirancang untuk digunakan pada pita frekuensi dari 500 MHz sampai 2000 MHz. Dengan tinggi antenna *base station* (BS) 4-50 meter, tinggi antenna *user equipment* 1-3 meter dan jarak BS-UE mencapai 5 km. [Eraldo Damosso and Luis M. Correia, 2009]

Klasifikasi lingkungan suatu lintasan gelombang radio berdasarkan halangan dan tingkat kepadatan halangan dibagi menjadi tiga jenis, yaitu :

a. Daerah Urban

Ciri-ciri daerah urban diantaranya yaitu :

- Banyak terdapat kendaraan yang bergerak, sehingga menyebabkan perubahan karakteristik kanal secara kontinyu.
- Sinyal radio dalam perambatannya mengalami pantulan dengan redaman tertentu.
- Memiliki gedung-gedung tinggi, sehingga kemungkinan terjadinya difraksi pada propagasi sinyal sangat kecil.
- Gedung-gedung yang terdapat di daerah tersebut berkerangka logam dan memiliki beton yang tebal, sehingga membatasi propagasi melalui gedung.

b. Daerah sub-urban

Ciri-ciri daerah sub-urban diantaranya :

- Kecepatan pergerakan kendaraan lebih tinggi dibanding daerah urban.
- Memiliki tingkat halangan yang lebih rendah dibandingkan dengan daerah urban, sehingga propagasi sinyal radio relative lebih baik dan rata-rata kuat sinyal tinggi.
- Memiliki gedung-gedung yang relative rendah, sehingga sinyal radio mengalami difraksi oleh puncak gedung.

c. Daerah rural

Ciri-ciri daerah rural antara lain yaitu :

- Kecepatan pergerakan kendaraan sangat tinggi
- Jarang terdapat halangan, sehingga kuat sinyal yang diterima akan lebih besar dibanding daerah urban atau sub-urban.
- Memiliki ruas jalan yang lebar.

Persamaan untuk *pathloss* menggunakan model propagasi COST 231 Hata berdasarkan kondisi NLOS dalam dB adalah : [Fernando Perez dan P. Marino Espinera, 2008]

$$PL = 46,3 + 33,9 \log_{10}(f) - 13,82 \log_{10}(h_b) - ah_r + (44,9 - 6,55 \log_{10}(h_b)) \log_{10} d + c_m \quad (2.6)$$

Nilai ah_r diperoleh dari persamaan :

$$ah_r = 3.20(\log_{10}(11.75hr))^2 - 4.79 \quad (2.7)$$

Dengan :

PL = redaman propagasi (dB)

ah_r = faktor koreksi untuk tinggi antenna penerima

f = frekuensi operasi (MHz)

d = jarak antara antenna pemancar dan penerima (km)

h_b =tinggi antenna pemancar (m)

c_m = faktor koreksi

2.6.2 Model Propagasi ECC33

Hata-Okumura Model secara luas digunakan untuk band UHF, tetapi model tersebut masih dipertanyakan ketelitiannya untuk frekuensi yang lebih tinggi. Teknik pendekatan yang berbeda kemudian dikembangkan oleh Electronic Communication Committee (ECC) dari pengukuran awal yang dilakukan oleh Okumura. Model ini dirancang untuk digunakan pada pita frekuensi hingga 3000 MHz. Dengan tinggi antenna *base station* (BS) 30-200 meter, tinggi antenna *user equipment* 1-10 meter dan jarak BS-UE mencapai 20 km. [Mohammad Shajahan dan A.Q.M. Abdulla Hes Shafi, 2009]

Persamaan untuk perhitungan nilai *path loss* menggunakan model propagasi ECC 33 berdasarkan kondisi NLOS dalam dB adalah : [Mohammad Shajahan dan A.Q.M. Abdulla Hes Shafi, 2009]

$$PL = A_{fs} + A_{bm} - G_b - G_r \quad (2.8)$$

Dengan :

PL = redaman propagasi (db)

A_{fs} = *free space attenuation* (dB)

A_{bm} = *Basic medium path loss*

G_b = faktor gain tinggi antena pengirim

G_r =faktor gain tinggi antena penerima

free space attenuation (A_{fs}) diperoleh dari persamaan :

$$A_{fs} = 92.4 + 20\log_{10}(d) + 20\log_{10}(f_c) \quad (2.9)$$

Dengan :

d = jarak antara pengirim (BS) dengan penerima (UE) (km)

f_c = frekuensi kerja (GHz)

Basic medium pathloss (A_{bm}) diperoleh dari persamaan :

$$A_{bm} = 20.41 + 9.83 \log_{10}(d) + 7.894 \log_{10}(f_c) + 9.56 [\log_{10}(f_c)]^2 \quad (2.10)$$

Dengan :

d = jarak antara pengirim (BS) dengan penerima (UE) (km)

f_c = frekuensi kerja (GHz)

faktorgain antenna pengirim dinyatakan dengan persamaan :

$$G_b = \log_{10}\left(\frac{h_b}{200}\right) \{13.958 + 5.8[\log_{10}(d)]^2\} \quad (2.11)$$

Dengan :

G_b = faktor gain antenna pengirim

d = jarak antara pengirim (BS) dengan penerima (UE) (km)

h_b = tinggi antenna pengirim (m)

faktorgain antenna penerima dinyatakan dengan persamaan :

$$G_r = 0.759h_r - 1.862 \quad (2.12)$$

Dengan :

G_r = faktor gain antenna penerima

h_r = tinggi antenna penerima (m)

2.7 Parameter Performansi Sistem

Beberapa parameter performansi sistem yang dibahas dalam skripsi ini antara lain sebagai berikut :

2.7.1 Bandwidth Sistem

Bandwidth merupakan luas atau lebar cakupan frekuensi yang digunakan oleh sinyal OFDMA dalam medium transmisi. Untuk menghitung nilai bandwidth sistem dari sejumlah subcarrier dapat digunakan persamaan sebagai berikut :

$$B_{sistem} = \frac{R_{tot} [2(1-\alpha_{cp}) + N-1]}{(1-\alpha_{cp})N \log_2 M} \quad (2.13)$$

Dengan :

B_{sistem} =bandwidth sistem (Hz)

R_{tot} =laju data total (bps)

M =jumlah kemungkinan sinyal sesuai teknik modulasi

N =jumlah *subcarrier*

α_{cp} =faktor *cyclicprefix*

2.7.2 Signal to Noise Ratio (SNR)

Signal to Noise Ratio (SNR) adalah perbandingan antara sinyal yang dikirim terhadap *noise*. SNR digunakan untuk mengetahui besarnya pengaruh redaman sinyal terhadap sinyal yang ditransmisikan. SNR dapat dihitung dengan menggunakan persamaan : [E. Glatz,1999]

$$SNR_{(db)} = P_r \text{ (dBm)} - N_o \text{ (dBm)} \quad (2.14)$$

Dengan :

SNR = *Signal to Noise Ratio*(dB)

P_r = daya yang diterima (dBm)

N_o = daya *noise* saluran transmisi (dbm)

Daya yang diterima *receiver* (P_r) dipengaruhi oleh propagasi sinyal dari pemancar ke penerima. Daya terima dapat dinyatakan dalam persamaan : [Wang, 2004]

$$P_r = P_t + G_t + G_r - P_L - 10 \log_{10} (N) \quad (2.15)$$

Dengan:

P_r =daya terima (dBm)

P_t =daya pancar (dBm)

G_t = gain antenna pemancar (dBi)

G_r =gain antenna penerima (dBi)

P_L =rugi-rugi propagasi (dB)

N =jumlah *subcarrier*

Untuk perhitungan daya *noise* dinyatakan dengan persamaan : [E. Glatz, 1999]

$$N_o = 10\log_{10}(kT) + 10\log_{10}(B_{sistem}) + NF \quad (2.16)$$

Dengan :

N_o = daya *noise* saluran transmisi (dBm)

k = konstanta Boltzman (1.38×10^{-23} J/K)

T = suhu *absolute*(300°K)

B_{sistem} =*bandwidth*sistem (Hz)

NF = *noise figure* (dB)

Dan untuk nilai SNR_{sistem} yang menggunakan *air interface* OFDMA diperoleh dari persamaan : [Hara, 2003]

$$SNR_{sistem} = (1 - \alpha_{cp})SNR \quad (2.17)$$

Dengan :

SNR_{sistem} =*signal to noise ratio system* (dB)

SNR = *signal to noise ratio* (db)

α_{cp} = factor *cyclic prefix*

2.7.3 Energy Bit to Noise Ratio (E_b/N_o)

E_b/N_o adalah suatu parameter penting dalam komunikasi digital. Parameter ini berhubungan dengan SNR yang biasanya digunakan untuk memenuhi laju data digital dan sebagai ukuran mutu standar untuk kinerja sistem komunikasi digital. Secara harfiah, E_b/N_o dapat didefinisikan sebagai perbandingan energi sinyal per *bit* terhadap *noise* (disebut juga SNR per bit).

Perhitungan E_b/N_o , terutama digunakan ketika akan menentukan performansi *Bit Error Rate* (BER) pada skema modulasi digital yang berbeda. Energi per bit dalam sebuah sinyal dijelaskan dalam persamaan : [Barry, 2003]

$$E_b/N_o = SNR_{sistem} + 10\log_{10}\frac{B}{R} \quad (2.18)$$

Dengan :

E_b/N_o =rasio energy *bit* terhadap noise (dB)

SNR_{sistem} = *Signal to Noise Ratiosistem* (dB)

B = *bandwidthsistem* (Hz)

R = laju data total (bps)

2.7.4 *Bit Error Rate (BER)*

BER atau dengan sebutan lain probabilitas *error bit* merupakan nilai ukur kualitas sinyal yang diterima untuk sistem transmisi data digital. BER juga dapat didefinisikan sebagai perbandingan jumlah *error bit* terhadap total bit yang diterima. Pada *mobileWIMAX* terdapat tiga macam teknik modulasi yang digunakan baik disisi uplink maupun downlink, yaitu QPSK, 16-QAM, dan 64-QAM. Besarnya nilai BER (P_b) untuk masing-masing teknik modulasi dituliskan dalam persamaan : [Hara, 2003]

a. QPSK

$$P_{b(QPSK)} = \frac{1}{2} \left[1 - \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{1}{E_b/N_o}}} \right] \quad (2.19)$$

Dengan :

$P_{b(QPSK)}$ = probabilitas *bit error* pada saat transmisi menggunakan modulasi QPSK

E_b/N_o = rasio energy *bit* terhadap noise (dB)

b. 16-QAM

$$P_{b(16-QAM)} = \frac{3}{8} \left[1 - \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{5}{2(E_b/N_o)}}} \right] \quad (2.20)$$

Dengan :

$P_{b(16-QAM)}$ = probabilitas *bit error* pada saat transmisi menggunakan modulasi 16-QAM

E_b/N_o = rasio energy *bit* terhadap noise (dB)

c. 64-QAM

$$P_{b(64-QAM)} = \frac{7}{24} \left[1 - \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{7}{2(E_b/N_o)}}} \right] \quad (2.21)$$

Dengan :

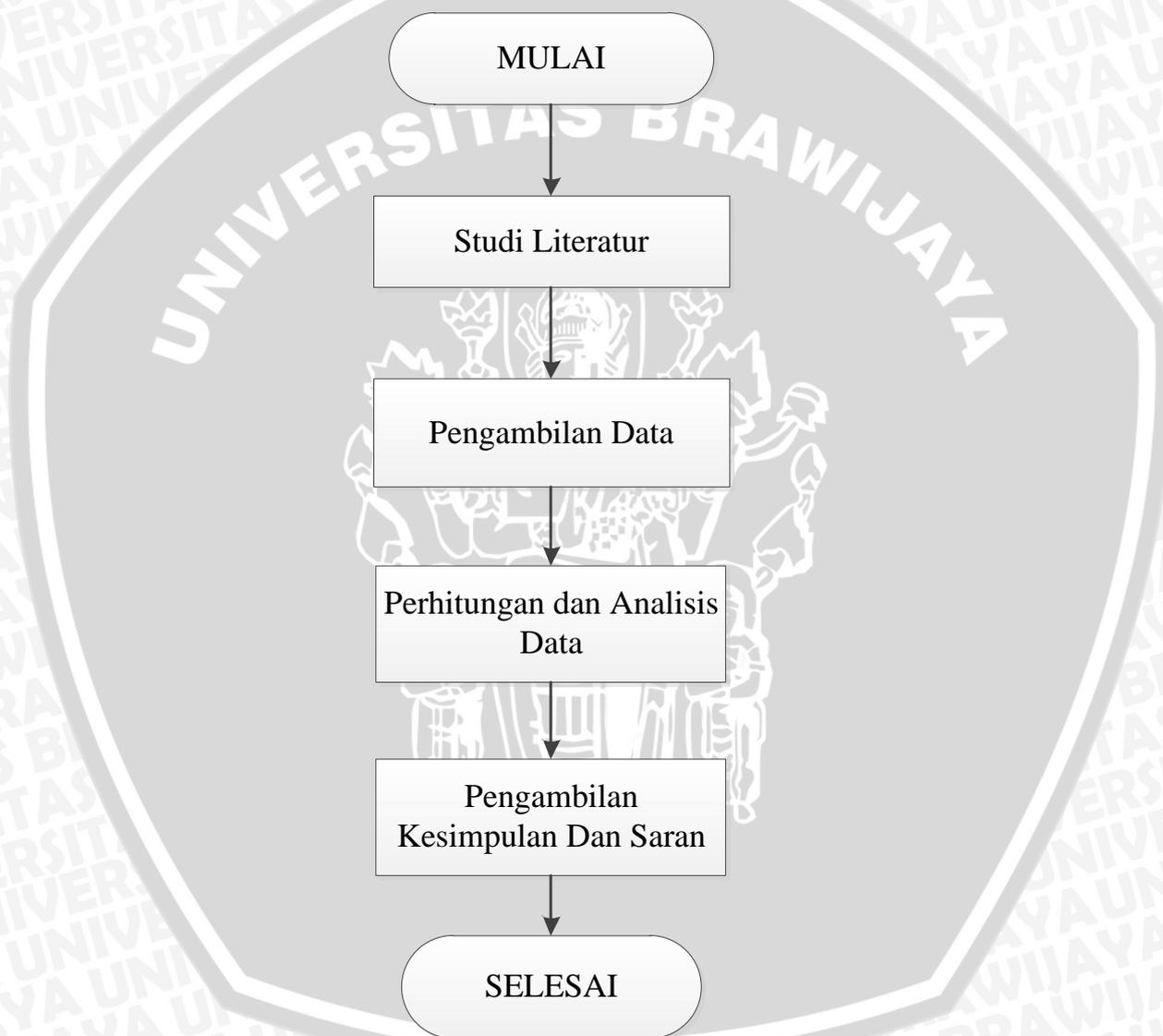
$P_{b(64-QAM)}$ = probabilitas *bit error* pada saat transmisi menggunakan modulasi 64-QAM

E_b/N_o = rasio *energy bit* terhadap *noise* (dB)



BAB III METODE PENELITIAN

Kajian yang digunakan dalam skripsi ini adalah kajian yang bersifat analisis, yaitu tentang analisis perbandingan 2 model propagasi pada jaringan *mobile* WIMAX dengan perhitungan. Metodologi yang digunakan dalam penulisan skripsi ini adalah :



Gambar 3.1. Diagram Alir Langkah Penyusunan Skripsi
(Sumber : Perancangan)

3.1 Studi Literatur

Melakukan kajian pustaka yang bertujuan untuk memahami konsep-konsep yang berkaitan dengan permasalahan yang akan dikaji dalam skripsi ini untuk mendukung tahap selanjutnya yaitu pengambilan data. Studi literatur juga digunakan untuk mendapatkan pembahasan dari rumusan masalah mengenai 2 model propagasi yang digunakan, yaitu : COST 231 Hata dan ECC 33 serta pengaruh kecepatan pengguna, dan pengaruh perubahan jarak antara *base station* dengan *user equipment* pada kinerja sistem *mobile WIMAX*. Studi literatur yang dilakukan adalah mengenai karakteristik, parameter, serta teori pengantar lain yang menunjang dalam penulisan skripsi ini.

3.2 Pengambilan Data

Data-data yang diperlukan pada skripsi ini berupa data sekunder. Data sekunder adalah data yang bersumber dari buku referensi, jurnal, skripsi, internet, dan forum-forum resmi mengenai *mobile WIMAX* dan model propagasi. Data sekunder yang digunakan dalam pembahasan skripsi ini meliputi :

- a. Spesifikasi dan arsitektur jaringan *mobile WIMAX* berdasarkan standar internasional IEEE dengan spesifikasi 802.16e.
- b. Teori dari 2 model propagasi yang digunakan, yaitu : COST 231 Hata dan ECC 33
- c. Teori performansi sistem pada *mobile WIMAX* yang meliputi *bandwidth*, BER, dan SNR

3.3 Perhitungan dan Analisis Data

Metode perhitungan dan analisis data yang digunakan dalam pembahasan skripsi ini adalah mengumpulkan beberapa nilai parameter dari data sekunder yang sesuai dengan standar IEEE 802.16e. Parameter-parameter yang diperoleh digunakan untuk analisis berdasarkan rumusan masalah yang telah diuraikan sebelumnya. Perhitungan dalam skripsi ini menggunakan *software* Matlab 7.0.4 untuk mempermudah dalam proses perhitungan dan penyajian. Perhitungan dan analisis data yang dilakukan dalam skripsi ini meliputi performansi sebagai berikut :

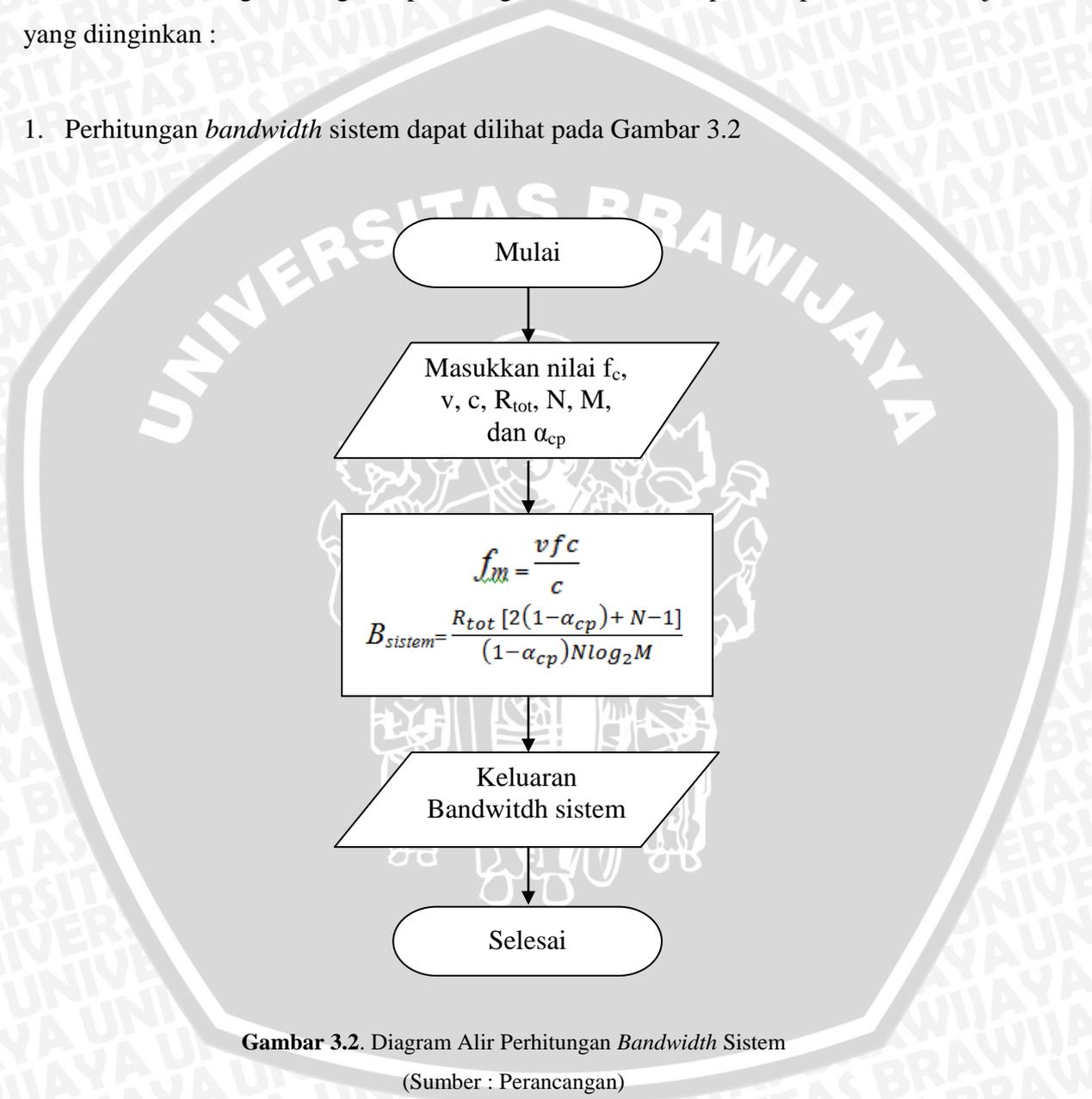
- a. *Bandwidth* sistem
- b. *Signal to Noise Ratio* (SNR), dan

c. *Bit Error Rate (BER)*

Variabel bebas yang digunakan dalam skripsi ini adalah kecepatan pengguna dan jarak *base station* terhadap *user equipment*, tipe modulasi yang digunakan serta model propagasi yang dibandingkan.

Berikut langkah-langkah perhitungan untuk mendapatkan parameter kinerja yang diinginkan :

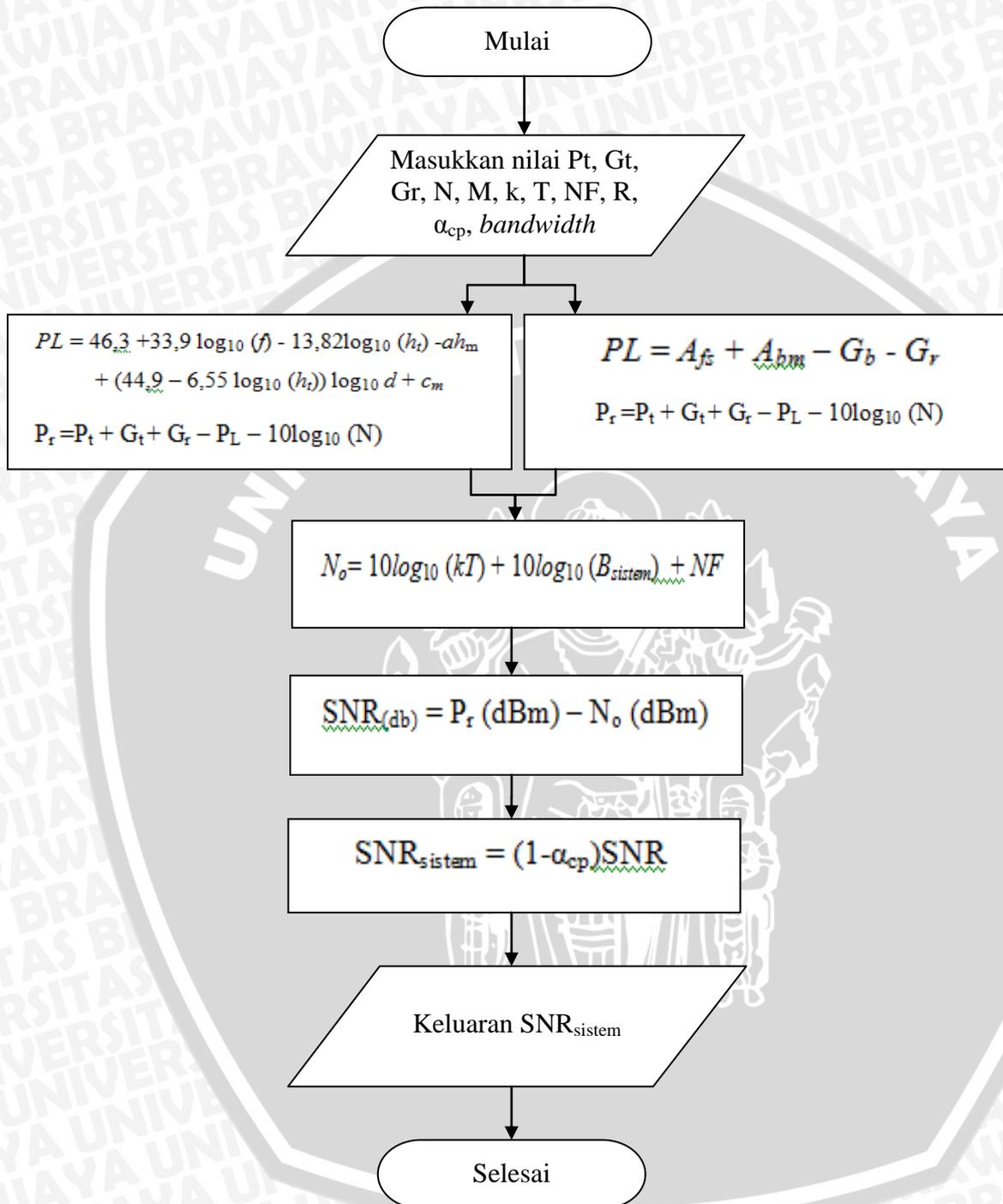
1. Perhitungan *bandwidth* sistem dapat dilihat pada Gambar 3.2



Gambar 3.2. Diagram Alir Perhitungan *Bandwidth* Sistem

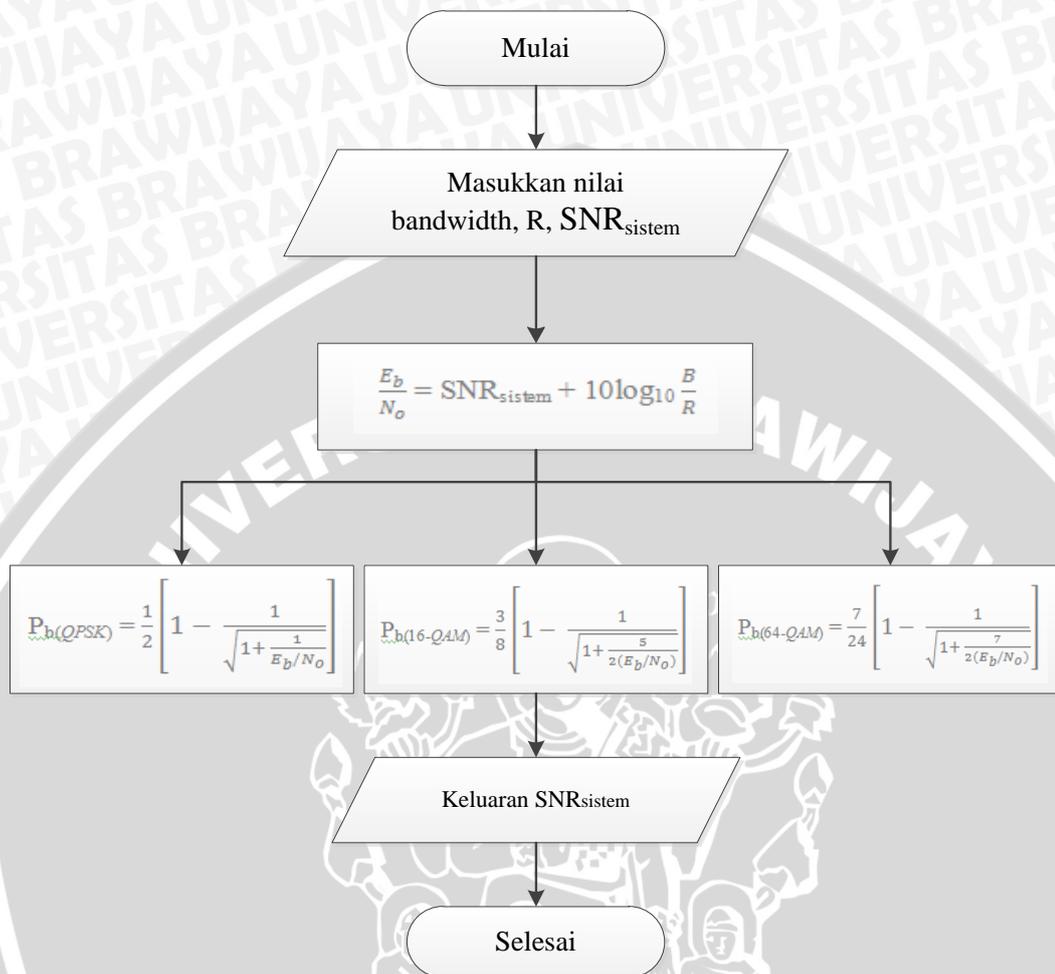
(Sumber : Perancangan)

2. Perhitungan *Signal to Noise Ratio* (SNR) dapat dilihat pada Gambar 3.3



Gambar 3.3 Diagram Alir Perhitungan SNR sistem
(Sumber : Perancangan)

3. Perhitungan *Bit Error Rate* (BER) dapat dilihat pada Gambar 3.4



Gambar 3.4. Diagram Alir Perhitungan BER sistem
(Sumber : Perancangan)

3.4 Pengambilan Kesimpulan dan Saran

Kesimpulan merupakan ringkasan akhir dari pemecahan masalah. Pada tahapan ini dilakukan pengambilan kesimpulan berdasarkan teori, hasil perhitungan yang telah dilakukan terhadap kinerja *mobile* WIMAX menggunakan model propagasi COST 231 Hata dan ECC 33 untuk menjawab rumusan masalah yang telah dibuat. Setelah kesimpulan didapat, maka saran akan digunakan untuk memperbaiki kekurangan terjadi di laporan ini.

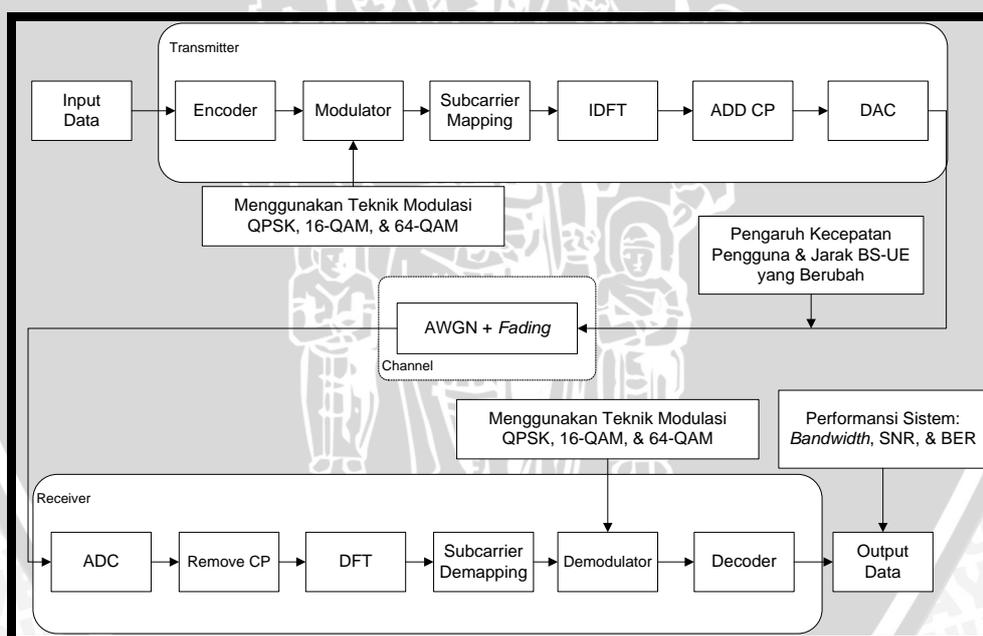


BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Tinjauan Umum

Teknik pentransmisian *mobile* WiMAX yang digunakan dalam analisis ini adalah *Orthogonal Frequency Division Multiple Access* (OFDMA) pada arah *downlink*. Analisis yang dibahas mengenai perhitungan pengaruh kecepatan pengguna dan jumlah pengguna pada performansi sistem *mobile* Wimax, dengan menggunakan model propagasi COST 231 Hata untuk perhitungan *pathloss*-nyadengan kanal *noise* AWGN dan *Rayleigh Fading*. Parameter performansi yang akan diamati adalah *bandwidth*, *Signal to Noise Ratio* (SNR) dan *Bit Error Rate* (BER). Untuk teknik modulasinya menggunakan QPSK, 16-QAM, dan 64-QAM. Gambar 4.1. menunjukkan blok diagram sistem yang akan dianalisis dalam penelitian ini.



Gambar 4.1. Blok Diagram Konfigurasi Sistem pada Mobile WIMAX

(Sumber :Perencanaan, 2013)

Kecepatan pengguna yang digunakan dalam penelitian ini diasumsikan bergerak secara konstan yaitu 5 km/jam, 60 km/jam dan 100 km/jam. Metode analisis yang digunakan dalam penelitian ini adalah analisis matematis, yaitu dilakukan dengan

mengumpulkan nilai-nilai parameter yang berupa data sekunder serta melakukan perhitungan menggunakan persamaan-persamaan yang telah dijelaskan pada Bab II.

Mobile WiMAX menggunakan teknologi *Scalable Orthogonal Frequency Division Multiple Access* (SOFDMA), yaitu suatu teknik modulasi *multicarrier* yang menggunakan subkanalisasi. Pada skripsi ini parameter *Scalable OFDMA* yang digunakan sesuai dengan Tabel 4.1

Tabel 4.1. Parameter *Scalable OFDMA*

Parameter	Nilai
<i>Bandwidth Channel System (MHz)</i>	5
<i>Symbol Rate (F_p in MHz)</i>	5.6
<i>FFT Size (N_{FFT})</i>	512
<i>Subcarrier Frequency Spacing</i>	10.94 kHz
<i>Useful Symbol Time ($T_s = 1/f$)</i>	91.4 μ s
<i>Guard Time ($T_g = T_b/8$)</i>	11.4 μ s
<i>OFDMA Symbol Duration ($T_s = T_b + T_g$)</i>	102.9 μ s
<i>Number of OFDMA Symbol (5 ms frame)</i>	48

(Sumber :WIMAX Forum, 2006)

Sedangkan untuk laju data pada kanal *bandwidth* 5 MHz sesuai dengan teknik modulasi yang digunakan, ditunjukkan Tabel 4.2.

Tabel 4.2. Parameter Laju Data *Mobile WiMAX*

Modulasi	Laju Data (Mbps) pada <i>Bandwidth</i> Kanal 5 MHz
QPSK	3.17
	4.75
16-QAM	6.34
	9.5
64-QAM	9.5
	14.26

(Sumber :WIMAX Forum, 2006)

4.2 Analisis Bandwidth Sistem Mobile Wimax dengan Teknik Modulasi Adaptif

Pada sub-bab ini akan dianalisis *bandwidth* sistem terhadap kecepatan pengguna yang bervariasi. Dalam skripsi ini, pengguna diasumsikan bergerak dengan kecepatan konstan yaitu pada kecepatan 5 km/jam, 60 km/jam, 100 km/jam. Teknik modulasi yang digunakan adalah QPSK, 16-QAM dan 64-QAM dengan total laju data yang berbeda sesuai dengan parameter *data rate mobile* WiMAX pada Tabel 4.2. Sistem OFDMA yang digunakan pada *mobile* WiMAX dapat menjaga setiap *subcarrier* yang satu dengan yang lain agar tetap *orthogonal* dan mencegah terjadinya interferensi (ISI dan ICI) pada sistem, dengan menggunakan *cyclic prefix* (CP). *Cyclic prefix* (CP) merupakan duplikat bagian akhir dari simbol OFDMA untuk menghilangkan *delay spread* yang terjadi antar data yang saling tumpang tindih. Berdasarkan aturan yang telah ditetapkan bahwa *delay spread* tidak boleh melebihi 10% dari panjang simbol OFDMA agar nilai BER tetap kecil yakni bernilai 10^{-3} bahkan kurang. Dengan demikian interval CP harus lebih besar atau sama dengan *delay spread* maksimum ($T_{cp} \geq 2\pi$) agar orthogonalitas antar *subcarrier* tetap terjaga. Pada model OFDMA untuk standar IEEE 802.16, dinyatakan bahwa panjang simbol 102.9 μ s dengan durasi simbol 91.4 μ s, sehingga panjang CP yang digunakan untuk analisis skripsi ini adalah :

$$\alpha_{cp} = \frac{T_{CP}}{T_b} = \frac{(T_s - T_b)}{T_b} = \frac{(102.9 - 91.4)}{91.4} = \frac{1}{8} = 12.5 \%$$

CP yang digunakan adalah 1/8 (12.5%) dari durasi simbol OFDMA untuk menoleransi *delay spread* mencapai 11.4 μ s, berdasarkan model OFDMA pada standar IEEE 802.16. [Kwang-Cheng Chen, 2008]

Berdasarkan tabel 4.2. dengan menggunakan teknik QPSK, laju data pada *bandwidth* kanal 5 MHz yang digunakan adalah 3.17 Mbps dan jumlah *subcarrier* 512, maka diperoleh laju data untuk tiap *subcarrier* yang dihitung dengan Persamaan (2.1), sebesar :

$$R_{sub} = \frac{R_{tot}}{N}$$
$$R_{sub} = \frac{3.17 \text{ Mbps}}{512} = 0.0062 \text{ Mbps}$$

Dengan menggunakan cara yang sama, dapat diperoleh nilai laju data masing-masing *subcarrier* untuk total laju data yang lain, seperti yang ditunjukkan pada Tabel 4.3

Tabel 4.3 Hasil Perhitungan Laju Data masing-masing *Subcarrier*

Modulasi	Laju Data (Mbps) masing-masing <i>Subcarrier</i>
QPSK	0.0062
	0.0093
16-QAM	0.0124
	0.0186
64-QAM	0.0186
	0.0279

(Sumber : Hasil Perhitungan, 2014)

Untuk durasi tiap *subcarrier* dengan nilai M pada QPSK adalah $2^2 = 4$ dihitung menggunakan persamaan (2.2), sebesar :

$$T_{sub} = \frac{2}{R_{sub}}$$

$$T_{sub} = \frac{2}{0.0062 \times 10^6} = 323.0284 \mu s$$

Dengan menggunakan cara yang sama dapat diperoleh nilai durasi masing-masing *subcarrier* untuk total laju data yang lain, seperti yang ditunjukkan pada Tabel 4.4.

Tabel 4.4 Hasil Perhitungan Durasi masing-masing *Subcarrier*

Modulasi	T_{sub} (μs)
QPSK	323.0284
	215.5789
16-QAM	323.0284
	215.5789
64-QAM	323.3684
	215.4278

(Sumber : Hasil Perhitungan, 2012)

Dibutuhkan *cyclic prefix* untuk mencegah terjadinya *intersymbol interference* dan *interchannel interference* pada *subcarrier-subcarrier* yang saling tumpang tindih. Durasi CP sebesar 12.5% dari durasi *subcarrier*, sehingga :

$$T_{cp} = 0.125 \times T_{sub}$$

$$T_{cp} = 0.125 \times (323.0284 \times 10^{-6}) = 40.3785 \mu s$$

Dengan menggunakan cara yang sama dapat diperoleh nilai durasi *cyclic prefix* masing-masing subcarrier untuk total laju data yang lain, seperti yang ditunjukkan pada Tabel 4.5.

Tabel 4.5 Hasil Perhitungan Durasi *Cyclic Prefix* masing-masing *Subcarrier*

Modulasi	T _{CP} (μs)
QPSK	40.3785
	26.9474
16-QAM	40.3785
	26.9474
64-QAM	40.4211
	26.9285

(Sumber : Hasil Perhitungan, 2014)

Sehingga durasi simbol OFDMA diperoleh :

$$T_s = T_{sub} - T_{cp}$$

$$T_s = (323.0284 - 40.3785) \times 10^{-6} = 282.6499 \mu s$$

Dengan menggunakan cara yang sama dapat diperoleh nilai durasi simbol OFDMA masing-masing subcarrier untuk total laju data yang lain, seperti yang ditunjukkan pada Tabel 4.6.

Tabel 4.6. Hasil Perhitungan Durasi Simbol masing-masing *Subcarrier*

Modulasi	T_s (μ s)
QPSK	282.6499
	188.6316
16-QAM	282.6499
	188.6316
64-QAM	282.9473
	188.4993

(Sumber : Hasil Perhitungan, 2014)

Dari Tabel 4.6. dapat diketahui bahwa semakin besar nilai laju data yang digunakan maka semakin pendek durasi simbol yang akan ditransmisikan, begitu pula sebaliknya.

Nilai *bandwidth* sistem dipengaruhi oleh nilai laju data, jumlah *subcarrier*, faktor *cyclic prefix*, dan kecepatan pengguna. Pada skripsi ini pengguna diasumsikan bergerak dengan kecepatan konstan, yaitu pada kecepatan 5 km/jam, 60 km/jam dan 100 km/jam. Pergeseran frekuensi *doppler* maksimum yang terjadi untuk kecepatan 5 km/jam dapat dihitung sesuai Persamaan (2.5) sebagai berikut :

$$f_m(v) = \frac{f_c v}{c}$$

$$f_m(5) = \frac{5 \text{ km/jam} \times 2 \text{ GHz}}{3 \times 10^8 \text{ m/s}}$$

$$f_m(5) = \frac{\left(\frac{5 \times 1000}{3600}\right) \times 2 \times 10^9}{3 \times 10^8} = 9.2593 \text{ Hz}$$

Adanya pergerakan pengguna menyebabkan terjadinya pelebaran spektrum sinyal sesuai dengan nilai frekuensi *doppler* maksimum. Sehingga nilai *bandwidth* sistem dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan (2.3) yang ditambahkan dengan pengaruh kecepatan pengguna. *Bandwidth* sistem untuk kecepatan pengguna 5 km/jam dengan jumlah *subcarrier* 512 dan laju data menggunakan teknik QPSK = 3.17 Mbps dengan M = 4, adalah :

$$B_{sistem} = \frac{R_{tot} [2(1-\alpha_{cp}) + N - 1]}{(1-\alpha_{cp}) N \log_2 M} + f_m(5)$$

$$B_{sistem} = \frac{3.17 \times 10^6 [2(1-0.125) + 512 - 1]}{(1-0.125) \times 512 \times \log_2(4)} + 9.2593$$



$$B_{sistem} = 1.8141 \text{ MHz}$$

Untuk teknik modulasi lainnya, yaitu 16-QAM terdapat kemungkinan sinyal (M) = 16 dan untuk 64-QAM, M = 64. Kemudian dengan menggunakan cara yang sama, diperoleh nilai *bandwidth* sistem pada teknik modulasi yang berbeda. Hasil perhitungan tersebut ditunjukkan pada tabel 4.7

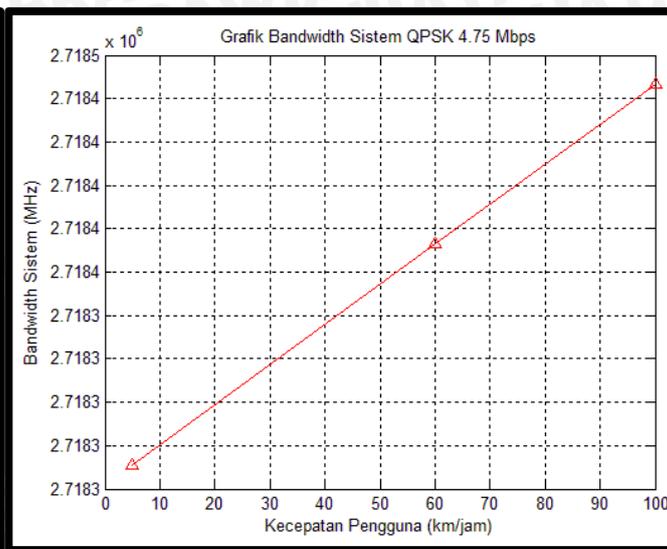
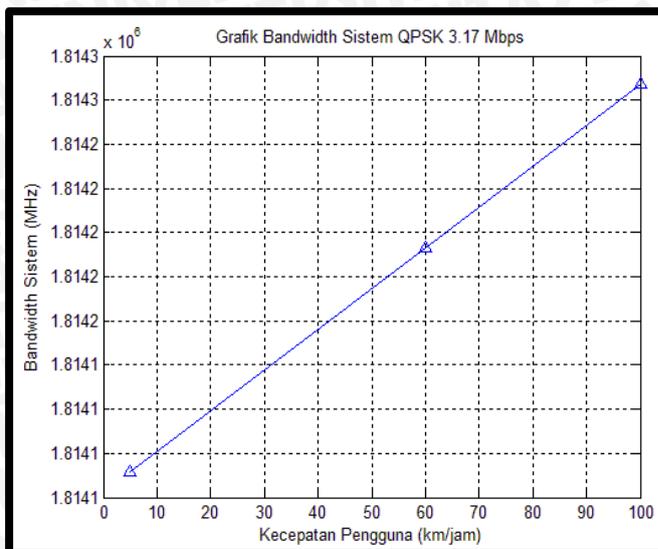
Tabel 4.7 Hasil Perhitungan *Bandwidth* Sistem

Kecepatan (km/jam)	f_m (Hz)	<i>Bandwidth</i> Sistem (B_{sistem}) (MHz)					
		QPSK		16-QAM		64-QAM	
		3.17 Mbps	4.75 Mbps	6.34 Mbps	9.5 Mbps	9.5 Mbps	14.26 Mbps
5	9.2593	1.8141	2.7183	1.8141	2.7183	1.8122	2.7202
60	111.1111	1.8142	2.7184	1.8142	2.7184	1.8123	2.7203
100	185.1852	1.8143	2.7184	1.8143	2.7184	1.8124	2.7204

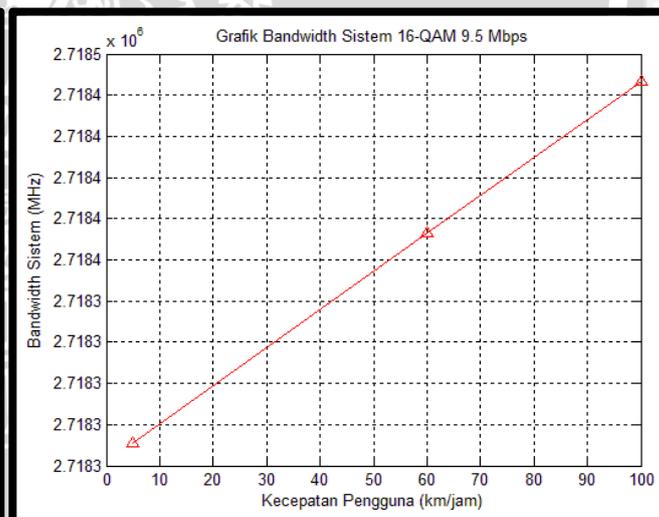
(Sumber : Hasil Perhitungan, 2014)

Berdasarkan Tabel 4.7 dapat diketahui bahwa kecepatan pengguna berpengaruh terhadap nilai *bandwidth* sistem. Dimana semakin cepat pergerakan pengguna akan menyebabkan *bandwidth* sistem semakin besar. Sedangkan penggunaan modulasi berpengaruh terhadap total laju data dan banyaknya jumlah bit dalam satu simbol. Semakin besar laju data maka semakin besar penggunaan *bandwidth*, begitu pula sebaliknya.

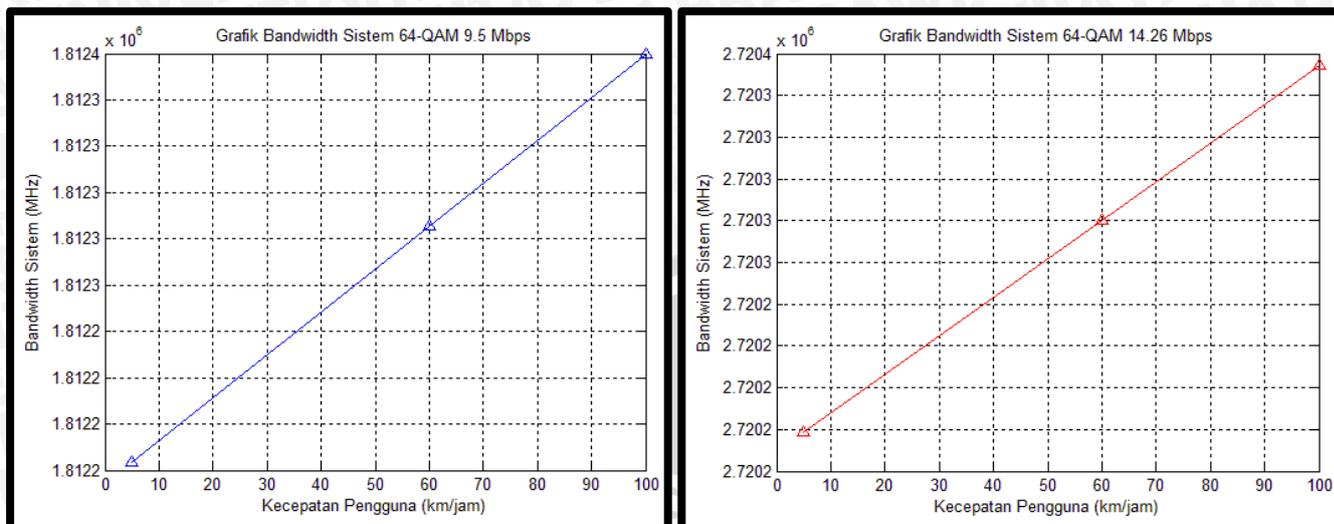




Grafik 4.1 Grafik Pengaruh Kecepatan Pengguna Terhadap *Bandwidth* Sistem Menggunakan Teknik Modulasi QPSK
(Sumber : Hasil Perhitungan, 2014)



Grafik 4.2 Grafik Pengaruh Kecepatan Pengguna Terhadap *Bandwidth* Sistem Menggunakan Teknik Modulasi 16-QAM
(Sumber : Hasil Perhitungan, 2014)



Grafik 4.3 Grafik Pengaruh Kecepatan Pengguna Terhadap *Bandwidth* Sistem Menggunakan Teknik Modulasi 64-QAM
(Sumber : Hasil Perhitungan, 2014)

Grafik 4.1 sampai Grafik 4.3 menunjukkan pengaruh kecepatan pengguna terhadap nilai *bandwidth* sistem. Dimana semakin cepat pergerakan pengguna, maka semakin besar nilai *bandwidth* sistem. Nilai *bandwidth* sistem terbesar terjadi ketika kecepatan pengguna 100 km/jam. Sedangkan penggunaan modulasi berpengaruh terhadap total laju data yang digunakan dan banyaknya jumlah bit dalam satu simbol. Semakin rendah total laju data yang digunakan akan menyebabkan kecilnya penggunaan *bandwidth*. Misalnya pada modulasi 64-QAM yang menggunakan total laju data sebesar 9.5 Mbps dan 14.26 Mbps dimana banyaknya bit dalam satu simbol adalah 6 bit pada kecepatan 5 km/jam, dihasilkan *bandwidth* sistem sebesar 1.8122 MHz untuk total laju data 9.5 Mbps dan 2.7202 MHz untuk total laju data 14.26 Mbps.

4.3 Analisis Signal to Noise Ratio (SNR) Sistem Mobile WiMAX

Signal to Noise Ratio (SNR) adalah perbandingan antara sinyal yang dikirim terhadap *noise*. SNR digunakan untuk mengetahui besarnya pengaruh redaman sinyal terhadap sinyal yang ditransmisikan. Spesifikasi *mobile WiMAX* yang digunakan dalam skripsi ini ditunjukkan oleh Tabel 4.8.

Tabel 4.8 Spesifikasi *Mobile WiMAX 802.16e*

Parameter	Value
<i>Operating Frequency</i>	2000 MHz
<i>Duplex</i>	TDD
<i>Bandwidth System</i>	5 MHz
<i>Modulation Technique</i>	QPSK, 16-QAM, 64-QAM
<i>BS Height</i>	32 meters
<i>MS Height</i>	1.5 meters
<i>BS Maximum Power Amplifier Power</i>	43 dBm
<i>Mobile Terminal Maximum PA Power</i>	23 dBm
<i>BS Antenna Gain</i>	15 dBi
<i>MS Antenna Gain</i>	-1 dBi
<i>MS Noise Figure</i>	7 dB
<i>BS Noise Figure</i>	4 dB
<i>Operating Temperature</i>	0°C - 40°C

(Sumber : WiMAX Forum, 2006)

Pada propagasi gelombang elektromagnetik, semakin jauh jarak *transmitter* dan *receiver*, maka semakin kecil daya yang diterima oleh *receiver*. Hal ini disebabkan adanya redaman saat pentransmisiian sinyal. Penurunan kekuatan gelombang elektromagnetik karena menyebar melalui ruang bebas disebut *pathloss*. *Pathloss* dengan pengaruh *multipath fading* dapat diketahui berdasarkan kondisi *non-line of sight* (NLOS). NLOS adalah kondisi dimana antara *transmitter* dan *receiver* terdapat banyak penghalang, seperti pohon, gedung dan rumah. Kondisi ini menyebabkan sinyal yang dikirim oleh pemancar mengalami pantulan, difraksi ataupun hamburan sehingga sinyal tersebut memiliki lebih dari satu jalur dalam pentransmisiannya. Dalam skripsi ini digunakan model propagasi ECC 33 dan COST 231 Hata untuk menghitung nilai *pathloss*. Jarak antara *base station* dan *user equipment* dibuat bervariasi mulai 1 km – 2.5 km dengan spasi jarak 300 m, dan *user equipment* (pengguna) diasumsikan bergerak dengan kecepatan konstan yaitu pada kecepatan 5 km/jam, 60 km/jam, dan 100 km/jam.

Perhitungan redaman propagasi pada kondisi NLOS dihitung dengan kondisi sistem bekerja pada frekuensi (f_c) = 2 GHz dan tinggi antena *transmitter* (h_b) = 32 m dan tinggi antena *receiver* (h_r) = 1.5 m. Dengan menggunakan Persamaan (2.6) hingga

Persamaan (2.12), maka nilai redaman propagasi pada kondisi NLOS untuk jarak (d) = 1 km dapat dihitung menggunakan 2 model propagasi yang digunakan, yaitu :

- **Model Propagasi COST 231 Hata**

$$\begin{aligned} \checkmark \quad a_{h_r} &= 3.20(\log(11.75h_r))^2 - 4.79 \\ &= 3.20(\log(11.75 \times 1.5))^2 - 4.79 \\ &= 0.1791 \text{ dB} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \checkmark \quad P_L \text{ (dB)} &= 46.3 + 33.9 \log(f_c) - 13.82 \log(h_b) - a_{h_r} + \\ &\quad (44.9 - 6.55 \log(h_b)) \log d + c_m \\ &= 46.3 + 33.9 \log(2) - 13.82 \log(32) - (0.1791) + \\ &\quad (44.9 - 6.55 \log(32)) \log(1) + 3 \text{ dB} \\ &= 38.5247 \text{ dB} \end{aligned}$$

- **Model Propagasi ECC 33**

$$\begin{aligned} \checkmark \quad A_{fs} &= 92.4 + 20 \log(d) + 20 \log(f_c) \\ &= 92.4 + 20 \log(1) + 20 \log(2) \\ &= 91.1303 \text{ dB} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \checkmark \quad A_{bm} &= 20.41 + 9.83 \log(d) + 7.894 \log(f_c) + 9.56 [\log(f_c)]^2 \\ &= 20.41 + 9.83 \log(1) + 7.894 \log(2) + 9.56 [\log(2)]^2 \\ &= 15.7863 \text{ dB} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \checkmark \quad G_b &= \log\left(\frac{h_b}{200}\right) \{13.958 + 5.8[\log(d)]^2\} \\ &= \log\left(\frac{32}{200}\right) \{13.958 + 5.8[\log(1)]^2\} \\ &= -13.5668 \text{ dB} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \checkmark \quad G_r &= 0.759h_r - 1.862 \\ &= 0.759(1.5) - 1.862 \\ &= -0.7235 \text{ dB} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \checkmark \quad P_L \text{ (dB)} &= A_{fs} + A_{bm} - G_b - G_r \\ &= 91.1303 \text{ dB} + 15.7863 \text{ dB} - (-13.5668 \text{ dB}) - (-0.7235 \text{ dB}) \\ &= 121.2069 \text{ dB} \end{aligned}$$

Dengan menggunakan cara yang sama dapat diperoleh besarnya redaman propagasi pada kondisi NLOS untuk jarak antara *base station* dengan *user equipment* sejauh 1000 m – 2500 m dengan spasi jarak 300 m. Hasil perhitungan tersebut ditunjukkan pada Tabel 4.9.

Tabel 4.9. Hasil Perhitungan Redaman Propagasi NLOS dengan 2 Model Propagasi Berbeda

Jarak (m)	Redaman Propagasi	
	$P_{L(NLOS)}$ (dB)	
	Model Propagasi	
	COST 231 Hata	ECC 33
1000	38.5247	121.2069
1300	42.5174	124.6059
1600	45.6773	127.2958
1900	48.2925	129.5222
2200	50.5236	131.4214
2500	52.4690	133.0775

(Sumber : Hasil Perhitungan, 2014)

Redaman propagasi (*pathloss*) yang dihasilkan menunjukkan bahwa jarak berbanding lurus dengan nilai *pathloss*, artinya semakin jauh jarak antara *base station* dan *user equipment* nilai *pathloss* semakin besar. Hal ini dikarenakan semakin jauh jarak, halangan pada lintasan yang dilalui oleh gelombang elektromagnetik yang dikirim dari pemancar ke penerima semakin banyak. Halangan ini bisa berupa gedung bertingkat, rumah ataupun pepohonan. Nilai *pathloss* ini dipergunakan untuk menganalisis besarnya daya terima (P_r) pada *receiver*. Sesuai dengan Persamaan (2.15) maka besarnya daya terima pada *receiver* pada kanal 5 MHz dengan jumlah *subcarrier* 512 adalah :

$$P_r = P_t + G_t + G_r - P_L - 10 \log(N)$$

$$P_r = 43 + 15 + (-1) - 38.5247 - 27.0927$$

$$P_r = -8,6174 \text{ dBm}$$

Dengan menggunakan perhitungan yang sama, dapat diperoleh besarnya daya terima pada kondisi NLOS pada kanal *bandwidth* 5 MHz jarak antara *base station* dengan *user equipment* sejauh 1000 m – 2500 m dengan spasi jarak 300 m. Hasil perhitungan tersebut ditunjukkan pada Tabel 4.10.

Tabel 4.10. Hasil Perhitungan Daya Terima pada *Receiver* dengan 2 Model Propagasi Berbeda

Jarak (m)	Daya Terima $P_{r(NLOS)}$ (dBm)	
	Model Propagasi	
	COST 231 Hata	ECC 33
1000	-8.6174	-91.2996
1300	-12.6101	-94.6986
1600	-15.7700	-97.3885
1900	-18.3862	-99.6149
2200	-20.6163	-101.5141
2500	-22.5617	-103.1702

(Sumber : Hasil Perhitungan, 2014)

Setelah didapat daya terima untuk jarak *base station* dan *user equipment* yang bervariasi, selanjutnya adalah menghitung daya *noise*. Daya *noise* untuk jumlah *subcarrier* 512, kecepatan 5 km/jam dan *bandwidth* sistem yang menggunakan teknik modulasi QPSK sebesar 1.8141 MHz dapat dihitung dengan Persamaan (2.16).

$$N_o = 10\log(kT) + 10\log(B_{sistem}) + NF$$

$$N_o = 10\log(1.38 \times 10^{-23} \times 300) + 10\log(1.8141 \times 10^6) + 7$$

$$N_o = -134.2434 \text{ dBm}$$

Tabel 4.11. Hasil Perhitungan Daya *Noise*

Kecepatan	N_o (dBm)					
	QPSK		16-QAM		64-QAM	
	3.17 Mbps	4.75 Mbps	6.34 Mbps	9.5 Mbps	9.5 Mbps	14.26 Mbps
5 km/jam	-134.2434	-132.4871	-131.2331	-129.4768	-129.4768	-127.7128
60 km/jam	-134.2432	-132.4869	-131.2330	-129.4767	-129.4767	-127.7128
100 km/jam	-134.2430	-132.4868	-131.2329	-129.4766	-129.4766	-127.7127

(Sumber : Hasil Perhitungan, 2014)

Nilai SNR pada kondisi NLOS dihitung menggunakan nilai daya terima ($P_r(NLOS)$) sesuai Tabel 4.10 dan daya *noise* (N_o) sesuai Tabel 4.11. Pada jarak 1000 m

kondisi NLOS dengan model propagasi ECC 33 dapat dihitung menggunakan Persamaan (2.14) seperti berikut :

$$\begin{aligned} \checkmark \quad SNR_{(dB)} &= P_r \text{ (dBm)} - N_o \text{ (dBm)} \\ SNR_{(dB)} &= (-91.2996) - (-134.2434) \\ SNR_{(dB)} &= 42.9438 \text{ dB} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \checkmark \quad SNR_{(dB)} &= 10 \cdot \log (s) \\ 42.9438 &= 10 \cdot \log (s) \\ s &= 10^{4.29438} = 1.9696 \times 10^4 \end{aligned}$$

Untuk nilai SNR = 42.9438 dB = 1.9696 x 10³ dengan durasi CP 0.125, dapat diperoleh nilai SNR sistem dengan menggunakan Persamaan (2.17) seperti berikut :

$$\begin{aligned} \checkmark \quad SNR_{sistem} &= (1 - \alpha_{CP})SNR \\ SNR_{sistem} &= (1 - 0.125) \times 1.9696 \times 10^4 \\ SNR_{sistem} &= 1.7234 \times 10^4 \\ \checkmark \quad SNR_{sistem} &= 10 \log_{10} (1.7234 \times 10^4) \\ SNR_{sistem} &= 42.3639 \text{ dB} \end{aligned}$$

Dengan menggunakan perhitungan yang sama, dapat diperoleh nilai SNR sistem kondisi NLOS untuk kecepatan 5 km/jam, 60 km/jam, dan 100 km/jam dengan 3 modulasi berbeda untuk jarak antara *base station* dengan *user equipment* sejauh 1000 m – 2500 m dengan spasi jarak 300 m. Hasil perhitungan tersebut ditunjukkan pada Tabel 4.12, Tabel 4.13, dan Tabel 4.14.

Tabel 4.12. Hasil Perhitungan SNR sistem pada kecepatan 5 km/jam

Jarak	Model Propagasi	Signal to Noise Ratio (SNR) Sistem (dB)					
		QPSK		16-QAM		64-QAM	
		3.17Mbps	4.74 Mbps	6.34 Mbps	9.5 Mbps	9.5 Mbps	14.26Mbps
1000	ECC 33	42.3639	40.6075	42.3639	40.6075	42.3684	40.6045
	COST 231	124.8670	123.1107	124.8670	123.1107	124.8716	123.1077
1300	ECC 33	38.9649	37.2086	38.9649	37.2086	38.9695	37.2055
	COST 231	120.8743	119.1180	120.8743	119.1180	120.8789	119.1149
1600	ECC 33	36.2750	34.5186	36.2750	34.5186	36.2795	34.5156
	COST 231	117.7144	115.9581	117.7144	115.9581	117.7190	115.9550
1900	ECC 33	34.0486	32.2923	34.0486	32.2923	34.0532	32.2893
	COST 231	115.0992	113.3428	115.0992	113.3428	115.1037	113.3398
2200	ECC 33	32.1494	30.3931	32.1494	30.3931	32.1540	30.3900
	COST 231	112.8681	111.1118	112.8681	111.1118	112.8727	111.1087
2500	ECC 33	30.4933	28.7370	30.4933	28.7370	30.4979	28.7339
	COST 231	110.9227	109.1664	110.9227	109.1664	110.9273	109.1633

(Sumber : Hasil Perhitungan, 2014)

Tabel 4.13. Hasil Perhitungan SNR sistem pada kecepatan 60 km/jam

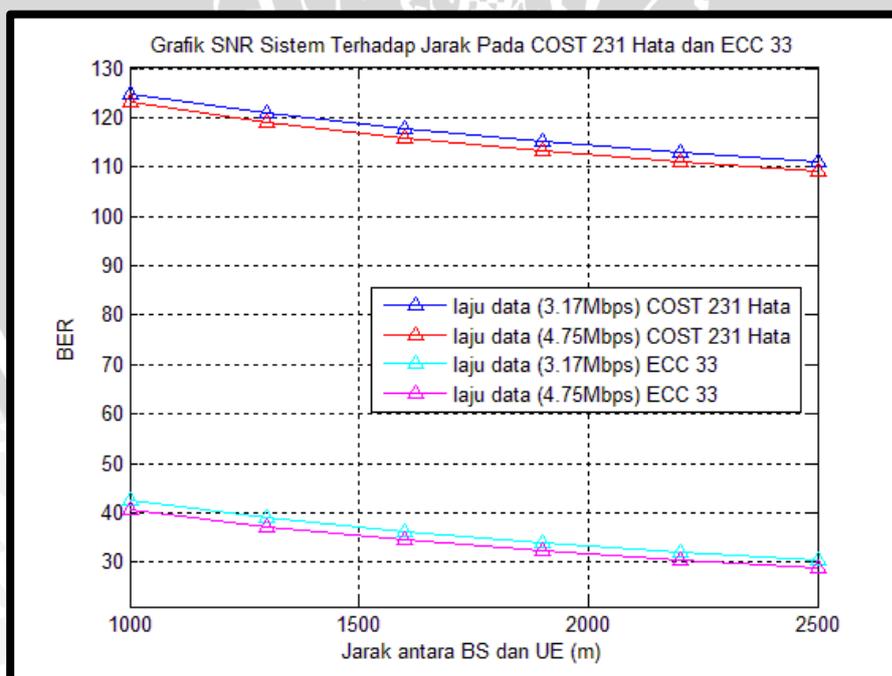
Jarak	Model Propagasi	Signal to Noise Ratio (SNR) Sistem (dB)					
		QPSK		16-QAM		64-QAM	
		3.17Mbps	4.74 Mbps	6.34 Mbps	9.5 Mbps	9.5 Mbps	14.26Mbps
1000	ECC 33	42.3636	40.6074	42.3636	40.6074	42.3682	40.6043
	COST 231	124.8668	123.1105	124.8668	123.1105	124.8714	123.1075
1300	ECC 33	38.9647	37.2084	38.9647	37.2084	38.9693	37.2054
	COST 231	120.8741	119.1178	120.8741	119.1178	120.8786	119.1148
1600	ECC 33	36.2747	34.5185	36.2747	34.5185	36.2793	34.5154
	COST 231	117.7142	115.9579	117.7142	115.9579	117.7187	115.9549
1900	ECC 33	34.0484	32.2921	34.0484	32.2921	34.0530	32.2891
	COST 231	115.0989	113.3427	115.0989	113.3427	115.1035	113.3396
2200	ECC 33	32.1491	30.3929	32.1491	30.3929	32.1537	30.3898
	COST 231	112.8679	111.1116	112.8679	111.1116	112.8724	111.1086
2500	ECC 33	30.4931	28.7368	30.4931	28.7368	30.4976	28.7338
	COST 231	110.9225	109.1662	110.9225	109.1662	110.9270	109.1632

(Sumber : Hasil Perhitungan, 2014)

Tabel 4.14. Hasil Perhitungan SNR sistem pada kecepatan 100 km/jam

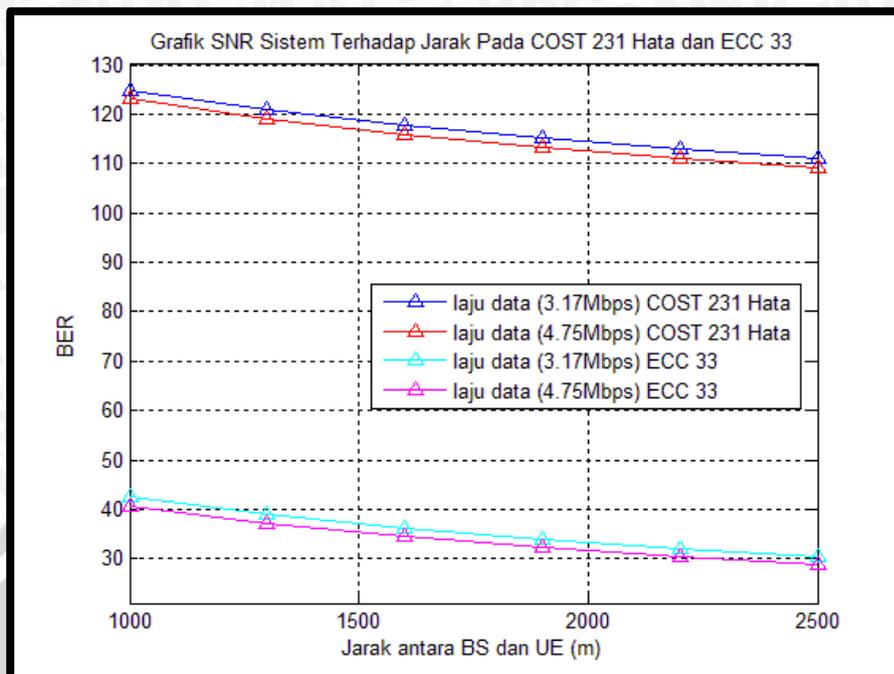
Jarak	Model Propagasi	Signal to Noise Ratio (SNR) Sistem (dB)					
		QPSK		16-QAM		64-QAM	
		3.17Mbps	4.74 Mbps	6.34 Mbps	9.5 Mbps	9.5 Mbps	14.26Mbps
1000	ECC 33	42.3634	40.6072	42.3634	40.6072	42.3680	40.6042
	COST 231	124.8666	123.1104	124.8666	123.1104	124.8712	123.1074
1300	ECC 33	38.9645	37.2082	38.9644	37.2082	38.9691	37.2053
	COST 231	120.8739	119.1177	120.8739	119.1177	120.8785	119.1147
1600	ECC 33	36.2745	34.5183	36.2745	34.5183	36.2791	34.5153
	COST 231	117.7140	115.9578	117.7140	115.9578	117.7186	115.9548
1900	ECC 33	34.0481	32.2920	34.0482	32.2918	34.0528	32.2890
	COST 231	115.0987	113.3425	115.0987	113.3425	115.1033	113.3395
2200	ECC 33	32.1488	30.3926	32.1489	30.3927	32.1535	30.3897
	COST 231	112.8677	111.1115	112.8677	111.1115	112.8723	111.1085
2500	ECC 33	30.4928	28.7366	30.4930	28.7366	30.4975	28.7336
	COST 231	110.9223	109.1661	110.9223	109.1661	110.9269	109.1631

(Sumber : Hasil Perhitungan, 2014)



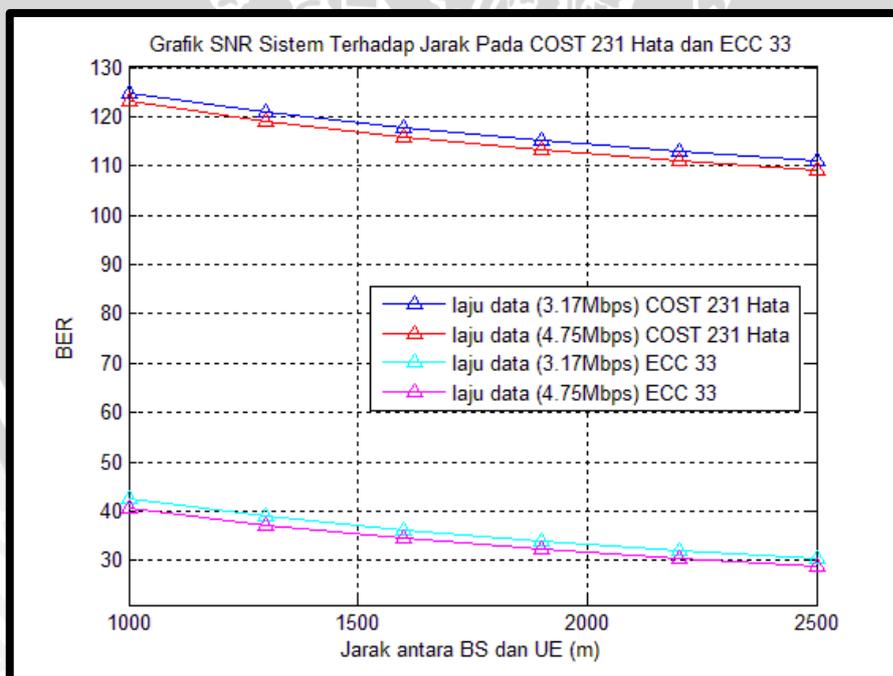
Grafik 4.4 Grafik Perbandingan Pengaruh Jarak BS dan UE Terhadap Nilai SNR Sistem dengan Laju Data Total yang Berbeda untuk Kecepatan Pengguna 5 km/jam Menggunakan Teknik Modulasi QPSK

(Sumber : Hasil Perhitungan, 2014)



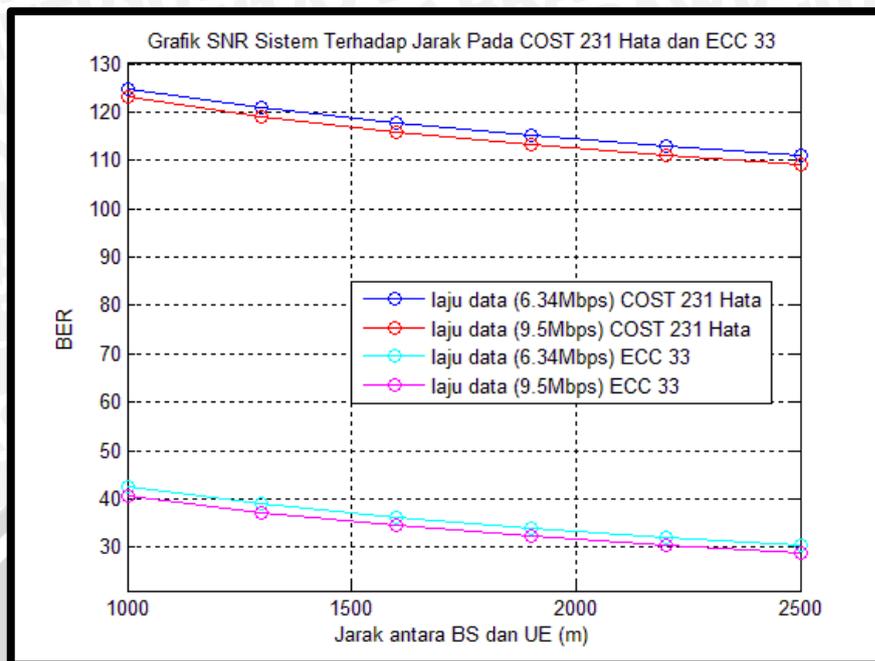
Grafik 4.5 Grafik Perbandingan Pengaruh Jarak BS dan UE Terhadap Nilai SNR Sistem dengan Laju Data Total yang Berbeda untuk Kecepatan Pengguna 60 km/jam Menggunakan Teknik Modulasi QPSK

(Sumber : Hasil Perhitungan, 2014)

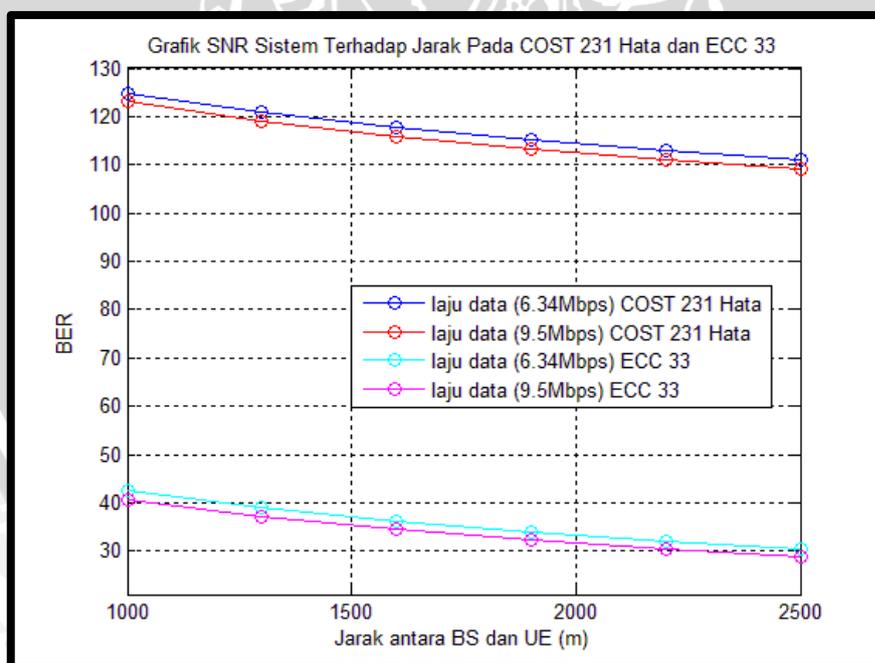


Grafik 4.6 Grafik Perbandingan Pengaruh Jarak BS dan UE Terhadap Nilai SNR Sistem dengan Laju Data Total yang Berbeda untuk Kecepatan Pengguna 100 km/jam Menggunakan Teknik Modulasi QPSK

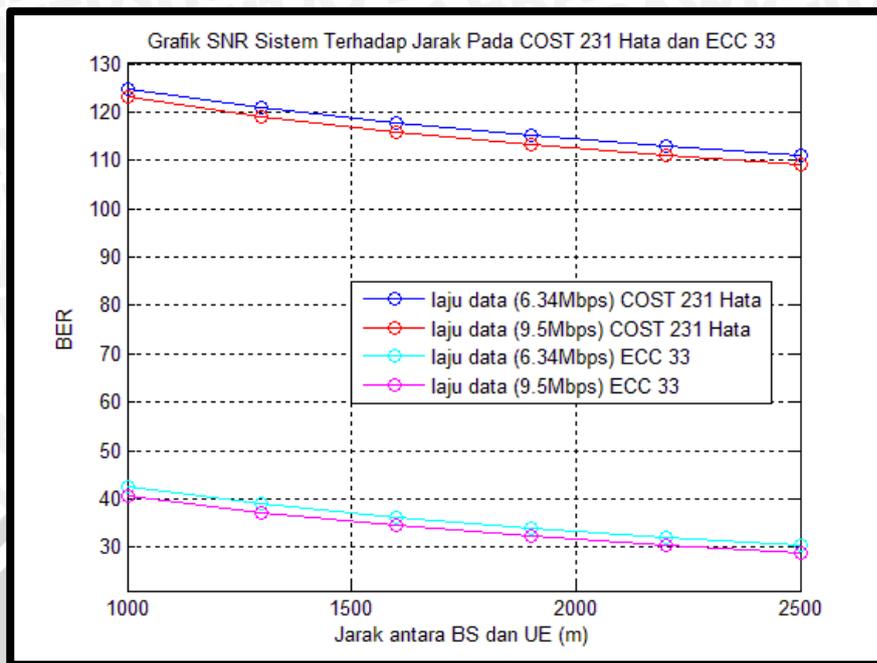
(Sumber : Hasil Perhitungan, 2014)



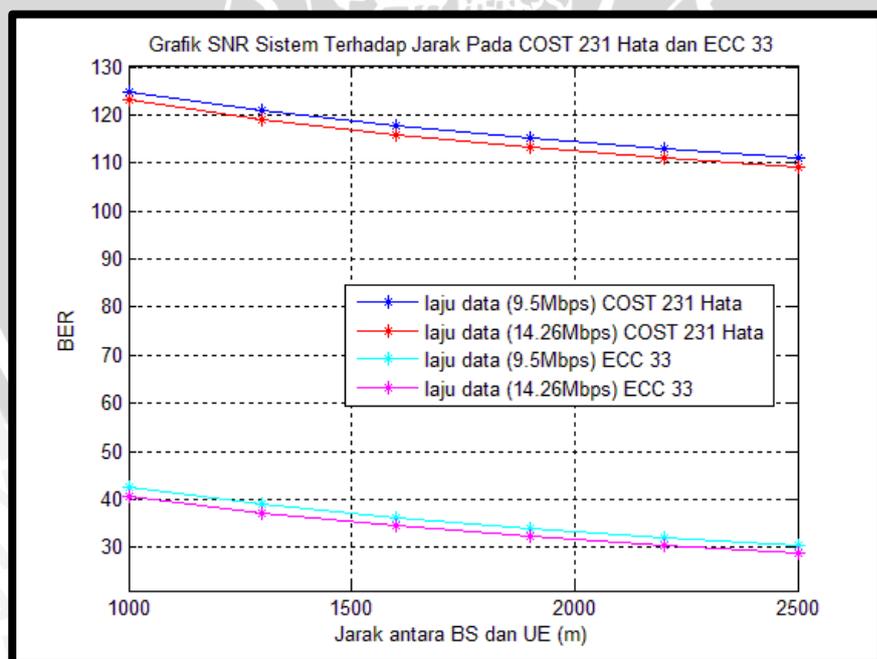
Grafik 4.7 Grafik Perbandingan Pengaruh Jarak BS dan UE Terhadap Nilai SNR Sistem dengan Laju Data Total yang Berbeda untuk Kecepatan Pengguna 5 km/jam Menggunakan Teknik Modulasi 16-QAM
(Sumber : Hasil Perhitungan, 2014)



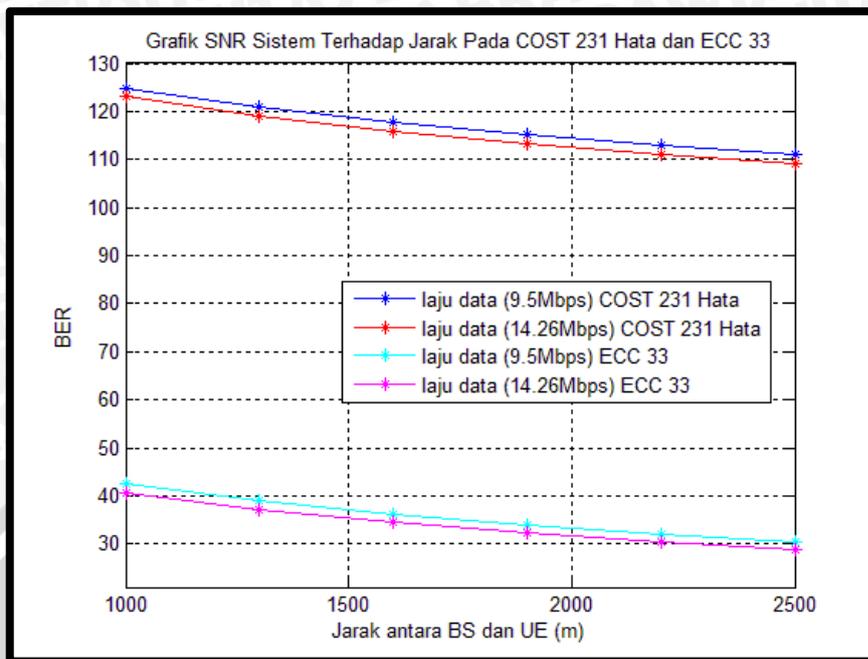
Grafik 4.8 Grafik Perbandingan Pengaruh Jarak BS dan UE Terhadap Nilai SNR Sistem dengan Laju Data Total yang Berbeda untuk Kecepatan Pengguna 60 km/jam Menggunakan Teknik Modulasi 16-QAM
(Sumber : Hasil Perhitungan, 2014)



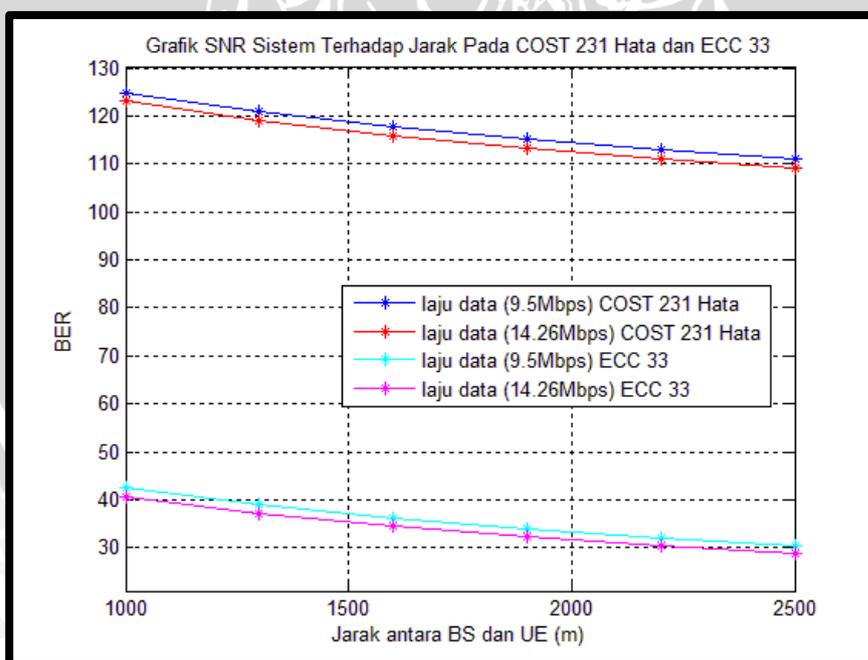
Grafik 4.9 Grafik Perbandingan Pengaruh Jarak BS dan UE Terhadap Nilai SNR Sistem dengan Laju Data Total yang Berbeda untuk Kecepatan Pengguna 100 km/jam Menggunakan Teknik Modulasi 16-QAM
(Sumber : Hasil Perhitungan, 2014)



Grafik 4.10 Grafik Perbandingan Pengaruh Jarak BS dan UE Terhadap Nilai SNR Sistem dengan Laju Data Total yang Berbeda untuk Kecepatan Pengguna 5 km/jam Menggunakan Teknik Modulasi 64-QAM
(Sumber : Hasil Perhitungan, 2014)



Grafik 4.11 Grafik Perbandingan Pengaruh Jarak BS dan UE Terhadap Nilai SNR Sistem dengan Laju Data Total yang Berbeda untuk Kecepatan Pengguna 60 km/jam Menggunakan Teknik Modulasi 64-QAM
(Sumber : Hasil Perhitungan, 2014)



Grafik 4.12 Grafik Perbandingan Pengaruh Jarak BS dan UE Terhadap Nilai SNR Sistem dengan Laju Data Total yang Berbeda untuk Kecepatan Pengguna 100 km/jam Menggunakan Teknik Modulasi 64-QAM
(Sumber : Hasil Perhitungan, 2014)

Grafik 4.4 sampai Grafik 4.12 merupakan grafik perbandingan antara model propagasi Cost 231 Hata dengan ECC 33 yang menunjukkan pengaruh jarak *base station* dan *user equipment* terhadap nilai SNR sistem pada kecepatan yang bervariasi yaitu 5 km/jam, 60 km/jam dan 120 km/jam menggunakan 3 modulasi berbeda, yaitu : QPSK, 16-QAM, dan 64-QAM dengan laju data total yang berbeda. Nilai SNR sistem akan semakin kecil ketika jarak *base station* dan *user equipment* semakin jauh dan kecepatan pengguna semakin tinggi. Hal ini dikarenakan semakin jauh jarak *base station* dan *user equipment* maka akan semakin besar pula rugi-rugi propagasi ruang bebas. Laju data total yang semakin tinggi juga berpengaruh pada nilai SNR sistem, dimana semakin tinggi laju data total menyebabkan nilai SNR sistem semakin kecil seperti terlihat pada kecepatan 5 km/jam, jarak 1000 m, modulasi 64-QAM dengan laju data total 9.5 Mbps nilai SNR sistem adalah 42.3684 dB, sedangkan pada laju data total 14.26 Mbps dengan kecepatan pengguna dan jarak yang sama, SNR sistem bernilai 40.6045 dB, pada model propagasi ECC 33. Model propagasi juga berpengaruh terhadap nilai SNR sistem seperti terlihat pada grafik, dimana nilai SNR sistem menggunakan model propagasi Cost 231 Hata lebih baik bila dibandingkan dengan nilai SNR sistem menggunakan model propagasi ECC 33, sebagai contoh pada kecepatan 5 km/jam, jarak 1000 m, modulasi 64-QAM dengan laju data total 9.5 Mbps nilai SNR sistem menggunakan model propagasi ECC 33 adalah 42.3684 dB, sedangkan untuk model propagasi Cost 231 Hata sebesar 124.8716 dB.

Secara keseluruhan, berdasarkan hasil perhitungan *signal to noise ratio* (SNR) sistem dapat diketahui bahwa :

1. Model Propagasi yang digunakan sangat berpengaruh terhadap nilai SNR sistem. Hal ini dapat dilihat dari hasil perhitungan, dimana nilai SNR sistem yang menggunakan model propagasi Cost 231 Hata lebih baik dibanding yang menggunakan model propagasi ECC 33.
2. Nilai SNR sistem dipengaruhi oleh jarak *base station* dan *user equipment*. Semakin jauh jarak *base station* dan *user equipment* maka nilai SNR akan semakin kecil.
3. Teknik modulasi tidak berpengaruh besar terhadap nilai SNR sistem. Hal ini dapat dilihat dari hasil perhitungan, dimana terjadi perubahan yang sangat kecil pada nilai SNR sistem yang dihitung menggunakan teknik modulasi yang

berbeda. Akan tetapi nilai SNR sistem dipengaruhi oleh kecepatan laju data yang menggunakan suatu teknik modulasi. Sebagai contoh, dalam teknik modulasi QPSK dengan nilai laju data yang berbeda, nilai SNR sistem semakin kecil dengan bertambahnya kecepatan laju data. Begitu pula untuk nilai SNR sistem yang menggunakan teknik modulasi 16-QAM dan 64-QAM.

- Kecepatan pengguna yang berubah secara konstan dari 5 km/jam, 60 km/jam dan 100 km/jam, membuat nilai SNR sistem berubah semakin kecil dari kecepatan terendah ke kecepatan tertinggi. Nilai perubahan tersebut sangat kecil, sehingga dapat disimpulkan bahwa pengaruh kecepatan pengguna tidak terlalu besar terhadap nilai SNR sistem. Hal ini dikarenakan nilai pelebaran spektrum sinyal jauh lebih kecil daripada *bandwidth* sistem tanpa pengaruh kecepatan.

4.4 Analisis Bit Error Rate (BER) Sistem Mobile WiMAX

Bit error rate (BER) merupakan banyaknya *bit* yang salah dalam pentransmisian sejumlah *bit*. Nilai BER yang diinginkan sekecil mungkin agar diperoleh kualitas yang baik. Perhitungan nilai BER membutuhkan parameter nilai laju data, *bandwidth* sistem, SNR sistem dan E_b/N_0 . Pada perhitungannya, digunakan teknik modulasi QPSK, 16-QAM dan 64-QAM. Nilai E_b/N_0 pada kanal fading dengan kecepatan 5 km/jam dapat diperoleh dengan menggunakan Persamaan (2.18). Nilai SNR yang digunakan sesuai Tabel 4.12, Tabel 4.13 dan Tabel 4.14. Hasil perhitungan adalah seperti berikut :

$$\frac{E_b}{N_0} = SNR_{sistem} + 10 \log_{10} \frac{B}{R}$$

$$\frac{E_b}{N_0} = 42.3639 + 10 \log_{10} \frac{1.8141 \times 10^6}{3.17 \times 10^6} = 39.9399 \text{ dB}$$

Dengan menggunakan cara yang sama dapat diperoleh nilai E_b/N_0 dengan kecepatan 5 km/jam, 60 km/jam dan 100 km/jam untuk jarak BS dan UE 1000 m sampai 2500 m dengan spasi jarak 300 m dengan teknik modulasi maupun model propagasi yang berbeda. Hasil perhitungan tersebut ditunjukkan oleh Tabel 4.15, Tabel 4.16, dan Tabel 17.

Tabel 4.15. Hasil Perhitungan E_b/N_0 untuk kecepatan 5 km/jam pada COST 231 dan ECC 33

Jarak	Model Propagasi	Energy Bit to Noise Ratio (E_b/N_0) (dB)					
		QPSK		16-QAM		64-QAM	
		3.17Mbps	4.74 Mbps	6.34 Mbps	9.5 Mbps	9.5 Mbps	14.26Mbps
1000	ECC 33	39.9399	36.4272	36.9296	33.4169	35.1732	31.6453
	COST 231	122.4430	118.9304	119.4327	115.9201	117.6764	114.1486
1300	ECC 33	36.5409	33.0282	33.5306	30.0179	31.7743	28.2464
	COST 231	118.4503	114.9377	115.4400	111.9274	113.6837	110.1558
1600	ECC 33	33.8510	30.3383	30.8407	27.3280	29.0843	25.5564
	COST 231	115.2904	111.7778	112.2801	108.7675	110.5238	106.9959
1900	ECC 33	31.6246	28.1120	28.6143	25.1017	26.8580	23.3301
	COST 231	112.6752	109.1626	109.6649	106.1523	107.9085	104.3807
2200	ECC 33	29.7254	26.2127	26.7151	23.2024	24.9587	21.4308
	COST 231	110.4441	106.9315	107.4338	103.9212	105.6775	102.1496
2500	ECC 33	28.0693	24.5566	25.0590	21.5463	23.3027	19.7747
	COST 231	108.4987	104.9861	105.4884	101.9758	103.7321	100.2042

(Sumber : Hasil Perhitungan, 2014)

Tabel 4.16. Hasil Perhitungan E_b/N_0 untuk kecepatan 60 km/jam pada COST 231 dan ECC 33

Jarak	Model Propagasi	Energy Bit to Noise Ratio (E_b/N_0) (dB)					
		QPSK		16-QAM		64-QAM	
		3.17Mbps	4.74 Mbps	6.34 Mbps	9.5 Mbps	9.5 Mbps	14.26Mbps
1000	ECC 33	39.9399	36.4272	36.9296	33.4169	35.1732	31.6453
	COST 231	122.4430	118.9304	119.4327	115.9201	117.6764	114.1486
1300	ECC 33	36.5409	33.0282	33.5306	30.0179	31.7743	28.2464
	COST 231	118.4503	114.9377	115.4400	111.9274	113.6837	110.1558
1600	ECC 33	33.8510	30.3383	30.8407	27.3280	29.0843	25.5564
	COST 231	115.2904	111.7778	112.2801	108.7675	110.5238	106.9959
1900	ECC 33	31.6246	28.1120	28.6143	25.1017	26.8580	23.3301
	COST 231	112.6752	109.1626	109.6649	106.1523	107.9085	104.3807
2200	ECC 33	29.7254	26.2127	26.7151	23.2024	24.9587	21.4308
	COST 231	110.4441	106.9315	107.4338	103.9212	105.6775	102.1496
2500	ECC 33	28.0693	24.5566	25.0590	21.5463	23.3027	19.7747
	COST 231	108.4987	104.9861	105.4884	101.9758	103.7321	100.2042

(Sumber : Hasil Perhitungan, 2014)

Tabel 4.17. Hasil Perhitungan E_b/N_0 untuk kecepatan 100 km/jam pada COST 231 dan ECC 33

Jarak	Model Propagasi	Energy Bit to Noise Ratio (E_b/N_0) (dB)					
		QPSK		16-QAM		64-QAM	
		3.17Mbps	4.74 Mbps	6.34 Mbps	9.5 Mbps	9.5 Mbps	14.26Mbps
1000	ECC 33	39.9399	36.4272	36.9296	33.4169	35.1732	31.6453
	COST 231	122.4430	118.9304	119.4327	115.9201	117.6764	114.1486
1300	ECC 33	36.5409	33.0282	33.5306	30.0179	31.7743	28.2464
	COST 231	118.4503	114.9377	115.4400	111.9274	113.6837	110.1558
1600	ECC 33	33.8510	30.3383	30.8407	27.3280	29.0843	25.5564
	COST 231	115.2904	111.7778	112.2801	108.7675	110.5238	106.9959
1900	ECC 33	31.6246	28.1120	28.6143	25.1017	26.8580	23.3301
	COST 231	112.6752	109.1626	109.6649	106.1523	107.9085	104.3807
2200	ECC 33	29.7254	26.2127	26.7151	23.2024	24.9587	21.4308
	COST 231	110.4441	106.9315	107.4338	103.9212	105.6775	102.1496
2500	ECC 33	28.0693	24.5566	25.0590	21.5463	23.3027	19.7747
	COST 231	108.4987	104.9861	105.4884	101.9758	103.7321	100.2042

(Sumber : Hasil Perhitungan, 2014)

Dari Tabel 4.15, Tabel 4.16 dan Tabel 4.17 tersebut dapat diketahui bahwa nilai E_b/N_0 dipengaruhi oleh teknik modulasi yang digunakan. Hal ini dikarenakan teknik modulasi menentukan laju data total, dimana laju data total dengan teknik modulasi 64-QAM adalah yang tertinggi dibandingkan teknik modulasi lainnya. Nilai E_b/N_0 semakin kecil ketika laju data semakin tinggi, sehingga nilai E_b/N_0 tertinggi didapat saat menggunakan teknik modulasi QPSK. Hal ini dikarenakan nilai laju data total QPSK adalah yang terendah dibandingkan nilai laju data teknik modulasi 16-QAM dan 64-QAM sesuai ketentuan laju data total downlink dari WiMAX Forum yang dirilis tahun 2006.

Selain teknik modulasi, jarak *base station* dan *user equipment* juga berpengaruh terhadap nilai E_b/N_0 . Nilai E_b/N_0 akan semakin menurun ketika jarak *base station* dan *user equipment* semakin jauh. Sedangkan kecepatan pengguna tidak berpengaruh terhadap nilai E_b/N_0 , hal ini dikarenakan perubahan kecepatan pengguna dari 5 km/jam ke 60 km/jam hanya sedikit mempengaruhi nilai SNR sistem. Seperti

diketahui, dari rumus E_b/N_0 , bahwa SNR sistem merupakan salah satu parameter yang digunakan untuk menghitung nilai E_b/N_0 .

Setelah diperoleh nilai E_b/N_0 , selanjutnya dapat dilakukan perhitungan nilai BER sesuai dengan Persamaan (2-19) sampai Persamaan (2-21). Nilai BER tergantung dari teknik modulasi yang digunakan, dan nilainya diharapkan sekecil mungkin.

1. Bit Error Rate QPSK

$$\begin{aligned} P_{b(QPSK)} &= \frac{1}{2} \left[1 - \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{1}{E_b/N_0}}} \right] \\ &= \frac{1}{2} \left[1 - \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{1}{39.9399}}} \right] \\ &= 0.0061 \end{aligned}$$

2. Bit Error Rate 16-QAM

$$\begin{aligned} P_{b(16-QAM)} &= \frac{3}{8} \left[1 - \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{5}{2(E_b/N_0)}}} \right] \\ &= \frac{3}{8} \left[1 - \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{5}{2 \times 36.9296}}} \right] \\ &= 0.0121 \end{aligned}$$

3. Bit Error Rate 64-QAM

$$P_{b(64-QAM)} = \frac{7}{24} \left[1 - \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{7}{E_b/N_0}}} \right]$$

$$= \frac{7}{24} \left[1 - \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{7}{35.1732}}} \right]$$

$$= 0.0253$$

Dengan menggunakan cara yang sama untuk jarak base station dan *user equipment* 1000 m sampai 2500 m dengan spasi jarak 300 m, akan diperoleh nilai BER untuk kecepatan 5 km/jam, 60 km/jam dan 100 km/jam pada model propagasi Cost 231 Hata maupun ECC 33. Hasil perhitungan ditunjukkan oleh Tabel 4.18, Tabel 4.19, dan Tabel 2.20.

Tabel 4.18 Hasil Perhitungan BER untuk Kecepatan 5 km/jam pada COST 231 dan ECC 33

Jarak	Model Propagasi	Bit Error Rate (P_b)					
		QPSK		16-QAM		64-QAM	
		3.17Mbps	4.74 Mbps	6.34 Mbps	9.5 Mbps	9.5 Mbps	14.26Mbps
1000	ECC 33	0.0061	0.0067	0.0121	0.0133	0.0242	0.0265
	COST 231	0.0020	0.0021	0.0039	0.0040	0.0082	0.0084
1300	ECC 33	0.0067	0.0074	0.0132	0.0147	0.0264	0.0290
	COST 231	0.0021	0.0022	0.0040	0.0041	0.0085	0.0087
1600	ECC 33	0.0072	0.0080	0.0143	0.0161	0.0283	0.0314
	COST 231	0.0022	0.0022	0.0041	0.0042	0.0087	0.0090
1900	ECC 33	0.0077	0.0087	0.0154	0.0174	0.0302	0.0338
	COST 231	0.0022	0.0023	0.0042	0.0043	0.0089	0.0092
2200	ECC 33	0.0082	0.0093	0.0164	0.0187	0.0320	0.0360
	COST 231	0.0022	0.0023	0.0043	0.0044	0.0091	0.0094
2500	ECC 33	0.0087	0.0099	0.0174	0.0200	0.0338	0.0383
	COST 231	0.0023	0.0024	0.0044	0.0045	0.0092	0.0095

(Sumber : Hasil Perhitungan, 2014)



Tabel 4.19 Hasil Perhitungan BER untuk Kecepatan 60 km/jam pada COST 231 dan ECC 33

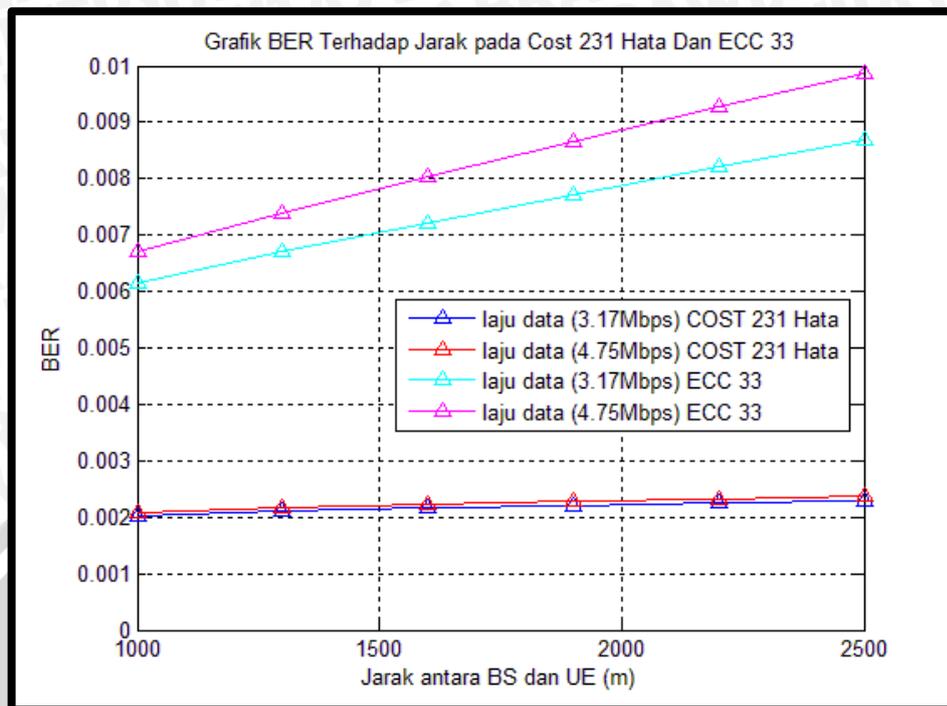
Jarak	Model Propagasi	Bit Error Rate (P_b)					
		QPSK		16-QAM		64-QAM	
		3.17Mbps	4.74 Mbps	6.34 Mbps	9.5 Mbps	9.5 Mbps	14.26Mbps
1000	ECC 33	0.0061	0.0067	0.0121	0.0133	0.0242	0.0265
	COST 231	0.0020	0.0021	0.0039	0.0040	0.0082	0.0084
1300	ECC 33	0.0067	0.0074	0.0132	0.0147	0.0264	0.0290
	COST 231	0.0021	0.0022	0.0040	0.0041	0.0085	0.0087
1600	ECC 33	0.0072	0.0080	0.0143	0.0161	0.0283	0.0314
	COST 231	0.0022	0.0022	0.0041	0.0042	0.0087	0.0090
1900	ECC 33	0.0077	0.0087	0.0154	0.0174	0.0302	0.0338
	COST 231	0.0022	0.0023	0.0042	0.0043	0.0089	0.0092
2200	ECC 33	0.0082	0.0093	0.0164	0.0187	0.0320	0.0360
	COST 231	0.0022	0.0023	0.0043	0.0044	0.0091	0.0094
2500	ECC 33	0.0087	0.0099	0.0174	0.0200	0.0338	0.0383
	COST 231	0.0023	0.0024	0.0044	0.0045	0.0092	0.0095

(Sumber : Hasil Perhitungan, 2014)

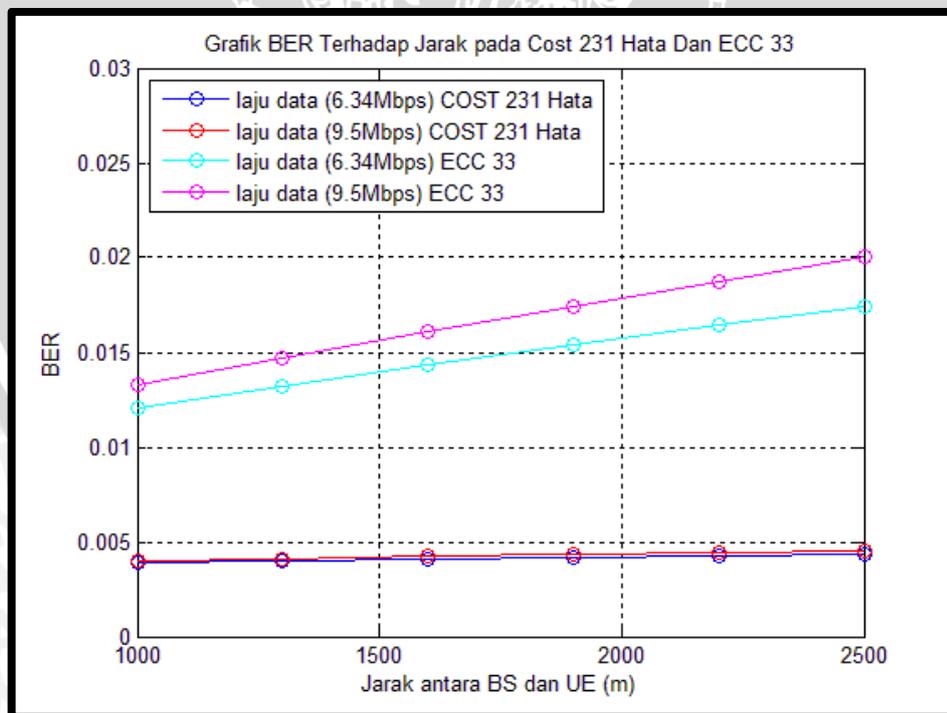
Tabel 4.20 Hasil Perhitungan BER untuk Kecepatan 100 km/jam pada COST 231 dan ECC 33

Jarak	Model Propagasi	Bit Error Rate (P_b)					
		QPSK		16-QAM		64-QAM	
		3.17Mbps	4.74 Mbps	6.34 Mbps	9.5 Mbps	9.5 Mbps	14.26Mbps
1000	ECC 33	0.0061	0.0067	0.0121	0.0133	0.0242	0.0265
	COST 231	0.0020	0.0021	0.0039	0.0040	0.0082	0.0084
1300	ECC 33	0.0067	0.0074	0.0132	0.0147	0.0264	0.0290
	COST 231	0.0021	0.0022	0.0040	0.0041	0.0085	0.0087
1600	ECC 33	0.0072	0.0080	0.0143	0.0161	0.0283	0.0314
	COST 231	0.0022	0.0022	0.0041	0.0042	0.0087	0.0090
1900	ECC 33	0.0077	0.0087	0.0154	0.0174	0.0302	0.0338
	COST 231	0.0022	0.0023	0.0042	0.0043	0.0089	0.0092
2200	ECC 33	0.0082	0.0093	0.0164	0.0187	0.0320	0.0360
	COST 231	0.0022	0.0023	0.0043	0.0044	0.0091	0.0094
2500	ECC 33	0.0087	0.0099	0.0174	0.0200	0.0338	0.0383
	COST 231	0.0023	0.0024	0.0044	0.0045	0.0092	0.0095

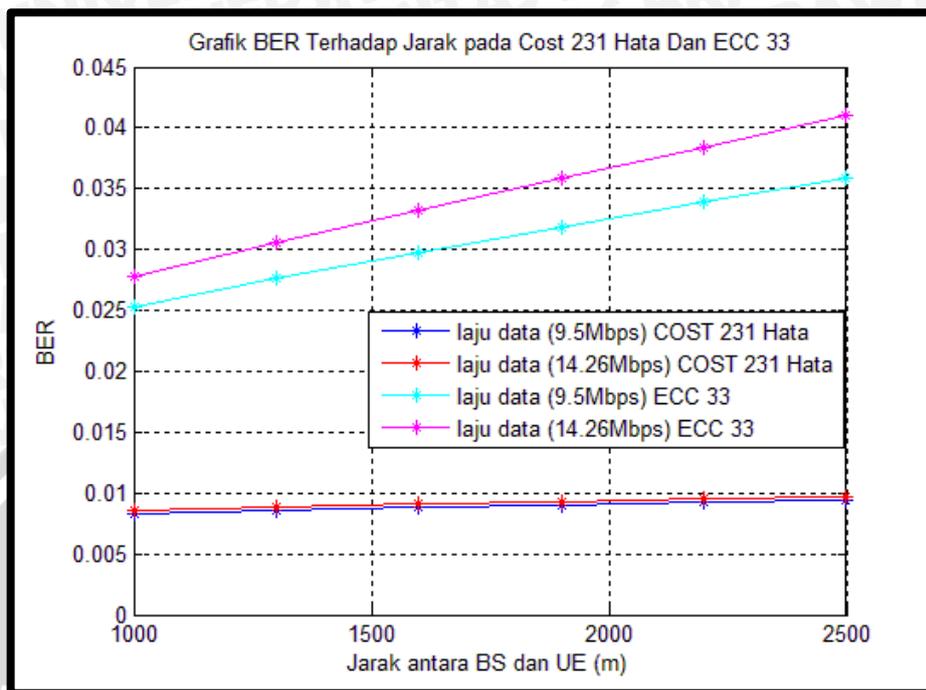
(Sumber : Hasil Perhitungan, 2014)



Grafik 4.13 Grafik Perbandingan Pengaruh Jarak BS dan UE Terhadap Nilai BER dengan Laju Data Total yang Berbeda Menggunakan Teknik Modulasi QPSK
(Sumber : Hasil Perhitungan, 2014)



Grafik 4.14 Grafik Perbandingan Pengaruh Jarak BS dan UE Terhadap Nilai BER dengan Laju Data Total yang Berbeda Menggunakan Teknik Modulasi 16-QAM
(Sumber : Hasil Perhitungan, 2014)



Grafik 4.15 Grafik Perbandingan Pengaruh Jarak BS dan UE Terhadap Nilai BER dengan Laju Data Total yang Berbeda Menggunakan Teknik Modulasi 64-QAM
(Sumber : Hasil Perhitungan, 2014)

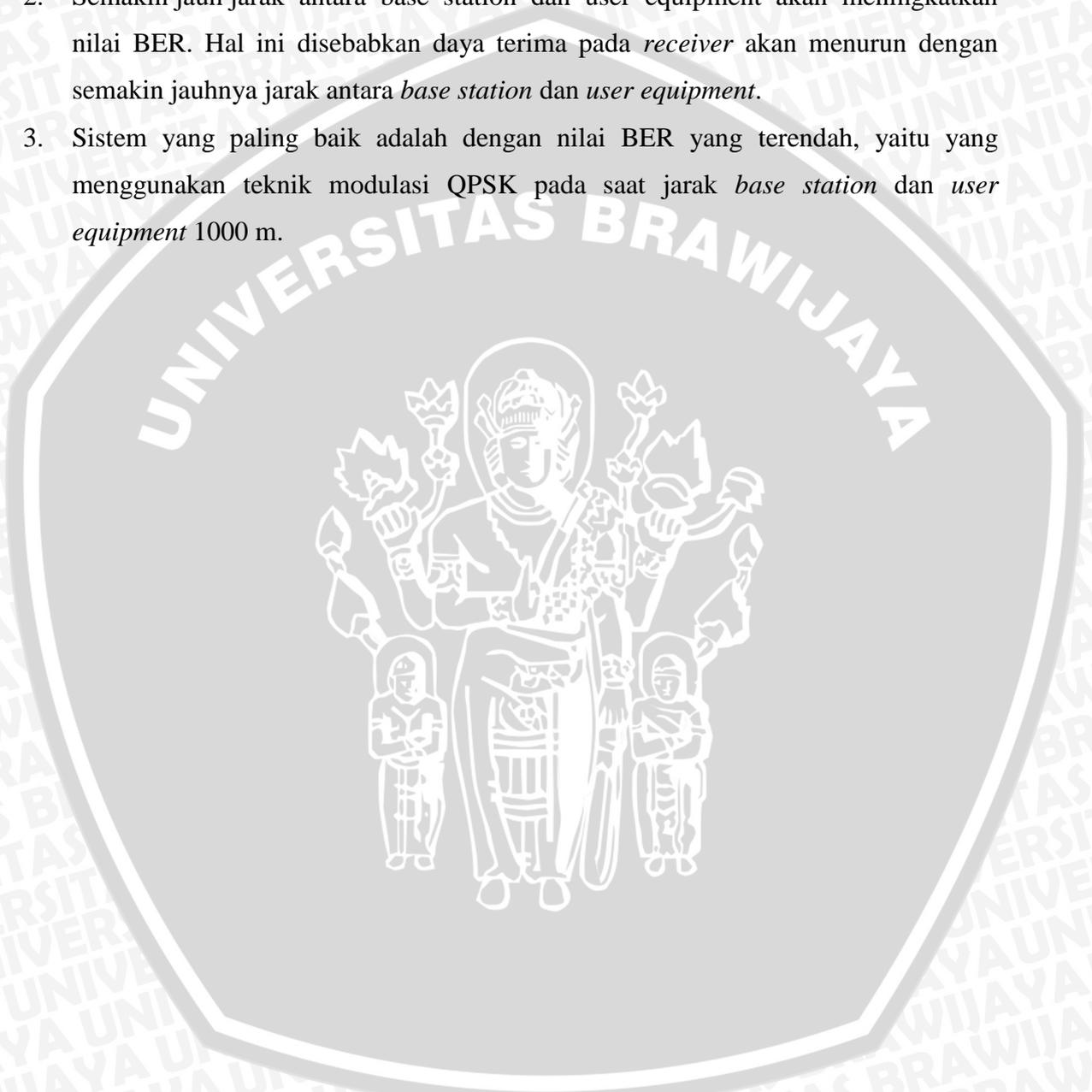
Dengan menggunakan cara yang sama untuk jarak base Grafik 4.13 sampai 4.15 merupakan grafik pengaruh jarak antara *base station* dan *user equipment* terhadap nilai *bit error rate* (BER) menggunakan teknik modulasi berbeda dengan laju data total yang berbeda pada kecepatan yang bervariasi yaitu 5 km/jam, 60 km/jam dan 120 km/jam. Nilai BER semakin besar ketika jarak *base station* dan *user equipment* semakin jauh. Sedangkan perbedaan laju data total pengaruhnya terhadap BER adalah semakin besar laju data total, maka nilai BER semakin besar. Pada jarak 1000 m, dengan laju data total 9.5 Mbps pada 64-QAM BER bernilai 0.0242 dan pada laju data total 14.26 Mbps BER bernilai 0.0265.

Secara keseluruhan, berdasarkan hasil perhitungan bit error rate (BER) dapat diketahui bahwa :

1. Penggunaan suatu teknik modulasi berpengaruh terhadap nilai BER dari suatu sistem. Dari perhitungan terlihat bahwa nilai BER yang menggunakan teknik modulasi 64-QAM akan menghasilkan nilai yang lebih besar daripada yang menggunakan teknik modulasi QPSK dan 16-QAM. Hal ini dikarenakan laju data

total teknik modulasi 64-QAM adalah yang paling tinggi dibandingkan QPSK dan 16-QAM. Semakin cepat suatu data ditransmisikan, nilai Eb/No akan semakin kecil. Begitu pula dengan besarnya BER yang akan bertambah seiring bertambahnya nilai laju data.

2. Semakin jauh jarak antara base station dan user equipment akan meningkatkan nilai BER. Hal ini disebabkan daya terima pada *receiver* akan menurun dengan semakin jauhnya jarak antara *base station* dan *user equipment*.
3. Sistem yang paling baik adalah dengan nilai BER yang terendah, yaitu yang menggunakan teknik modulasi QPSK pada saat jarak *base station* dan *user equipment* 1000 m.





BAB V

PENUTUP

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil perhitungan dan pembahasan tentang pengaruh kecepatan pengguna, model propagasi, dan jarak antara *base station* dan *user equipment* terhadap nilai SNR sistem dan BER pada jaringan *mobile WIMAX* dapat disimpulkan bahwa :

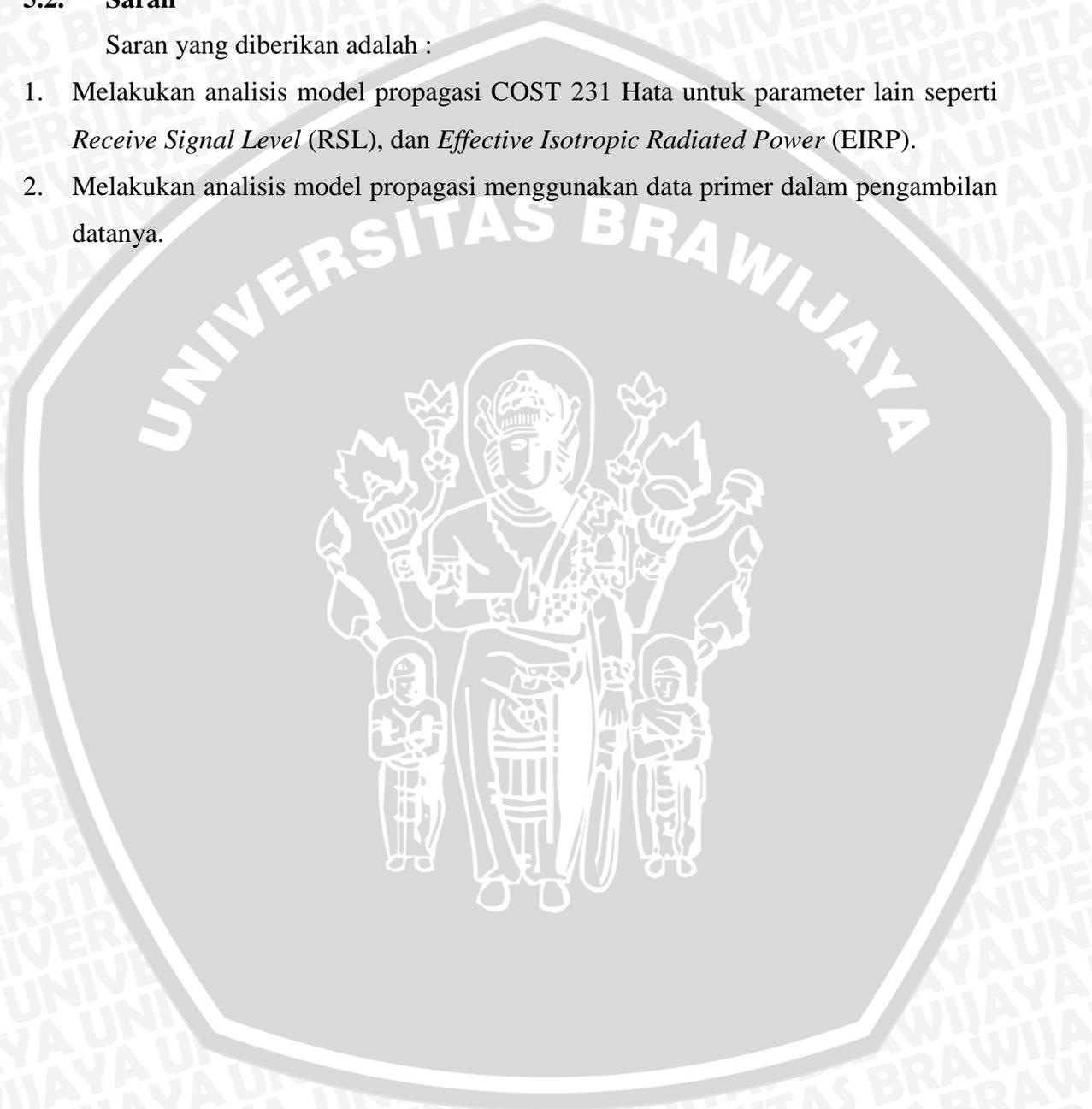
1. Penggunaan teknik modulasi pada *mobile WIMAX* berpengaruh pada nilai *bandwidth*, *Signal to Noise Ratio* (SNR), dan *Bit Error Rate* (BER).
2. Nilai *bandwidth* dipengaruhi oleh kecepatan pengguna. Nilai *bandwidth* terbesar adalah pada laju data total 14.26 Mbps pada kecepatan 100 km/jam, yaitu 2.7204 MHz.
3. Berdasarkan hasil analisis SNR sistem menggunakan model propagasi COST 231 Hata dan ECC 33, didapat bahwa semakin jauh jarak antara *base station* dan *user equipment* maka semakin besar nilai *pathloss*nya sehingga nilai SNR sistem semakin kecil,
 - a) Pada model propagasi COST 231 Hata, nilai SNR sistem terbesar yaitu 124.8716 dB dengan modulasi 64-QAM pada laju data total 9.5 Mbps untuk kecepatan 5 km/jam.
 - b) Pada model propagasi ECC 33, nilai SNR sistem terbesar yaitu 42.3684 dB dengan modulasi 64-QAM pada laju data total 9.5 Mbps untuk kecepatan 5 km/jam.
4. Berdasarkan hasil analisis BER sistem menggunakan model propagasi COST 231 Hata dan ECC 33, didapat bahwa semakin jauh jarak antara *base station* dan *user equipment* maka semakin kecil nilai E_b/N_0 sehingga semakin besar nilai BER sistemnya,
 - a) Pada model propagasi COST 231 Hata, nilai BER sistem terkecil yaitu 0.0020 dengan modulasi QPSK pada laju data total 3.17 Mbps.
 - b) Pada model propagasi ECC 33, nilai BER sistem terkecil yaitu 0.0061 dengan modulasi QPSK pada laju data total 3.17 Mbps.

- c) Model propagasi COST 231 Hata memiliki sistem yang lebih baik dibandingkan dengan model propagasi ECC 33 karena memiliki nilai BER sistem yang lebih kecil.

5.2. Saran

Saran yang diberikan adalah :

1. Melakukan analisis model propagasi COST 231 Hata untuk parameter lain seperti *Receive Signal Level (RSL)*, dan *Effective Isotropic Radiated Power (EIRP)*.
2. Melakukan analisis model propagasi menggunakan data primer dalam pengambilan datanya.



DAFTAR PUSTAKA

- Byeong, Gi Lee and Choi Sunghyun. 2008. *Broadband Wireless Access and Local Networks*. London : Artech House.
- Fontan, F. Perez and P. Marino Espineira. 2008. *Modelling the Wireless Propagation Channel*. London : John Wiley & Sons, Inc.
- Diggelen, Frank Van. 2009. *A-GPS : Assisted GPS, GNSS, and SBAS*. London : Artech House.
- Hara, Shisuke and Ramjee Prasaad. 2003. *Multicarrier Technique for 4G Mobile Communications*. London : Artech House.
- WIMAX Forum, 2006. *Mobile WiMAX – Part I : A Technical Overview and Performance Evaluation*. WIMAX Forum.
- Kumar, Amitabh. 2008. *Mobile Broadcasting with WiMAX :Principles, Technology, and Applications*. Oxford : Elsevier Inc.
- Srikanth, Kumaran V., Manikandan C., Murugesapandian. 2007. *Orthogonal Frequency Division Multiple Access*. Anna University Press, Chennai, India.
- Hes-Shafi, A. Q. M. Abdulla and M. Shahajahan. 2009. *Analysis of Propagation Models for WiMAX at 3.5 GHz*. Blekinge Institute of Technology, Swedia.
- Ergen, Mustafa. 2009. *Mobile Broadband Including WIMAX and LTE*. Berkeley : Springer.
- Holma, Harri and Antti Toskala. 2009. *OFDMA and SC-FDMA Based Radio Access*. London : John Wiley & Sons, Inc.

LAMPIRAN

LAMPIRAN 1

Listing Program Matlab Menghitung dan Menampilkan Grafik Bandwidth Sistem

```

v=[5,60,100]; %kecepatan pengguna dalam km/jam
CP=0.125; %faktor cyclic prefix
NF=7; %noise figure
fc=2*10^9; %frekuensi kerja mobile WIMAX dalam Hz
c=3*10^8 %cepat rambat gelombang di udara m/s
N=512; %jumlah subcarrier pada kanal bandwidth 5 MHz
RtotQPSK1=3.17*10^6; %laju data total QPSK dalam Mbps
RtotQPSK2=4.75*10^6; %laju data total QPSK dalam Mbps
fm=(v*1000/3600)*fc/c %perhitungan frekuensi doppler maksimum
%Bandwidth sistem QPSK untuk kecepatan 5 km/jam (Hz) dengan laju data total 3.17 Mbps
Bsistem1=(RtotQPSK1.*(2*(1-CP)+N-1))./((1-CP)*N.*log2(4))+fm
%Bandwidth sistem QPSK untuk kecepatan 5 km/jam (Hz) dengan laju data total 4.75 Mbps
Bsistem2=(RtotQPSK2.*(2*(1-CP)+N-1))./((1-CP)*N.*log2(4))+fm
figure
plot(v,Bsistem1,'-^blue',v,Bsistem2,'-^red');
hold on;
grid on;
title('Grafik Bandwidth Sistem terhadap Kecepatan Pengguna');
xlabel('Kecepatan Pengguna (km/jam)');
ylabel('Bandwidth Sistem (MHz)');

```

LAMPIRAN 2

Listing Program Matlab Menghitung dan Menampilkan Grafik SNR Sistem

```

d=[1000:300:2500]           %jarak antara BS dan UE dalam meter
fc=2*10^9;                   %frekuensi kerja mobile WIMAXdalam Hz
fc_GHz=2;                   %frekuensi kerja mobile WIMAXdalam GHz
c=3*10^8                     %cepat rambat gelombang di udara m/s
hb=32;                      %tinggi antenna base station (m)
hr=1.5;                     %tinggi antenna UE (m)
cm=3;                       %faktor koreksi
N=512;                      %jumlah subcarrier pada kanal bandwidth 5 MHz
Pt=43;                      %daya pancar
Gt=15;                      %gain antenna pemancar
Gr=-1;                      %gain antenna penerima
ahr=3.20*(log10(11.75*hr))^2-4.79 %faktor koreksi untuk tinggi antenna penerima
%perhitungan pathloss dengan model proagasi COST 231 Hata
PL=(44.9-6.55*log10(hb))*log10(d./1000)+cm+(46.3+33.9*log10(fc_GHz)
13.82*log10(hb))-ahr
x=10*log10(N)
Pr=Pt+Gt+Gr-PL-x           %daya terima
CP=0.125;                 %faktor cyclic prefix
NF=7;                     %noise figure UE
k=1.38*10^-23             %konstanta Boltzman
T=300                     %suhu ruang dalam Kelvin
RtotQPSK1=3.17*10^6;     %laju data total QPSK dalam Mbps
RtotQPSK2=4.75*10^6;     %laju data total QPSK dalam Mbps
v1=5                       %kecepatan dalam km/jam
v2=60                     %kecepatan dalam km/jam

```

v3=100 %kecepatan dalam km/jam

fm1=(v1*1000/3600)*fc/c %perhitungan frekuensi doppler maksimum

fm2=(v2*1000/3600)*fc/c %perhitungan frekuensi doppler maksimum

fm3=(v3*1000/3600)*fc/c %perhitungan frekuensi doppler maksimum

%Bandwidth sistem QPSK untuk kecepatan 5 km/jam (Hz) dengan laju data total 3.17 Mbps

Bsistem1=(RtotQPSK1.*(2*(1-CP)+N-1))./((1-CP)*N.*log2(4))+fm1

%Bandwidth sistem QPSK untuk kecepatan 60 km/jam (Hz) dengan laju data total 3.17 Mbps

Bsistem2=(RtotQPSK1.*(2*(1-CP)+N-1))./((1-CP)*N.*log2(4))+fm2

%Bandwidth sistem QPSK untuk kecepatan 100 km/jam (Hz) dengan laju data total 3.17 Mbps

Bsistem3=(RtotQPSK1.*(2*(1-CP)+N-1))./((1-CP)*N.*log2(4))+fm3

%Bandwidth sistem QPSK untuk kecepatan 5 km/jam (Hz) dengan laju data total 4.75 Mbps

Bsistem4=(RtotQPSK2.*(2*(1-CP)+N-1))./((1-CP)*N.*log2(4))+fm1

%Bandwidth sistem QPSK untuk kecepatan 60 km/jam (Hz) dengan laju data total 4.75 Mbps

Bsistem5=(RtotQPSK2.*(2*(1-CP)+N-1))./((1-CP)*N.*log2(4))+fm2

%Bandwidth sistem QPSK untuk kecepatan 100 km/jam (Hz) dengan laju data total 4.75 Mbps

Bsistem6=(RtotQPSK2.*(2*(1-CP)+N-1))./((1-CP)*N.*log2(4))+fm3

NF=7; %noise figure UE

%daya noise untuk kecepatan 5 km/jam (Hz) dengan laju data total 3.17 Mbps

No1=10*log10(1.38*10^-23.*300)+10.*log10(Bsistem1)+NF

%daya noise untuk kecepatan 60 km/jam (Hz) dengan laju data total 3.17 Mbps

No2=10*log10(1.38*10^-23.*300)+10.*log10(Bsistem2)+NF

%daya noise untuk kecepatan 100 km/jam (Hz) dengan laju data total 3.17 Mbps

No3=10*log10(1.38*10^-23.*300)+10.*log10(Bsistem3)+NF

%daya noise untuk kecepatan 5 km/jam (Hz) dengan laju data total 4.75 Mbps

No4=10*log10(1.38*10^-23.*300)+10.*log10(Bsistem4)+NF

%daya noise untuk kecepatan 60 km/jam (Hz) dengan laju data total 4.75 Mbps

No5=10*log10(1.38*10^-23.*300)+10.*log10(Bsistem5)+NF

%daya noise untuk kecepatan 100 km/jam (Hz) dengan laju data total 4.75 Mbps

No6=10*log10(1.38*10^-23.*300)+10.*log10(Bsistem6)+NF

%Perhitungan SNR sistem

SNR1=Pr-No1

SNR2=Pr-No2

SNR3=Pr-No3

SNR4=Pr-No4

SNR5=Pr-No5

SNR6=Pr-No6

s1=10.^(SNR1/10)

s2=10.^(SNR2/10)

s3=10.^(SNR3/10)

s4=10.^(SNR4/10)

s5=10.^(SNR5/10)

s6=10.^(SNR6/10)

SNRsistem1=(1-CP).*s1

SNRsistem2=(1-CP).*s2

SNRsistem3=(1-CP).*s3

SNRsistem4=(1-CP).*s4

SNRsistem5=(1-CP).*s5

SNRsistem6=(1-CP).*s6

SNRsistemdb1=10.*log10(SNRsistem1)

SNRsistemdb2=10.*log10(SNRsistem2)

SNRsistemdb3=10.*log10(SNRsistem3)

SNRsistemdb4=10.*log10(SNRsistem4)

SNRsistemdb5=10.*log10(SNRsistem5)

SNRsistemdb6=10.*log10(SNRsistem6)

figure(1)

plot(d,SNRsistemdb1,'-^blue',d,SNRsistemdb4,'-^red');

hold on;

grid on;

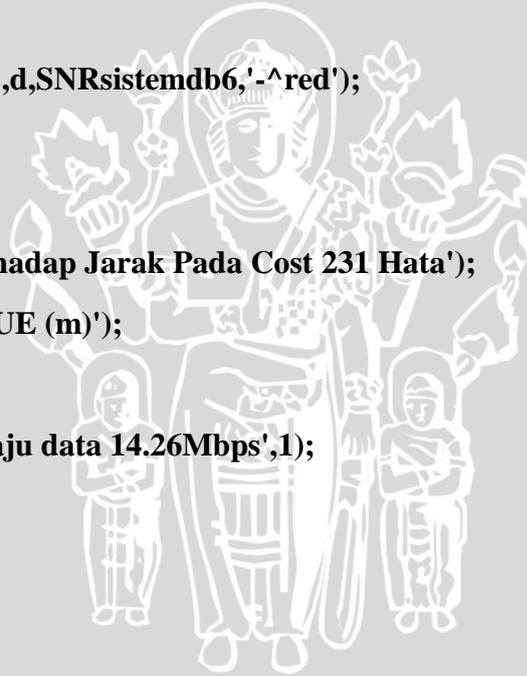
title('Grafik SNR Sistem Terhadap Jarak Pada Cost 231 Hata');



```

xlabel('Jarak antara BS dan UE (m)');
ylabel('SNR Sistem (db)');
legend('laju data 9.5Mbps','laju data 14.26Mbps',1);
figure(2)
plot(d,SNRsistemdb2,'-^blue',d,SNRsistemdb5,'-^red');
hold on;
grid on;
title('Grafik SNR Sistem Terhadap Jarak Pada Cost 231 Hata');
xlabel('Jarak antara BS dan UE (m)');
ylabel('SNR Sistem (db)');
legend('laju data 9.5Mbps','laju data 14.26Mbps',1);
figure(3)
plot(d,SNRsistemdb3,'-^blue',d,SNRsistemdb6,'-^red');
hold on;
grid on;
title('Grafik SNR Sistem Terhadap Jarak Pada Cost 231 Hata');
xlabel('Jarak antara BS dan UE (m)');
ylabel('SNR Sistem (db)');
legend('laju data 9.5Mbps','laju data 14.26Mbps',1);

```



LAMPIRAN 3

Listing Program Matlab Menghitung dan Menampilkan Grafik BER Sistem

```

d=[1000:300:2500] %jarak antara BS dan UE dalam meter
fc=2*10^9; %frekuensi kerja mobile WIMAXdalam Hz
fc_GHz=2; %frekuensi kerja mobile WIMAXdalam GHz
c=3*10^8 %cepat rambat gelombang di udara m/s
hb=32; %tinggi antenna base station (m)
hr=1.5; %tinggi antenna UE (m)
cm=3; %faktor koreksi
N=512; %jumlah subcarrier pada kanal bandwidth 5 MHz
Pt=43; %daya pancar
Gt=15; %gain antenna pemancar
Gr=-1; %gain antenna penerima
ahr=3.20*(log10(11.75*hr))^2-4.79 %faktor koreksi untuk tinggi antenna penerima
%perhitungan pathloss dengan model proagasi COST 231 Hata
PL=(44.9-6.55*log10(hb))*log10(d./1000)+cm+(46.3+33.9*log10(fc_GHz)
13.82*log10(hb))-ahr
x=10*log10(N)
Pr=Pt+Gt+Gr-PL-x %daya terima
CP=0.125; %faktor cyclic prefix
NF=7; %noise figure UE
k=1.38*10^-23 %konstanta Boltzman
T=300 %suhu ruang dalam Kelvin
RtotQPSK1=3.17*10^6; %laju data total QPSK dalam Mbps
RtotQPSK2=4.75*10^6; %laju data total QPSK dalam Mbps
v1=5 %kecepatan dalam km/jam
v2=60 %kecepatan dalam km/jam

```

v3=100 %kecepatan dalam km/jam

fm1=(v1*1000/3600)*fc/c %perhitungan frekuensi doppler maksimum

fm2=(v2*1000/3600)*fc/c %perhitungan frekuensi doppler maksimum

fm3=(v3*1000/3600)*fc/c %perhitungan frekuensi doppler maksimum

%Bandwidth sistem QPSK untuk kecepatan 5 km/jam (Hz) dengan laju data total 3.17 Mbps

Bsistem1=(RtotQPSK1.*(2*(1-CP)+N-1))./((1-CP)*N.*log2(4))+fm1

%Bandwidth sistem QPSK untuk kecepatan 60 km/jam (Hz) dengan laju data total 3.17 Mbps

Bsistem2=(RtotQPSK1.*(2*(1-CP)+N-1))./((1-CP)*N.*log2(4))+fm2

%Bandwidth sistem QPSK untuk kecepatan 100 km/jam (Hz) dengan laju data total 3.17 Mbps

Bsistem3=(RtotQPSK1.*(2*(1-CP)+N-1))./((1-CP)*N.*log2(4))+fm3

%Bandwidth sistem QPSK untuk kecepatan 5 km/jam (Hz) dengan laju data total 4.75 Mbps

Bsistem4=(RtotQPSK2.*(2*(1-CP)+N-1))./((1-CP)*N.*log2(4))+fm1

%Bandwidth sistem QPSK untuk kecepatan 60 km/jam (Hz) dengan laju data total 4.75 Mbps

Bsistem5=(RtotQPSK2.*(2*(1-CP)+N-1))./((1-CP)*N.*log2(4))+fm2

%Bandwidth sistem QPSK untuk kecepatan 100 km/jam (Hz) dengan laju data total 4.75 Mbps

Bsistem6=(RtotQPSK2.*(2*(1-CP)+N-1))./((1-CP)*N.*log2(4))+fm3

NF=7; %noise figure UE

%daya noise untuk kecepatan 5 km/jam (Hz) dengan laju data total 3.17 Mbps

No1=10*log10(1.38*10^-23.*300)+10.*log10(Bsistem1)+NF

%daya noise untuk kecepatan 60 km/jam (Hz) dengan laju data total 3.17 Mbps

No2=10*log10(1.38*10^-23.*300)+10.*log10(Bsistem2)+NF

%daya noise untuk kecepatan 100 km/jam (Hz) dengan laju data total 3.17 Mbps

No3=10*log10(1.38*10^-23.*300)+10.*log10(Bsistem3)+NF

%daya noise untuk kecepatan 5 km/jam (Hz) dengan laju data total 4.75 Mbps

No4=10*log10(1.38*10^-23.*300)+10.*log10(Bsistem4)+NF

%daya noise untuk kecepatan 60 km/jam (Hz) dengan laju data total 4.75 Mbps

No5=10*log10(1.38*10^-23.*300)+10.*log10(Bsistem5)+NF

%daya noise untuk kecepatan 100 km/jam (Hz) dengan laju data total 4.75 Mbps

No6=10*log10(1.38*10^-23.*300)+10.*log10(Bsistem6)+NF

%Perhitungan SNR sistem

$$\text{SNR1}=\text{Pr-No1}$$

$$\text{SNR2}=\text{Pr-No2}$$

$$\text{SNR3}=\text{Pr-No3}$$

$$\text{SNR4}=\text{Pr-No4}$$

$$\text{SNR5}=\text{Pr-No5}$$

$$\text{SNR6}=\text{Pr-No6}$$

$$s1=10.^{(\text{SNR1}/10)}$$

$$s2=10.^{(\text{SNR2}/10)}$$

$$s3=10.^{(\text{SNR3}/10)}$$

$$s4=10.^{(\text{SNR4}/10)}$$

$$s5=10.^{(\text{SNR5}/10)}$$

$$s6=10.^{(\text{SNR6}/10)}$$

$$\text{SNRsistem1}=(1-\text{CP}).*s1$$

$$\text{SNRsistem2}=(1-\text{CP}).*s2$$

$$\text{SNRsistem3}=(1-\text{CP}).*s3$$

$$\text{SNRsistem4}=(1-\text{CP}).*s4$$

$$\text{SNRsistem5}=(1-\text{CP}).*s5$$

$$\text{SNRsistem6}=(1-\text{CP}).*s6$$

$$\text{SNRsistemdb1}=10.*\log_{10}(\text{SNRsistem1})$$

$$\text{SNRsistemdb2}=10.*\log_{10}(\text{SNRsistem2})$$

$$\text{SNRsistemdb3}=10.*\log_{10}(\text{SNRsistem3})$$

$$\text{SNRsistemdb4}=10.*\log_{10}(\text{SNRsistem4})$$

$$\text{SNRsistemdb5}=10.*\log_{10}(\text{SNRsistem5})$$

$$\text{SNRsistemdb6}=10.*\log_{10}(\text{SNRsistem6})$$

$$\text{EbNo1}=\text{SNRsistemdb1}+10.*\log_{10}(\text{Bsistem1./RtotQPSK1})$$

$$\text{EbNo2}=\text{SNRsistemdb2}+10.*\log_{10}(\text{Bsistem1./RtotQPSK1})$$

$$\text{EbNo3}=\text{SNRsistemdb3}+10.*\log_{10}(\text{Bsistem1./RtotQPSK1})$$

$$\text{EbNo4}=\text{SNRsistemdb4}+10.*\log_{10}(\text{Bsistem1./RtotQPSK2})$$

$$\text{EbNo5}=\text{SNRsistemdb5}+10.*\log_{10}(\text{Bsistem1./RtotQPSK2})$$



$$EbNo6 = SNR_{sistem} db6 + 10 \cdot \log_{10}(B_{sistem1} / R_{tot} QPSK2)$$

$$aPbe1 = 1 + (1 / EbNo1)$$

$$aPbe2 = 1 + (1 / EbNo2)$$

$$aPbe3 = 1 + (1 / EbNo3)$$

$$aPbe4 = 1 + (1 / EbNo4)$$

$$aPbe5 = 1 + (1 / EbNo5)$$

$$aPbe6 = 1 + (1 / EbNo6)$$

$$bPbe = [1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1]$$

$$Pbe1 = 0.5 \cdot (bPbe - (1 / (aPbe1)^{0.5}))$$

$$Pbe2 = 0.5 \cdot (bPbe - (1 / (aPbe2)^{0.5}))$$

$$Pbe3 = 0.5 \cdot (bPbe - (1 / (aPbe3)^{0.5}))$$

$$Pbe4 = 0.5 \cdot (bPbe - (1 / (aPbe4)^{0.5}))$$

$$Pbe5 = 0.5 \cdot (bPbe - (1 / (aPbe5)^{0.5}))$$

$$Pbe6 = 0.5 \cdot (bPbe - (1 / (aPbe6)^{0.5}))$$

figure(1)

```
plot(d,Pbe1,'-^blue',d,Pbe2,'-*blue',d,Pbe3,'-oblue',d,Pbe4,'-^red',d,Pbe5,'-
*red',d,Pbe6,'-ored');
```

```
axis([1000 2500 0 0.01])
```

```
title('Grafik BER Terhadap Jarak pada Cost 231 Hata');
```

```
xlabel('Jarak antara BS dan UE (m)');
```

```
ylabel('BER');
```

```
legend('laju data (6.34Mbps) 5km/jam','laju data (6.34Mbps) 60km/jam','laju data
(6.34Mbps) 100km/jam','laju data (9.5Mbps) 5km/jam','laju data (9.5Mbps)
60km/jam','laju data (9.5Mbps) 100km/jam',2);
```

```
hold on;
```

```
grid on;
```