

**ANALISIS KINERJA SISTEM KOMUNIKASI *MOBILE WIMAX*
PADA MODEL KANAL *STANFORD UNIVERSITY
INTERIM (SUI)* DENGAN VARIASI TIPE TERRAIN
(*URBAN, SUB URBAN, DAN RURAL*)**

SKRIPSI

KONSENTRASI TEKNIK TELEKOMUNIKASI

Diajukan untuk memenuhi sebagian persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik



Disusun Oleh :

LADISSA HARVIDIANTI

NIM. 0810630012 – 63

**KEMENTERIAN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN
UNIVERSITAS BRAWIJAYA
FAKULTAS TEKNIK
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
MALANG
2012**

LEMBAR PERSETUJUAN

**ANALISIS KINERJA SISTEM KOMUNIKASI *MOBILE WIMAX*
PADA MODEL KANAL *STANFORD UNIVERSITY
INTERIM (SUI)* DENGAN VARIASI TIPE TERRAIN
(*URBAN, SUB URBAN, DAN RURAL*)**

SKRIPSI

KONSENTRASI TEKNIK TELEKOMUNIKASI

Diajukan untuk memenuhi persyaratan

memperoleh gelar sarjana teknik



Disusun oleh :

LADISSA HARVIDIANTI

NIM. 0810630012-63

Telah diperiksa dan disetujui oleh

Dosen Pembimbing :

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

Ir. Sigit Kusmaryanto., M.Eng.
NIP. 19700310 199412 1 001

LEMBAR PENGESAHAN

**ANALISIS KINERJA SISTEM KOMUNIKASI *MOBILE WIMAX*
PADA MODEL KANAL *STANFORD UNIVERSITY
INTERIM (SUI)* DENGAN VARIASI TIPE TERRAIN
(*URBAN, SUB URBAN, DAN RURAL*)**

Disusun Oleh :

**LADISSA HARVIDIANTI
NIM: 0810630012 - 63**

Skripsi ini telah diuji dan dinyatakan lulus
pada tanggal **10 Agustus 2012**

Majelis Pengaji :

**DR. Ir. Sholeh Hadi Pramono, MS
NIP. 19580728 198701 1 001**

**Rudy Yuwono, ST., MSc.
NIP. 19710615 199802 1 003**

**Gaguk Asmungi, ST., MT.
NIP. 19670627 199802 1 001**

Mengetahui :
Ketua Jurusan Teknik Elektro

**DR. Ir. Sholeh Hadi Pramono, MS
NIP. 19580728 198701 1 001**

PENGANTAR

Syukur Alhamdulillah, segenap puji dan syukur penulis ucapkan kehadiran Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat, hidayah, ridho, nikmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini dengan judul “*Analisis Kinerja Sistem Komunikasi Mobile WiMAX pada Model Kanal Stanford University Interim (SUI) dengan Variasi Tipe Terrain (urban, sub urban dan rural)*” sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik di Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Brawijaya Malang. Tidak lupa shalawat serta salam semoga senantiasa tercurahkan untuk Rasulullah Muhammad SAW beserta keluarga, sahabat, kerabat dan para pengikutnya sampai akhir jaman.

Dalam menyelesaikan skripsi begitu banyak hal-hal yang terjadi, dimulai dari masa-masa awal ketika penulis berada pada waktu pembelajaran, dilanjutkan dengan masa-masa sulit ketika penulis menemui kendala pada proses simulasi sistem, namun beruntung orang-orang terdekat selalu memberi semangat, dorongan dan saran-saran yang sampai akhirnya menuju masa-masa akhir ketika penulis seperti diberi jalan keluar sehingga pada akhirnya penelitian ini dapat terselesaikan.

Skripsi ini tidak dapat terselesaikan dengan baik tanpa dukungan dan bantuan dari berbagai pihak secara langsung maupun tidak langsung. Oleh karena itu, pada kesempatan ini penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada:

1. Bapak Dr. Ir. Sholeh Adi P., MS. selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro dan Bapak M. Aziz Muslim, ST. MT., Ph.D, selaku sekretaris Jurusan Teknik Elektro.
2. Bapak Moch. Rif'an, ST., MT. selaku Ketua Program Studi Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.
3. Bapak Ali Mustofa,ST.,MT selaku Ketua Kelompok Dosen Keahlian Teknik Telekomunikasi Jurusan Teknik Elektro Universitas Brawijaya sekaligus sebagai dosen pembimbing I, atas segala bantuan dan kesabarannya dalam membimbing, memberikan pengarahan, ide dan saran serta motivasi yang telah diberikan.
4. Bapak Ir.Sigit Kusmaryanto,M.Eng selaku dosen pembimbing II, atas segala bantuan dan kesabarannya dalam membimbing, memberikan pengarahan, ide dan saran serta motivasi yang telah diberikan.



5. Bapak Adharul Muttaqin ST., MT. selaku dosen penasehat akademik selama kuliah yang banyak memberikan pengarahan serta bimbingan akademik.
6. Bapak dan Ibu Dosen serta seluruh karyawan jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.
7. Keluarga tercinta,
Ibu, Bapak, kakak-kakaku, Ekanti Nurina Putri dan Ary Perdana , serta seluruh keluarga besar atas semua doa, kasih sayang, semangat dan kesabaran dalam mendidik dan membesarkan penulis hingga menjadi seperti saat ini. Beribu maaf jika ada air mata selama mendidik dan membesarkan penulis.
8. Krisna Parahita, yang mengerti kekurangan penulis namun masih tetap setia mendampingi dan selalu memberi semangat hingga saat ini.
9. Seluruh keluarga besar Krisna Parahita yang selalu memberi dukungan dan semangat kepada penulis selama proses pengerjaan skripsi ini.
10. Nurlita Yanuarni, Karina Seftia D., Vita Permatasari, Nuha Nadhiroh, Fahima Ulfi T., Anindya Dwi R., Annisa Tri Andini, Robby Fierdaus, Ahmad Sulkhan Taufik, Edwin Gutama dan seluruh sahabat Concordes 2k8 yang telah memberi makna indahnya kebersamaan dan persahabatan serta dukungan dan semangat hingga terselesaikannya skripsi ini.
11. Teman-teman kos WM II/14, Karin, Lita, Sita, Ary, Ina, Fifi, zahro, mbak muji, atas dukungan dan persahabatan yang kalian berikan.
12. Semua pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu, atas dukungannya dan bantuannya.

Penulis menyadari bahwa yang tersusun dalam skripsi ini masih banyak kekurangan karena keterbatasan materi dan pengetahuan yang dimiliki. Karena itu, kritik dan saran sangat diharapkan. Akhir kata, penulis mengharapkan semoga penelitian ini bermanfaat untuk kita semua, rekan-rekan mahasiswa khususnya dan bagi seluruh pembaca pada umumnya.

Malang, Agustus 2012

Penulis

DAFTAR ISI

halaman

KATA PENGANTAR	i
DAFTAR ISI	iii
DAFTAR GAMBAR	v
DAFTAR TABEL	vii
DAFTAR LAMPIRAN	ix
ABSTRAK	x
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Belakang.....	2
1.3 Batasan Masalah.....	2
1.4 Tujuan.....	3
1.5 Sistematika Penulisan.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1 <i>Worldwide Interoperability for Microwave Access 802.16/16e (Mobile WiMAX)</i>	4
2.1.1 Arsitektur <i>Mobile WiMAX</i>	4
2.1.2 Spektrum Frekuensi dan Sistem <i>Duplexing WiMAX</i>	6
2.1.3 Protokol IEEE 802.16/16e	7
2.2 <i>Orthogonal Frequency Division Multiple Access (OFDMA)</i>	11
2.2.1 Definisi <i>Orthogonal</i>	13
2.2.2 Struktur Simbol QFDMA dan Subkanalisisasi	15
2.2.3 Blok Diagram OFDMA	16
2.3 Kanal Propagasi	28
2.3.1 Kanal <i>Additive White Gaussian Noise (AWGN)</i>	29
2.3.2 Kanal <i>Fading</i>	30
2.4 Model Kanal Propagasi	36
2.4.1 Model <i>Stanford University Interim (SUI)</i>	37
2.4.2 Model COST-231 Hatta	40
2.4.3 Model ECC-33	41
2.5 Parameter Performansi Sistem	41
2.5.1 <i>Signal to Noise Ratio</i>	41



2.5.2 Laju Data	42
2.5.3 <i>Energy Bit-to-Noise Ratio</i>	43
2.5.4 <i>Bit Error Rate</i>	44
BAB III METODE PENELITIAN	50
3.1 Jenis dan Cara Perolehan Data	46
3.2 Variabel dan Cara Analisis Data	48
3.3 Kerangka Solusi Masalah	48
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	53
4.1 Parameter Simulasi	53
4.1.1 Parameter Model Lapisan Fisik	53
4.1.2 Parameter Model Kanal	54
4.2 Analisis Parameter Model Kanal terhadap Jenis <i>Fading</i>	55
4.3 Analisis Performansi Sistem dalam BER Model Kanal SUI dengan Variasi Kecepatan Pengguna	56
4.3.1 Pengguna dengan Pergerakan 0 km/jam	57
4.3.2 Pengguna dengan Pergerakan 3 km/jam	59
4.3.3 Pengguna dengan Pergerakan 60 km/jam	60
4.3.4 Pengguna dengan Pergerakan 120 km/jam	62
4.3.5 Analisis Performansi Model Kanal SUI 6 Pada Beberapa Kecepatan Pengguna	66
4.4 Analisis Performansi BER Model Kanal SUI dengan Variasi Jarak Pemancar dan Penerima pada Beberapa Jumlah <i>Sub-carrier</i>	68
4.4.1 Analisis Performansi BER Model Kanal SUI dengan Variasi Jarak Pemancar dan Penerima pada Jumlah <i>Sub-carrier</i> 420	76
4.4.2 Analisis Performansi BER Model Kanal SUI dengan Variasi Jarak Pemancar dan Penerima pada Jumlah <i>Sub-carrier</i> 840	80
BAB V PENUTUP	83
5.1 Kesimpulan	83
5.2 Saran	84
DAFTAR PUSTAKA	85
LAMPIRAN	86

DAFTAR GAMBAR

	halaman
Gambar 2.1 Arsitektur <i>Mobile WiMAX</i>	5
Gambar 2.2 Entity Jaringan <i>Mobile WiMAX</i>	6
Gambar 2.3 Protokol IEEE 802.16/16e	8
Gambar 2.4 Perbandingan FDD dan TDD	9
Gambar 2.5 Hubungan Radius Jangkauan dengan Sistem Modulasi	10
Gambar 2.6 Perbandingan Sinyal OFDM dengan Sinyal OFDMA	12
Gambar 2.7 <i>Inter Carrier Interference (ICI)</i>	13
Gambar 2.8 Efisiensi Penggunaan <i>Bandwidth</i> pada OFDMA.....	13
Gambar 2.9 Representasi Orthogonalitas antar <i>Sub-Carrier</i>	14
Gambar 2.10 Struktur <i>Sub-Carrier</i> OFDM	15
Gambar 2.11 Perbedaan OFDM dan OFDMA	16
Gambar 2.12 Blok Diagram Pemancar dan Penerima Sistem OFDMA.....	16
Gambar 2.13 (a) Konversi Serial ke Paralel (b) Konversi Paralel ke Serial.....	17
Gambar 2.14 Konstelasi Sinyal QPSK.....	18
Gambar 2.15 Diagram Blok Modulator QPSK.....	18
Gambar 2.16 Sinyal Keluaran Modulator QPSK	19
Gambar 2.17 Ilustrasi Transformasi Fourier untuk Konversi Sinyal	20
Gambar 2.18 (a) Proses IFFT (b) Proses FFT	21
Gambar 2.19 Ilustrasi Penguraian DFT	22
Gambar 2.20 Lingkaran <i>Twiddle Factor</i> untuk N=8	24
Gambar 2.21 Diagram Dasar <i>Butterfly</i>	25
Gambar 2.22 Diagram <i>Butterfly</i> untuk 4-point FFT	25
Gambar 2.23 Simbol OFDMA dengan <i>Guard Interval</i>	27
Gambar 2.24 Penyisipan <i>Cyclic Prefix</i> pada Simbol OFDMA	27
Gambar 2.25 Pemodelan Kanal AWGN.....	30
Gambar 2.26 Model Kanal <i>Fading</i>	31
Gambar 2.27 Efek Doppler dalam Sistem Komunikasi Bergerak	32
Gambar 2.28 <i>Rounded Doppler Spektrum</i>	35
Gambar 2.29 <i>Classic Jakes Doppler Spectrum</i>	36
Gambar 3.1 Diagram Alir untuk Blok <i>Channel</i>	49
Gambar 3.2 Diagram Alir Perhitungan <i>Signal to Noise Ratio (SNR)</i> Sistem	50

Gambar 3.3	Diagram Alir Perhitungan <i>Bit Error Rate</i> (BER) Sistem.....	51
Gambar 4.1	Hubungan BER terhadap SNR dengan Kecepatan Pengguna 0 km/jam	58
Gambar 4.2	Hubungan BER terhadap SNR dengan Kecepatan Pengguna 3 km/jam	60
Gambar 4.3	Hubungan BER terhadap SNR dengan Kecepatan Pengguna 60 km/jam	62
Gambar 4.4	Hubungan BER terhadap SNR dengan Kecepatan Pengguna 120 km/jam	64
Gambar 4.5	Respon Impuls Model Kanal SUI 4	65
Gambar 4.6	Respon Impuls Model Kanal SUI 5	65
Gambar 4.7	Respon Impuls Model Kanal SUI 6	66
Gambar 4.8	Hubungan BER terhadap SNR pada Model Kanal SUI 6	67
Gambar 4.9	Hubungan <i>Pathloss</i> terhadap jarak <i>User</i>	70
Gambar 4.10	Hubungan Daya Terima terhadap Jarak <i>User</i>	72
Gambar 4.11	Hubungan SNR terhadap Jarak <i>User</i>	74
Gambar 4.12	Hubungan SNR Sistem terhadap Jarak <i>User</i>	75
Gambar 4.13	Hubungan BER terhadap Jarak <i>User</i> pada <i>Sub-Carrier</i> 420	79
Gambar 4.14	Hubungan BER terhadap Jarak <i>User</i> pada <i>Sub-Carrier</i> 840	81

DAFTAR TABEL

	halaman	
Tabel 2.1	Bandwidth Kanal dan Sistem <i>Duplexing</i> pada WiMAX	7
Tabel 2.2	Parameter-Parameter <i>Scalable OFDMA</i> (SOFDMA)	9
Tabel 2.3	Ketentuan Jumlah <i>Sub-Carrier</i> pada Arah <i>Downlink</i>	15
Tabel 2.4	Keluaran Modulator QPSK.....	19
Tabel 2.5	Susunan <i>bit-reversed</i> data <i>input</i> untuk N=8	23
Tabel 2.6	Parameter untuk Tipe Terrain yang Berbeda.....	38
Tabel 2.7	Parameter Model SUI 1	39
Tabel 2.8	Parameter Model SUI 2	39
Tabel 2.9	Parameter Model SUI 3	39
Tabel 2.10	Parameter Model SUI 4	40
Tabel 2.11	Parameter Model SUI 5	40
Tabel 2.12	Parameter Model SUI 6	40
Tabel 4.1	Parameter Model Lapisan Fisik Simulasi	53
Tabel 4.2	Parameter Kanal SUI 4 – SUI 6.....	54
Tabel 4.3	Karakteristik Kanal dalam Domain Waktu.....	55
Tabel 4.4	Karakteristik Kanal dalam Domain Frekuensi.....	56
Tabel 4.5	Nilai BER terhadap SNR pada Setiap Model Kanal SUI pada Kecepatan 0 km/jam	57
Tabel 4.6	Nilai BER terhadap SNR pada Pengguna Kecepatan 3 km/jam.....	59
Tabel 4.7	Nilai BER terhadap SNR pada Pengguna Kecepatan 60 km/jam.....	61
Tabel 4.8	Nilai BER terhadap SNR pada Pengguna Kecepatan 120 km/jam.....	63
Tabel 4.9	Nilai BER terhadap SNR pada Model Kanal SUI 6	67
Tabel 4.10	Spesifikasi Mobile WiMAX 802.16e	68
Tabel 4.11	Nilai <i>Pathloss</i> terhadap Jarak <i>User</i>	70
Tabel 4.12	Nilai Daya Terima terhadap Jarak <i>User</i> pada <i>Sub-carrier</i> 420 dan Sub-Carrier 840.....	71
Tabel 4.13	Nilai SNR terhadap Jarak <i>User</i> pada <i>Sub-Carrier</i> 420 dan <i>Sub-Carrier</i> 840	73
Tabel 4.14	Nilai SNR Sistem terhadap Jarak <i>User</i> pada <i>Sub-Carrier</i> 420 dan <i>Sub-Carrier</i> 840	75
Tabel 4.15	Nilai E _b /N ₀ terhadap Jarak <i>User</i> pada <i>Sub-Carrier</i> 420.....	77

Tabel 4.16	Nilai BER terhadap Jarak Pengguna pada <i>Sub-Carrier 420</i>	78
Tabel 4.17	Nilai E_b/N_0 terhadap Jarak <i>User</i> pada <i>Sub-Carrier 840</i>	80
Tabel 4.18	Nilai BER terhadap Jarak Pengguna pada <i>Sub-Carrier 840</i>	81



DAFTAR LAMPIRAN

halaman

Lampiran 1	<i>Listing Program Matlab untuk Simulasi Variasi Kecepatan Pengguna</i>	87
Lampiran 2	<i>Listing Program Matlab untuk Menghitung SNR sistem dan BER sistem</i>	94
Lampiran 3	<i>Listing Program Matlab Respon Impuls Kanal SUI 4 – SUI 6</i>	98



ABSTRAK

LADISSA HARVIDIANTI, Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, Juli 2012, *Analisis Kinerja Sistem Komunikasi Mobile WiMAX pada Model Kanal SUI dengan Variasi Tipe Terrain (urban, sub urban dan rural)*, Dosen Pembimbing : Ali Mustofa, ST., MT. dan Ir. Sigit Kusmaryanto, M.Eng.

Salah satu teknologi yang dikembangkan untuk memenuhi kebutuhan manusia yang menuntut adanya kecepatan transmisi *data* yang tinggi adalah WiMAX. WiMAX telah melalui beberapa tahapan pengembangan dan standarisasi ke arah mobilitas sampai terbentuknya standar IEEE 802.16e yang dikenal dengan nama *Mobile WiMAX*. *Mobile WiMAX* memenuhi kapabilitas untuk aplikasi *portable* dan *mobile* yang merupakan optimalisasi kinerja dari standar sebelumnya sehingga dapat mengatasi dinamika kanal bergerak. Untuk mengatasi dinamika kanal nirkabel bergerak diperlukan suatu model kanal yang menggambarkan kanal nirkabel bergerak yang akurat. Salah satu Model kanal Propagasi yang akurat adalah model kanal *Stanford University Interim* (SUI). Model SUI merupakan model yang memperhitungkan karakteristik dispersif dari kanal dan mencakup semua jenis *terrain*. Kinerja yang diamati adalah *Bit Error Rate* (BER) terhadap *Signal to Noise Ratio* (SNR) yang mensimulasikan pergerakan pengguna dari 0 km/jam hingga 120 km/jam pada model kanal SUI dengan perpaduan kanal AWGN dan *Rayleigh Fading*. Selain itu, diamati pula pengaruh dari penambahan jumlah *sub-carrier* dan jarak *user* terhadap *base station* terhadap kinerja *Bit Error Rate*. Hasil simulasi dan analisis menyatakan bahwa model kanal SUI 4 dan SUI 5 memiliki performansi yang tidak baik karena memiliki respon impuls yang tidak linier dibandingkan dengan model kanal SUI 6. Model kanal SUI 6 memiliki performansi terbaik pada kecepatan 0 km/jam dengan nilai BER 0,16 pada level SNR 20 dB. Semakin tinggi kecepatan pengguna semakin buruk performansi BER terhadap SNR. Semakin besar jumlah *sub carrier* yang digunakan dan semakin besar jarak pengguna terhadap base station menyebabkan nilai SNR_{sistem} semakin kecil dan nilai BER semakin besar. Model kanal SUI 1 dan SUI 2 yang merupakan kategori *terrain C (rural)* memperoleh performansi terbaik jika dibandingkan dengan *terrain A (urban)* dan *B (sub urban)* sedangkan perhitungan nilai *Bit Error Rate* yang diperoleh pada kanal AWGN lebih baik daripada kanal *Rayleigh Fading*. Hal tersebut dapat dilihat pada jarak pengguna 700 m, jumlah *sub-carrier* 420, BER kanal AWGN pada *terrain A* sebesar $2,076 \times 10^{-15}$, pada *terrain B* sebesar $2,05 \times 10^{-17}$ sedangkan pada *terrain C* sebesar $6,41 \times 10^{-21}$. Kemudian pada jarak 700 m, jumlah *sub-carrier* 420, BER kanal *Rayleigh Fading* pada *terrain A* sebesar $7,92 \times 10^{-3}$, pada *terrain B* sebesar $6,9 \times 10^{-3}$, sedangkan pada *terrain C* sebesar $5,67 \times 10^{-3}$.

Kata Kunci : *Mobile WiMAX, Stanford University Interim, kinerja, Bit Error Rate, terrain, Rayleigh Fading, AWGN*



BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perkembangan teknologi nirkabel pada saat ini sangat pesat, hal ini sejalan dengan peningkatan kebutuhan manusia yang menuntut adanya kecepatan transmisi data yang tinggi serta sistem *transceiver* yang handal dan efisien. Salah satu teknologi yang dikembangkan untuk mewujudkan hal tersebut adalah WiMAX. WiMAX telah melalui beberapa tahapan pengembangan dan standarisasi ke arah mobilitas sampai terbentuknya standar IEEE 802.16e yang dikenal dengan nama *Mobile WiMAX*. *Mobile WiMAX* sudah menggunakan *Scalable Orthogonal Frequency Division Multiplexing Access* (SOFDMA), yaitu suatu teknik *multi-carrier modulation* yang menggunakan subkanalisasi. *Mobile WiMAX* memenuhi kapabilitas untuk aplikasi *portable* dan *mobile* yang merupakan optimalisasi kinerja dari standar sebelumnya sehingga dapat mengatasi dinamika kanal bergerak. Untuk mengatasi dinamika kanal nirkabel bergerak diperlukan suatu model kanal yang menggambarkan kanal nirkabel bergerak yang akurat. Model kanal propagasi sangat berperan penting dalam perencanaan jaringan nirkabel. Terdapat tiga model kanal propagasi, antara lain model empirik, deterministik dan stokastik. Dari ketiga model tersebut model kanal propagasi empirik sangat diminati di kalangan peneliti karena memberikan kemudahan penggunaan serta toleransi terhadap ketidaktersediaan informasi *terrain*. Yang termasuk dalam model kanal propagasi empirik adalah model ECC-33, COST Hatta dan SUI. Dari berbagai model empirik yang ada, model SUI merupakan model yang memperhitungkan karakteristik dispersif dari kanal dan mencakup semua jenis *terrain*. Selain itu, model kanal SUI cukup akurat dalam perhitungan segala tipe topografi dengan perhitungan yang tidak terlalu kompleks.

Kinerja dari sistem komunikasi nirkabel bergerak dipengaruhi oleh keadaan kanal antara pemancar dan penerima yang sangat rentan terhadap *fading* karena pergerakan yang dilakukan oleh pengguna dan dapat menyebabkan kinerja sistem menurun. Untuk mengatasi efek kanal *frequency selective fading* ketika terjadi pengiriman data yang berkecepatan tinggi, maka digunakan sistem *Orthogonal Frequency Division Multiple Access* (OFDMA). Sistem WiMAX yang menggunakan teknik OFDMA ini dapat mengatasi efek *intersymbol interference* (ISI).

Pada penelitian ini akan dianalisis performansi *mobile* WiMAX jika diterapkan pada model kanal SUI. Untuk mengetahui performansi *mobile* WiMAX tersebut maka dilakukan analisis BER dan analisis SNR untuk mengamati karakteristik pada setiap model kanal SUI pada perubahan berbagai kecepatan pengguna, perubahan jumlah *sub carrier*, dan perubahan jarak pengguna terhadap *base station*.

1.2 Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah dalam skripsi ini dengan mengacu pada uraian latar belakang adalah sebagai berikut :

1. Bagaimana perbandingan kinerja *Bit Error Rate* (BER) model kanal SUI variasi kecepatan pengguna dari 0 km/jam hingga 120 km/jam pada tipe *terrain* yang berbeda?
2. Bagaimana perbandingan kinerja *Bit Error Rate* (BER) model kanal SUI dengan perubahan jarak pengguna terhadap *base station* pada beberapa jumlah *sub carrier* dan tipe *terrain* yang berbeda?

1.3 Batasan Masalah

Berdasarkan perumusan masalah di atas maka pembahasan dibatasi pada :

1. *Bandwidth* kanal yang digunakan sebesar 5 MHz dan 10 MHz dan menggunakan format modulasi QPSK,
2. Simulasi sistem WiMAX 802.16/16e menggunakan *software* Matlab 7.13.0 (R2011b),
3. Analisis transmisi *data* dilakukan pada sisi *downlink*,
4. Jumlah *sub carrier* yang digunakan pada perhitungan adalah 420 dan 840,
5. Model propagasi yang digunakan adalah *Stanford university interim* (SUI) yang dirancang oleh IEEE 802.16 BWA *working group* dan yang digunakan untuk simulasi adalah SUI 4, SUI 5 dan SUI 6,
6. Kanal noise yang digunakan untuk uji performansi sistem, yaitu kanal *Additive White Gaussian Noise* (AWGN) dan kanal *Rayleigh fading*,
7. Sistem propagasi yang digunakan adalah propagasi *outdoor*,
8. Parameter sistem OFDMA yang akan dibahas berupa performansi SNR dan BER.

1.4 Tujuan

Tujuan dari penelitian ini adalah :

1. Membandingkan pengaruh kecepatan pengguna dengan menggunakan model kanal SUI pada tipe *terrain* yang berbeda,
2. Membandingkan pengaruh perubahan jumlah *sub carrier* dan jarak pengguna terhadap kinerja kanal SUI pada tipe *terrain* yang berbeda.

1.5 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan yang digunakan dalam penyusunan laporan penelitian ini adalah sebagai berikut.

BAB I : PENDAHULUAN

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

BAB II : TINJAUAN PUSTAKA

Membahas konsep dasar dari *Worldwide Interoperability for Microwave Access 802.16/16e* (Mobile WiMAX), model kanal propagasi *Stanford University Interim* (SUI), serta parameter-parameter *Scalable Orthogonal Frequency Division Multiple Access* (SOFDMA) yang digunakan dalam simulasi performansi sistem.

BAB III : METODOLOGI

Memberikan penjelasan tentang metode yang digunakan dalam menganalisis performansi Mobile WiMAX pada setiap model kanal SUI ketika dilakukan variasi perubahan kecepatan pengguna, perubahan jumlah *sub-carrier* dan perubahan jarak pengguna terhadap *base station* yang terdiri dari jenis dan cara perolehan data, variabel dan cara analisis data, serta kerangka solusi masalah.

BAB IV : HASIL DAN PEMBAHASAN

Melakukan analisis dari hasil simulasi dan perhitungan sistem WiMAX 802.16/16e pada model kanal SUI pada variasi tipe terrain.

BAB V : PENUTUP

Berisi kesimpulan dan saran yang diperoleh dari hasil dan analisis.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

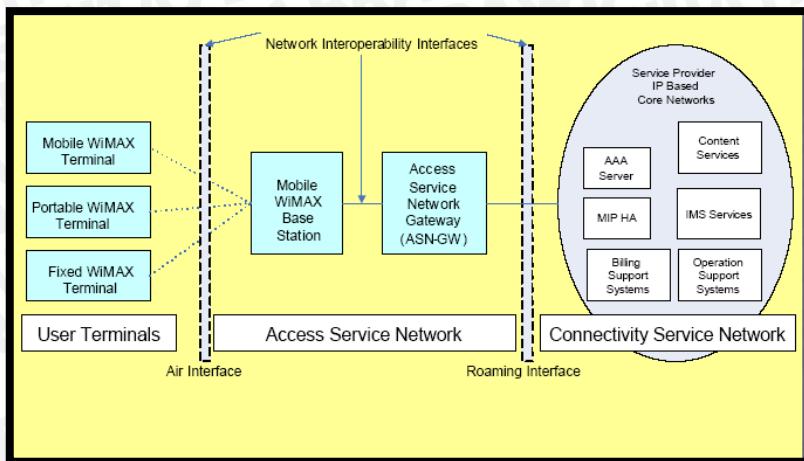
2.1 Worldwide Interoperability for Microwave Access 802.16/16e (*Mobile WiMAX*)

Mobile WiMAX merupakan salah satu teknologi sistem *Broadband Wireless Access* (BWA) yang menyediakan *data rate* tinggi. *Mobile WiMAX* merupakan pengembangan dari standar WiMAX yang sebelumnya sehingga *mobile WiMAX* merupakan solusi *broadband wireless access* yang juga memungkinkan penggabungan antara jaringan *mobile broadband* dan *fixed broadband* dengan cakupan area layanan yang luas serta arsitektur jaringan yang fleksibel. *Air interface* pada *Mobile WiMAX* menerapkan *Orthogonal Frequency Division Multiple Access* (OFDMA) untuk memperoleh performa *multi-path* yang lebih baik pada lingkungan yang *Non Line Of Sight* (NLOS). Untuk mendukung *bandwidth* kanal yang berkembang (*scalable*) dari 1,25 MHz ke 20 MHz, IEEE 802.16e mengenalkan *Scalable-OFDMA* (SOFDA). Profil *Mobile WiMAX Release-1* dengan *bandwidth* kanal sebesar 5 MHz hingga 10 MHz untuk alokasi spektrum yang terdaftar pada frekuensi 2,3 GHz, 2,5 GHz, 3,3 GHz, dan 3,5 GHz sedangkan jumlah *sub-carrier* yang dapat digunakan pada *mobile WiMAX* bersifat *scalable*. Pada standar WiMAX yang sebelumnya jumlah *sub-carrier* bersifat tetap atau *fixed*. (Amitabh Kumar, 2008)

2.1.1 Arsitektur *Mobile WiMAX*

Menurut WiMAX Forum, arsitektur *Mobile WiMAX* terdiri dari 3 bagian pokok, yaitu:

- *User Terminal* yang digunakan oleh *end-user* untuk mengakses jaringan.
- *Access Service Network* (ASN) yang terdiri dari satu atau lebih BS dan satu atau lebih ASN *gateway* yang membentuk jaringan akses radio.
- *Connectivity Service Network* (CSN) yang menyediakan konektivitas IP dan semua fungsi *core network internet protocol*.



Gambar 2.1 Arsitektur *Mobile WiMAX*

(Sumber: WiMAX Forum, 2006)

Network Working Group (NWG) WiMAX Forum merupakan organisasi yang mempunyai kewenangan untuk merancang arsitektur jaringan dan protokol *Mobile WiMAX* dengan *air interface* yang telah distandardkan oleh IEEE 802.16e. WiMAX NGW mendefinisikan beberapa *entity* dalam jaringan *Mobile WiMAX*:

- *Base Station* (BS)

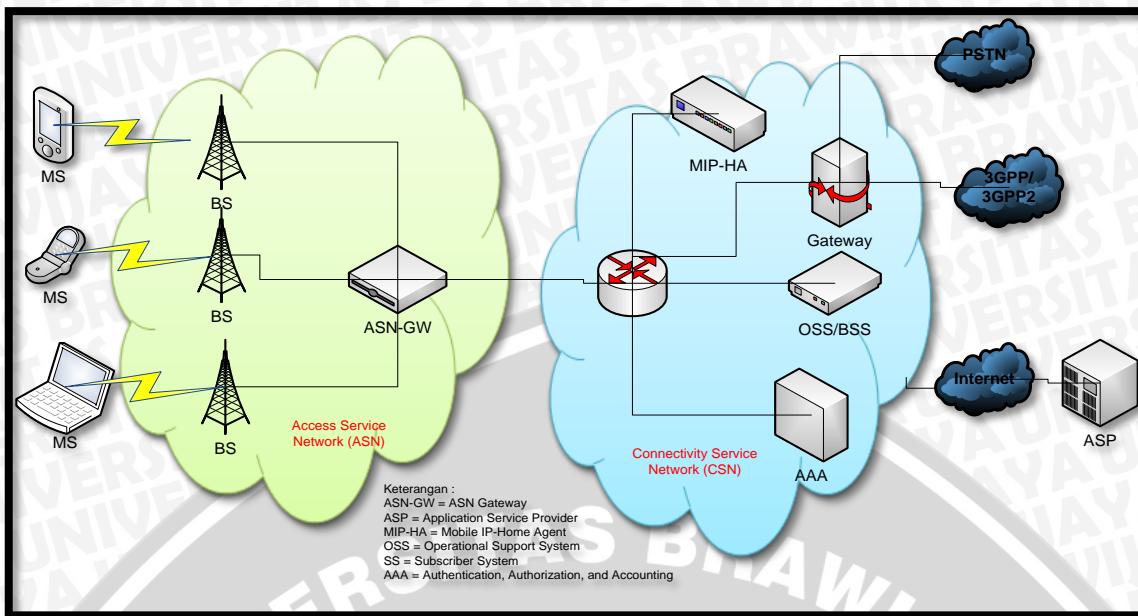
Base Station memiliki fungsi utama yaitu membangun hubungan dengan *mobile station*. BS juga memiliki fungsi lain yaitu mengatur *micromobility management* seperti proses *handover*, *radio resource management*.

- *Access Service Network - Gateway* (ASN-GW)

ASN-GW berfungsi untuk mengatur *location management* dan *paging* intra-ASN, mengatur AAA pelanggan, serta menjalankan fungsi *mobile IP*.

- *Connectivity Service Network* (CSN)

Berfungsi menyediakan koneksi ke internet, ASP dan fungsi jaringan umum lainnya.



Gambar 2.2 Entity Jaringan Mobile WiMAX

(Sumber: WiMAX Forum, 2006)

2.1.2 Spektrum Frekuensi dan Sistem Duplexing WiMAX

Sebagai teknologi yang berbasis pada frekuensi, kesuksesan WiMAX sangat bergantung pada ketersediaan dan kesesuaian spektrum frekuensi. Sistem nirkabel mengenal dua jenis *band* frekuensi yaitu *licensed band* dan *unlicensed band*. *Licensed band* membutuhkan lisensi atau otoritas dari regulator.

WiMAX Forum menetapkan 2 *band* frekuensi utama pada *certification profile* untuk *fixed* WiMAX , yaitu *band* 3,5 GHz dan 5,8 GHz. Sementara untuk *mobile* WiMAX ditetapkan 4 *band* frekuensi pada sistem profil *release-1*, yaitu *band* 2,3 GHz, 2,5 GHz, 3,3 GHz, dan 3,5 GHz. 9.[WiMAX Forum, 2006]

Frekuensi *fixed* WiMAX di *band* 3,3 GHz hanya digunakan di negara-negara Asia. Hal ini terkait dengan penggunaan *band* 3,5 GHz di Asia digunakan untuk komunikasi satelit, demikian juga dengan di Indonesia. *Band* 3,5 GHz di Indonesia digunakan oleh satelit Telkom untuk memberikan layanan *broadcast* TV. Apabila frekuensi 3,5 GHz digunakan secara bersama antara satelit dan BWA maka akan menimbulkan potensi interferensi. [Gunawan Wibisono, 2009]

Tabel 2.1 Bandwidth Kanal dan Sistem Duplexing pada WiMAX

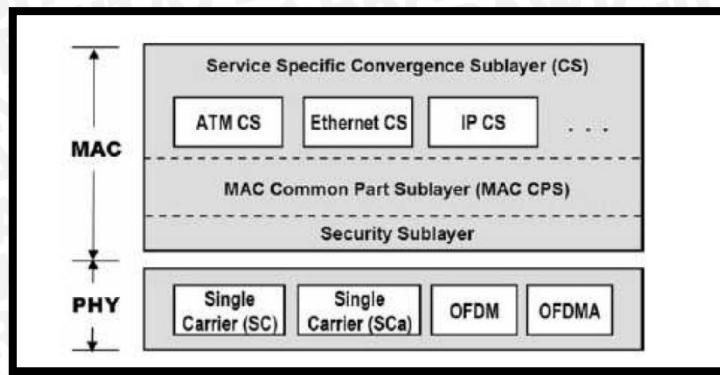
Channel BW	FFT Size	Other bands TBD	2.3-2.4 GHz	2.3-2.4 GHz, 2.305-2.32, 2.345-2.36 GHz	2.496-2.69 GHz	3.2-3.4 GHz	3.4-3.8 GHz
1.25 MHz	128						
5.0 MHz	512		TDD	TDD	TDD	TDD	TDD
7.0 MHz	1024					TDD	TDD
8.75 MHz	1024		TDD				
10 MHz	1024		TDD	TDD	TDD	TDD	TDD
20 MHz	2048						

(Sumber: WiMAX Forum, 2006)

Sedangkan untuk sistem *duplexing* yang digunakan adalah *Time division duplex* (TDD). TDD menggunakan frekuensi *single channel* yang digunakan sebagai pemancar dan penerima tetapi dalam waktu yang berbeda. Akibatnya TDD dibagi menjadi *data stream frame* dan setiap *frame* dibagi menjadi *time slot* untuk mengirim dan menerima. Hal ini mengijinkan transmisi data dalam satu frekuensi saja. [WiMAX Forum,2006]

2.1.3 Protokol IEEE 802.16/16e

Fungsi-fungsi komunikasi dibagi menjadi suatu rangkaian *layer*. Masing-masing *layer* menampilkan subrangkaian fungsi-fungsi yang masih berkaitan yang diperlukan untuk berkomunikasi dengan sistem yang lain. Karakteristik standar 802.16/16e ditentukan oleh spesifikasi teknis dari *layer Physcal* (PHY) dan *Medium Access Control* (MAC). Perbedaan karakteristik kedua *layer* ini akan membedakan varian-varianya. *Physical layer* berfungsi untuk mengalirkan *data* di *level* fisik. Sedangkan *Medium Access Control* (MAC) *layer* berfungsi sebagai penterjemah protokol-protokol yang ada di atasnya seperti ATM, *Ethernet*, dan IP. Gambar 2.3 menunjukkan protokol IEEE 802.16/16e. [Kwang-Cheng Chen, 2008]



Gambar 2.3 Protokol IEEE 802.16/16e.

(Sumber :Kwang-Cheng Chen and J. Roberto B. de Marca, 2008)

2.1.3.1 Physical Layer (PHY)

Berdasarkan Gambar 2.3, terdapat 4 pilihan standar *air interface* yang digunakan dalam *physical layer* IEEE 802.16/16e dengan masing-masing standar memiliki spesifikasi yang berbeda diantaranya adalah :

- *Wireless MAN-SC* : *air interface* yang menggunakan teknik modulasi *single carrier* yang bekerja pada frekuensi 10-66 GHz,
- *Wireless MAN-Sca* : *air interface* yang menggunakan teknik modulasi *single carrier* yang bekerja pada frekuensi di bawah 11 GHz,
- *Wireless MAN-OFDM* : *air interface* yang menggunakan skema *Orthogonal Frequency Division Multiplexing* (OFDM) dengan menggunakan *carrier* sebanyak 256. Tipe ini bekerja pada frekuensi dibawah 11 GHz,
- *Wireless MAN-OFDMA* : *air interface* yang menggunakan skema *Orthogonal Frequency Division Multiple Access* (OFDMA) dengan jumlah *carrier* hingga 2048 dan bekerja pada frekuensi di bawah 11 GHz. Metode ini juga mendukung penggunaan *scalable FFT* sebesar 128, 512, 1024, dan 2048.

Dalam skripsi ini akan digunakan standard *air interface* Wireless MAN dengan menggunakan teknologi *Orthogonal Frequency Division Multiple Access* (OFDMA) yang mendukung pengalokasian *bandwidth* yang luas untuk digunakan secara fleksibel sesuai dengan kebutuhan dan persyaratan sistem yang digunakan. Skalabilitas dilakukan dengan menyesuaikan jumlah titik FFT dengan mempertahankan jarak antar *sub-carrier* sebesar 10,94 kHz. Karena *bandwidth* *sub-carrier* dan durasi simbol yang digunakan tetap, efek ke lapisan di atasnya menjadi minimal saat sedang menskalakan *bandwidth*.

Dua profil *bandwidth* sistem yang sedang dikembangkan oleh WiMAX Forum Technical Working Group Release-1 untuk *scalable* OFDMA adalah 5 dan 10 MHz.

Tabel 2.2 Parameter-Parameter Scalable OFDMA (SOFDMA)

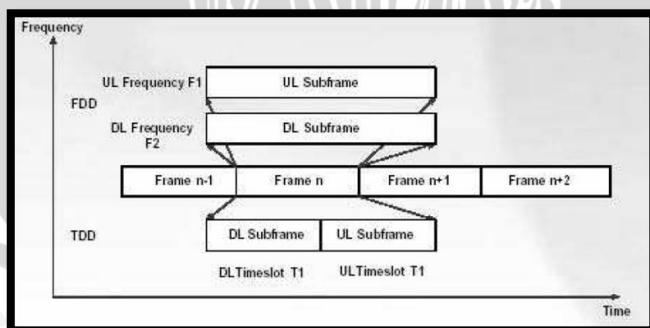
Parameter	Values			
<i>System Channel Bandwidth (MHz)</i>	1,25	5	10	20
<i>Sampling Frequency (F_p in MHz)</i>	1,4	5,6	11,2	22,4
<i>FFT Size (N_{FFT})</i>	128	512	1024	2048
<i>Number of Sub-Channels</i>	2	8	16	32
<i>Sub-carrier Frequency Spacing</i>	10,94 kHz			
<i>Useful Symbol Time (T_u=1/f)</i>	91,4 μ s			
<i>Guard Time (T_g)</i>	11,4 μ s			
<i>OFDMA Symbol Duration (T_s = T_u+T_g)</i>	102,9 μ s			
<i>Number of OFDMA Symbols (5 ms Frame)</i>	48			

(Sumber: WiMAX Forum, 2006)

Selain pemilihan standar *air interface* yang akan digunakan, hal-hal lain yang berkaitan dengan *physical layer*, yaitu :

- **Sistem Dupleks**

Untuk sistem dupleks pada standar WiMAX dapat diterapkan *Frequency Division Duplexing* (FDD) dan *Time Division Duplexing* (TDD) atau keduanya FDD dan TDD. Fitur ini memberikan kemudahan pengaturan spektrum frekuensi yang akan digunakan agar diperoleh efisiensi spektrum yang optimal. Hal ini juga sejalan dengan fleksibilitas penggunaan kanal yang diperkenankan. Gambar 2.4 menggambarkan perbandingan sistem dupleks FDD dan TDD.

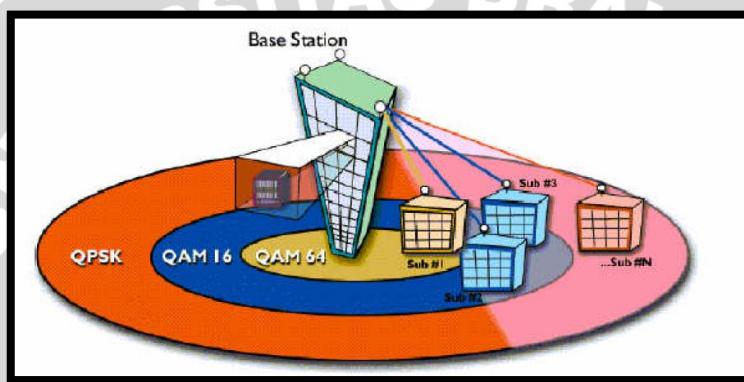


Gambar 2.4 Perbandingan FDD dan TDD.

(Sumber : Jakub Wolnicki, 2005)

- **Modulasi Adaptif**

Modulasi adaptif, secara efektif dapat mengatur keseimbangan kebutuhan *bandwidth* dan kualitas sambungan (*link quality*) atau biasanya dapat diukur dengan *Signal to Noise Ratio* (SNR). Apabila kualitas sinyal cukup baik, maka digunakan modulasi yang lebih tinggi untuk memberikan kapasitas *bandwidth* yang lebih besar. Apabila kualitas *link* menurun, 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.



Gambar 2.5 Hubungan radius jangkauan dengan sistem modulasi.

(Sumber : <http://en.wikipedia.org>)

Semakin jauh jarak yang akan ditempuh maka redaman akan semakin besar dan ini akan menyebabkan laju bit akan semakin rendah. Gambar 2.5 memperlihatkan hubungan antara radius jangkauan dengan sistem modulasi yang digunakan. [Amitabh kumar, 2008]

- **Forward Error Correction (FEC)**

Forward Error Correction (FEC) atau teknik perbaikan kesalahan diterapkan pada sistem WIMAX untuk menurunkan kebutuhan minimum SNR dan meningkatkan *throughput*. Beberapa teknik pengkodean yang digunakan antara lain adalah sebagai berikut [Maode Ma, 2009] :

- *Convolutional Encoding* (CC)
- *Block Turbo Coding* (BTC),
- *Convolutional Turbo Coding* (CTC), dan
- *Low Density Parity Check* (LDPC).

CC bersifat *mandatory* sedangkan BTC, CTC, dan LDPC bersifat *optional*.

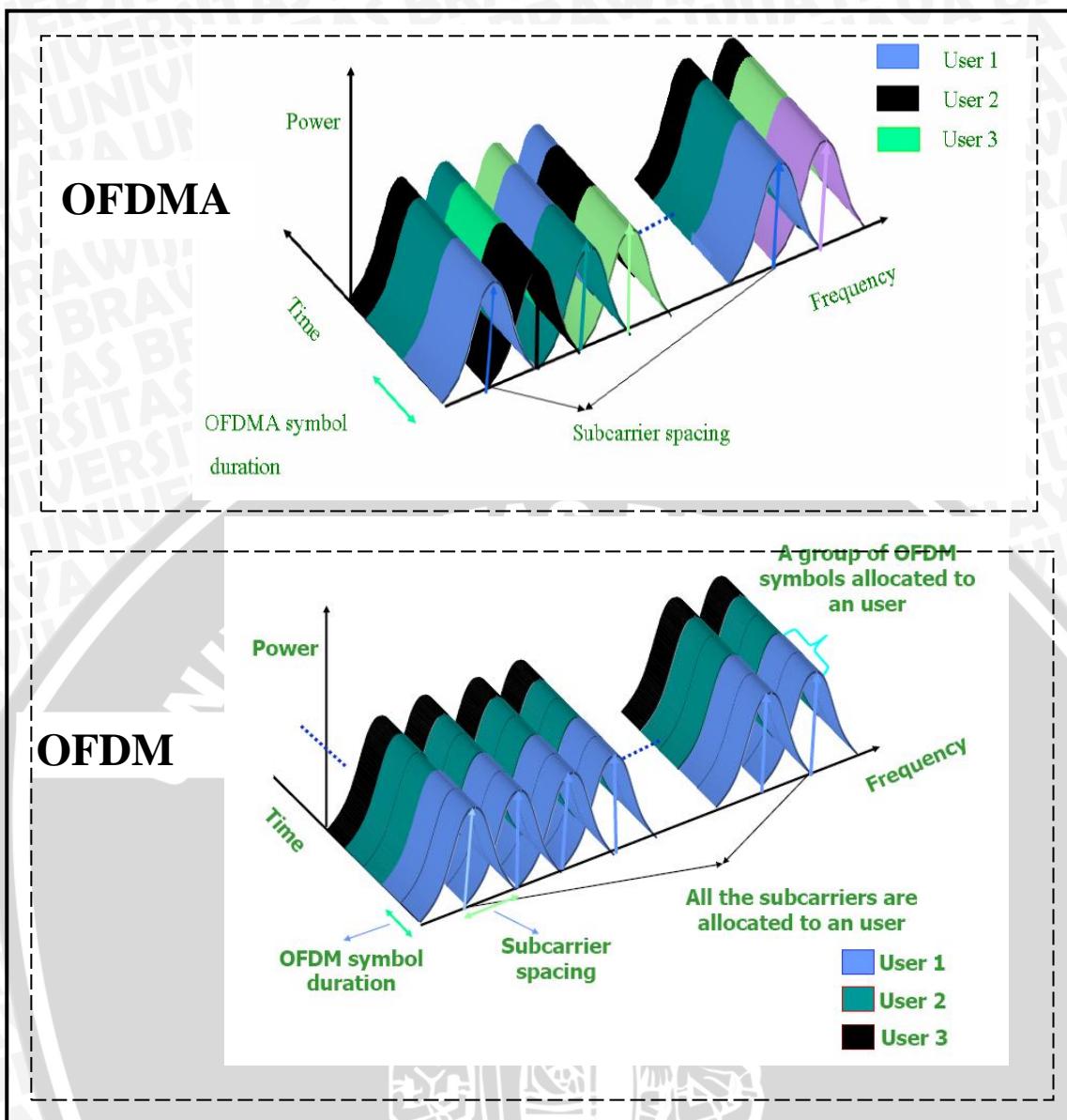
2.1.3.2 *Media Access Control Layer* (MAC)

MAC *layer* dibagi lagi menjadi tiga *sublayer* yaitu *Service Specific 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*. MAC *layer* mempunyai karakteristik *connection identifier* (CID). CID digunakan untuk membedakan kanal *uplink* dan *downlink*. Setiap SS memiliki MAC *address* dengan lebar standar 48 bit. [Gunawan Wibisono,2009]

2.2 *Orthogonal Frequency Division Multiple Access* (OFDMA)

Orthogonal Frequency Division Multiple Access (OFDMA) pada dasarnya merupakan gabungan antara *Frequency Division Multiple Access* (FDMA) dan *Time Division Multiple Access* (TDMA). Hal ini berarti bahwa *multiple user* dialokasikan pada *sub-carrier* yang berbeda secara dinamis (FDMA) dan pada *time slot* yang berbeda pula (TDMA).

Orthogonal Frequency Division Multiple Access (OFDMA) merupakan teknik *multiple access* yang dikembangkan dari teknologi *Orthogonal Frequency Division Multiplexing* (OFDM). Namun OFDMA memiliki perbedaan dengan OFDM, perbedaan yang mendasar antara OFDMA dengan OFDM adalah pada OFDMA dalam satu *sub-carrier* diperbolehkan diduduki oleh satu atau beberapa pengguna yang memiliki simbol OFDMA yang berbeda. Sedangkan pada OFDM dalam satu *sub-carrier* hanya diperbolehkan diduduki oleh pengguna yang memiliki simbol OFDM yang sama. Perbedaan antara OFDMA dan OFDM ditunjukkan pada Gambar 2.6. [Srikanth, 2007]



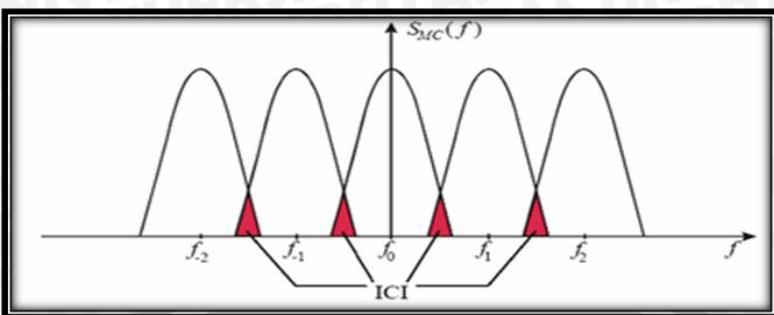
Gambar 2.6 Perbandingan sinyal OFDM dengan sinyal OFDMA

dilihat dari *domain* frekuensi dan waktu.

(Sumber : Srikanth S., 2007)

Dikarenakan *Orthogonal Frequency Division Multiple Access* (OFDMA) merupakan teknik *multiple access* yang dikembangkan dari teknologi *Orthogonal Frequency Division Multiplexing* (OFDM), maka OFDMA mewarisi semua kelebihan dan kelemahan yang dimiliki oleh OFDM. OFDMA juga memiliki prinsip kerja yang sama dengan OFDM yaitu mengirimkan banyak pesan pada satu kanal pentransmisi. OFDMA juga dapat mengirimkan pesan tanpa terjadi *inter-carrier interference* (ICI) dan *inter-symbol interference* (ISI). Hal ini dikarenakan adanya proses penambahan *cyclic prefix* (CP) pada simbol OFDMA. Terjadinya ICI misalnya pada teknik

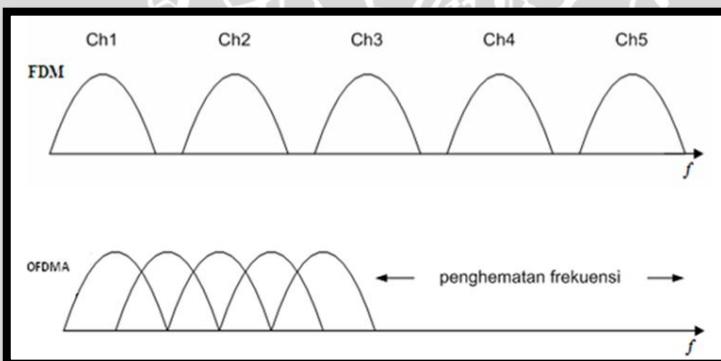
Frequency Division Multiplexing (FDM) ditunjukkan pada Gambar 2.7. [Srikanth, 2007]



Gambar 2.7 *Inter Carrier Interference (ICI)*.

(Sumber :<http://engr.sjsu.edu>)

OFDMA juga menggunakan sinyal *orthogonal*, dimana *null sideband* dari salah satu *sub-carrier* bertumpukan dengan *main lobe frequency* dari *sub-carrier* yang selanjutnya sehingga *overlapping* dari frekuensi *carrier* tidak mempengaruhi sinyal. Dengan demikian akan menghilangkan adanya *band guard*, sehingga penggunaan *bandwidth* lebih efisien. Gambar 2.8 menunjukkan bahwa teknologi OFDMA mampu menekan penggunaan *bandwidth*.



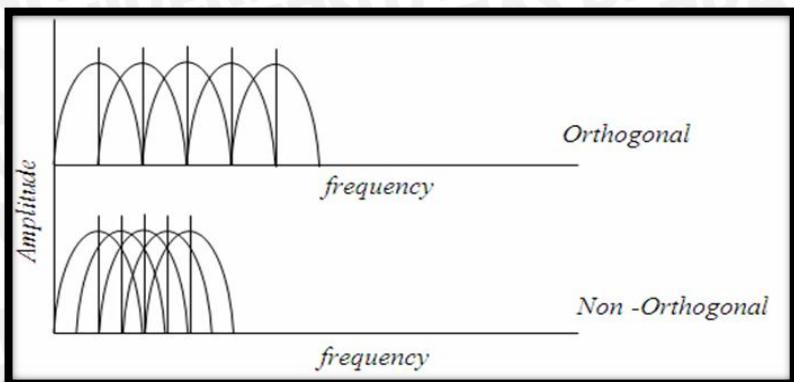
Gambar 2.8 Efisiensi penggunaan *bandwidth* pada OFDMA.

(Sumber :Ramjee Prasad, 2004)

2.2.1 Definisi Orthogonal

Teknologi OFDMA menggunakan sinyal *orthogonal*, *orthogonal* merupakan keadaan apabila *null sideband* dari salah satu *sub-carrier* bertumpukan dengan *main lobe frequency* dari *sub-carrier* yang selanjutnya. Sehingga *overlapping* dari frekuensi *carrier* tidak akan mempengaruhi sinyal. Kehilangan orthogonalitas menyebabkan pengkaburan (*blurring*) diantara sinyal-sinyal informasi dan penurunan performansi

sistem komunikasi. Gambaran dari spektrum OFDMA dan orthogonalitas antar *sub-carrier* dapat dilihat pada Gambar 2.9.



Gambar 2.9 Representasi orthogonalitas antar *sub-carrier*.

(Sumber :<http://www.ee.ccu.edu.tw>)

Sinyal-sinyal dikatakan *orthogonal* jika faktor korelasi antara sinyal satu dengan yang lainnya adalah 0. Istilah *orthogonal* didalam OFDMA mengandung makna hubungan matematis diantara frekuensi-frekuensi yang digunakan. Dengan Persamaan matematika, dua buah sinyal dikatakan *orthogonal* jika memenuhi syarat : [E. P. Lawrey, 2001 : 19]

$$\int_0^{T_s} \psi_p(t) \psi_q^*(t) dt = 0 ; p \neq q \quad (2-1)$$

dimana T_s adalah periode simbol, ψ_p adalah fungsi gelombang p, dan ψ_q^* adalah konjugat dari fungsi gelombang q.

Setiap *sub-carrier* dalam suatu sinyal OFDMA dijaga sedekat mungkin secara teoritis agar diperoleh orthogonalitas pada setiap *sub-carrier* dengan mengalokasikan setiap sinyal informasi yang terpisah ke dalam *sub-carrier* yang berbeda. OFDMA mencapai orthogonalitas di dalam *domain* frekuensi dengan mengalokasikan setiap sinyal informasi yang terpisah ke dalam *sub-carrier* yang berbeda.

Jarak antar *sub-carrier* (Δf) pada spektrum sinyal dapat dinyatakan dengan Persamaan berikut : [Hara & Prasad, 2003]

$$\Delta f = \frac{1}{T_s - T_g} \quad (2-2)$$

dengan :

Δf = selang antar frekuensi tiap *sub-carrier* (Hz)

T_s = durasi simbol masing-masing *sub-carrier* (s)

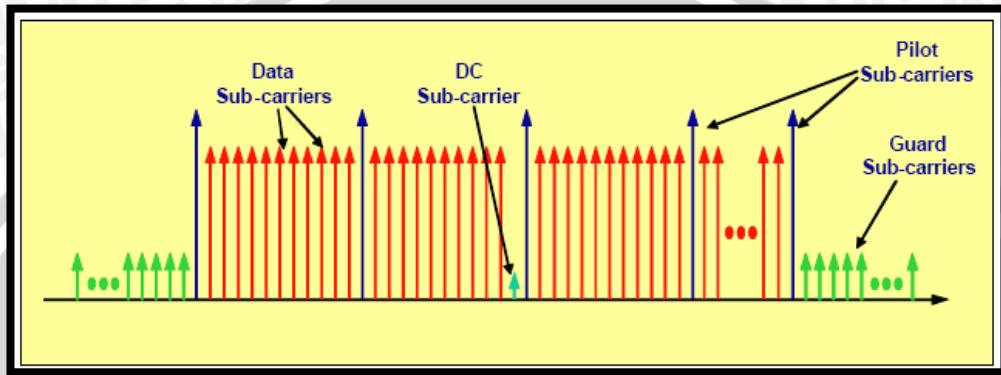
T_g = durasi *cyclic prefix* (s)



2.2.2 Struktur Simbol OFDMA dan Subkanalisisi

Struktur simbol OFDMA terdiri dari tiga tipe *sub-carrier* seperti ditunjukkan pada Gambar 2.10:

- *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* dan *DC carrier*.



Gambar 2.10 Struktur *sub-carrier* OFDM

(Sumber: WiMAX Forum, 2006)

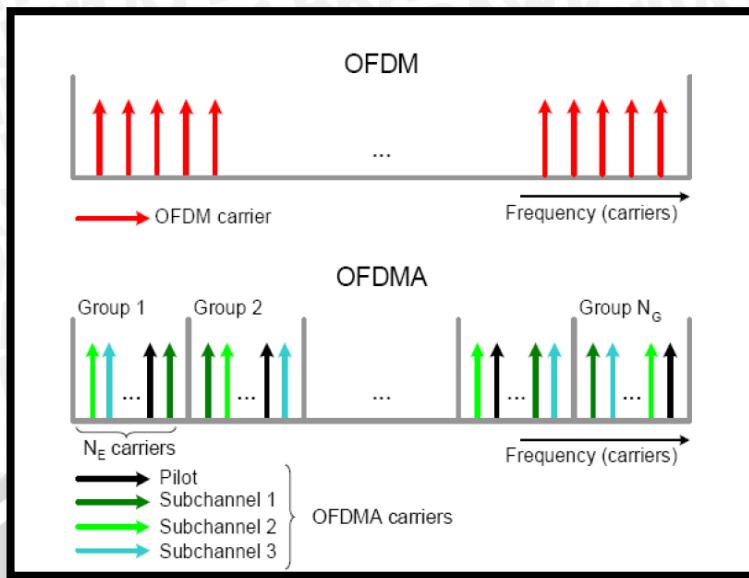
Berikut ini adalah tabel ketentuan jumlah *sub-carrier* berdasarkan *bandwidth* kanal pada arah *downlink* sesuai dengan *bandwidth* sistem yang digunakan :

Tabel 2.3 Ketentuan jumlah *sub-carrier* pada arah *downlink*

Parameter	Values	
System Channel Bandwidth (MHz)	5	10
FFT Size (N_{FFT})	512	1024
Null Sub-Carriers	92	184
Pilot Sub-Carriers	60	120
Data Sub-Carriers	360	720

(Sumber: WiMAX Forum, 2006)

Sub-carrier aktif (*data* dan *pilot*) dikelompokkan ke dalam *sub-set* dalam *sub-carrier* 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]

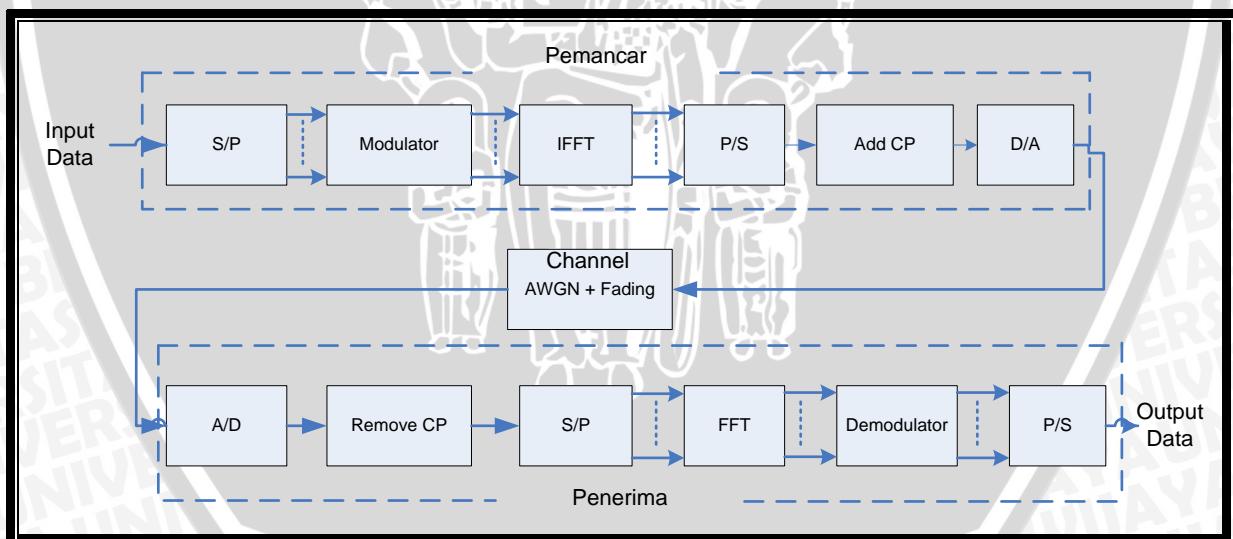


Gambar 2.11 Perbedaan OFDM dan OFDMA

(Sumber: WiMAX Forum, 2006)

2.2.3 Blok Diagram OFDMA

Blok diagram dasar dari suatu pemancar dan penerima OFDMA ditunjukkan pada Gambar 2.12.



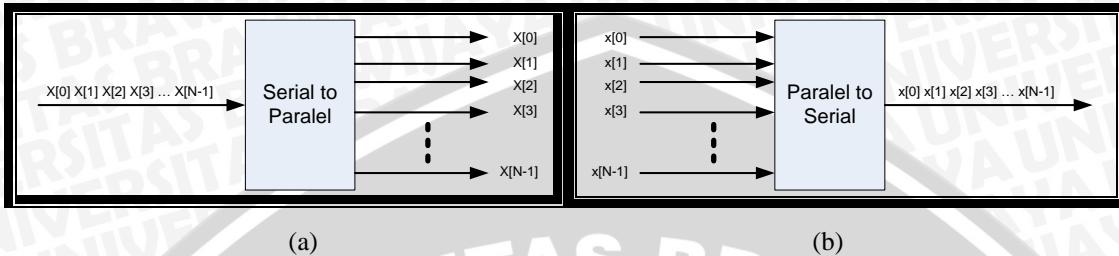
Gambar 2.12 Blok diagram pemancar dan penerima sistem OFDMA

(Sumber : Kwang-Cheng Chen, 2007)

2.2.3.1 Konversi Serial ke Paralel (S/P) dan Konversi Paralel ke Serial (P/S)

Data yang akan dipancarkan umumnya dalam bentuk aliran data serial. Pada OFDMA, proses konversi serial ke paralel dibutuhkan untuk mengubah masukan aliran

bit data serial ke dalam data-data yang akan dipancarkan dalam setiap simbol OFDMA. Data yang dialokasikan untuk setiap simbol tergantung pada teknik modulasi yang digunakan dan jumlah *sub-carrier*. Hasil dari proses konversi serial ke paralel merupakan proses pengisian *payload* data untuk setiap *sub-carrier*. Gambar 2.13 menunjukkan konversi serial ke paralel dan paralel ke serial.



Gambar 2.13 (a) Konversi Serial ke Paralel, (b) Konversi Paralel ke Serial

(Sumber : [Johan, 2008](#))

Pada penerima terjadi proses yang berkebalikan, dimana data dari *sub-carrier* (data paralel) diubah kembali ke dalam aliran data serial aslinya. Proses yang terjadi pada penerima ini disebut juga dengan proses konversi paralel ke serial.

2.2.3.2 Modulator dan Demodulator

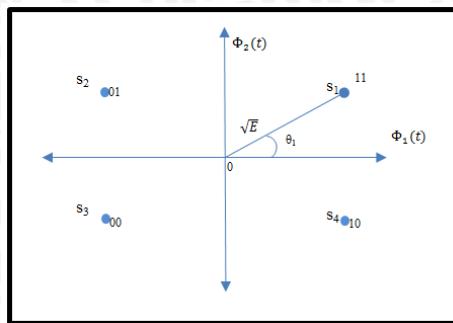
Modulator bertugas mengkodekan informasi sebuah pesan menjadi simbol yang cocok untuk pengiriman. Karena sumber informasinya berupa data digital, maka digunakan modulator *baseband* digital yang memodulasikan *M-bit* menjadi satu simbol yang disebut juga dengan modulasi *M-ary*. Contoh dari modulasi ini adalah *Quadrature Phase Shift Keying* (QPSK) dan *Quadrature Amplitude Modulation* (QAM). Simulasi pada skripsi ini menggunakan modulator dan demodulator QPSK.

QPSK adalah teknik modulasi yang paling sering digunakan diantara teknik modulasi *M-ary* PSK lainnya karena tidak mengalami penurunan *bit error rate* (BER) ketika efisiensi *bandwidth* ditingkatkan. Sinyal QPSK didefinisikan sebagai :

$$s_i(t) = A \cos(2\pi f_c t + \theta_i), 0 \leq t \leq T, i = 1, 2, 3, 4 \quad (2-3)$$

$$\text{dengan : } \theta_i = \frac{(2i-1)\pi}{4} \quad (2-4)$$

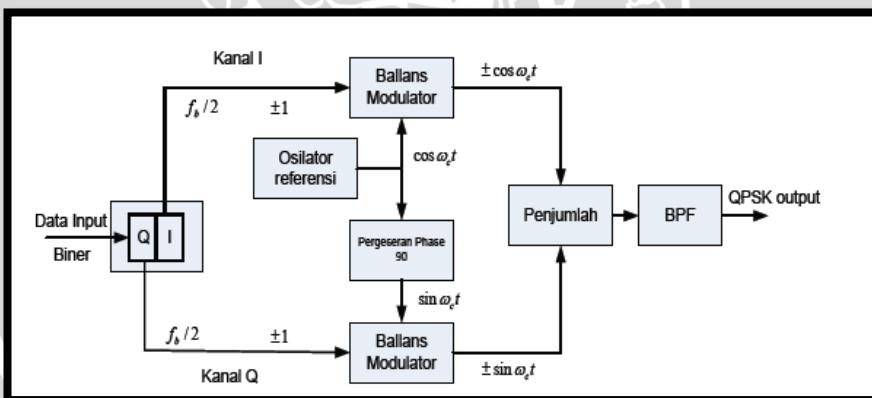
Fasa sinyal awal adalah $\pi/4$, $3\pi/4$, $5\pi/4$, $7\pi/4$. Frekuensi pembawa dipilih sebagai kelipatan dari *symbol rate* (laju simbol). Pada QPSK, *bit* data dibagi menjadi kelompok dari dua *bit*, disebut *dibit*. Ada empat kemungkinan *dibit*, yaitu 00, 01, 10, dan 11. Masing-masing dari empat sinyal QPSK melambangkan salah satu *dibit*. Konstelasi sinyal QPSK ditunjukkan pada Gambar 2.14.



Gambar 2.14 Konstelasi sinyal QPSK

(Sumber : Johan, 2008)

Diagram blok modulator QPSK ditunjukkan dalam Gambar 2.15. Dua bit diumpulkan ke pemisah bit. Setelah keduanya masuk secara serial, kemudian diumpulkan serempak secara paralel. Bit yang satu menuju kanal Inphase (I) dan yang lain menuju kanal Quadrature (Q). Bit I memodulasi suatu *carrier* yang se-phase dengan osilator referensi dan bit Q memodulasi suatu *carrier* yang berbeda phase 90° dengan osilator referensi. Pada dasarnya modulator QPSK adalah dua buah modulator BPSK yang digabung secara paralel. Untuk *logic* = +1 Volt dan *logic* 0, pada *output* ballans modulator I ada dua *phase* yang mungkin ($+\sin \omega_c t$ dan $-\sin \omega_c t$), pada *output* ballans modulator Q ada dua *phase* yang mungkin ($+\cos \omega_c t$ dan $-\cos \omega_c t$).



Gambar 2.15 Diagram Blok Modulator QPSK

(Sumber : Johan, 2008)

Modulator QPSK terdiri dari pengubah seri ke paralel, modulator I/Q, penjumlah sinyal, dan *Band Pass Filter* (BPF). Dua *bit* diumpulkan ke *serial to parallel*, setelah keduanya masuk secara serial, maka akan diumpulkan serempak secara paralel. Bit yang satu menuju kanal I dan yang lainnya menuju kanal Q. Pada QPSK, logika 1 diwakili +1 Volt sedangkan logika 0 diwakili -1 Volt. Keluaran modulator QPSK

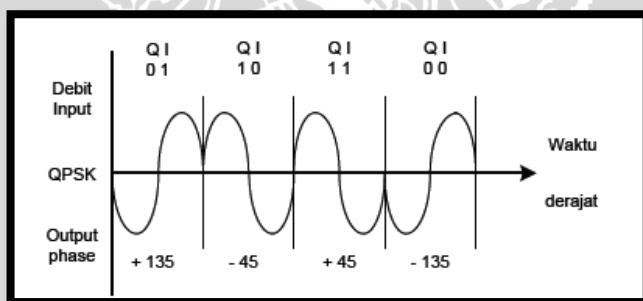
berupa penjumlahan linier dari kanal I dan Q seperti yang terlihat pada Tabel 2.4 di bawah ini :

Tabel 2.4 Keluaran Modulator QPSK

Input (debit)	Keluaran modulator QPSK
00	$-1 \cos \omega_c t - 1 \sin \omega_c t = \sqrt{2} \sin(\omega_c t - 135^\circ)$
01	$-1 \cos \omega_c t + 1 \sin \omega_c t = \sqrt{2} \sin(\omega_c t - 45^\circ)$
10	$+1 \cos \omega_c t - 1 \sin \omega_c t = \sqrt{2} \sin(\omega_c t + 135^\circ)$
11	$+1 \cos \omega_c t + 1 \sin \omega_c t = \sqrt{2} \sin(\omega_c t + 45^\circ)$

(Sumber : Johan, 2008)

Terlihat bahwa jarak anguler antara dua fasor yang berdekatan pada QPSK adalah 90° . Karena itu, suatu sinyal QPSK dapat mengalami pergeseran fasa $+45^\circ$ atau -45° selama transmisi dan tetap akan berupa informasi yang benar saat didemodulasikan pada penerima. Sedangkan bentuk sinyal keluaran modulator QPSK ditunjukkan pada Gambar 2.16.



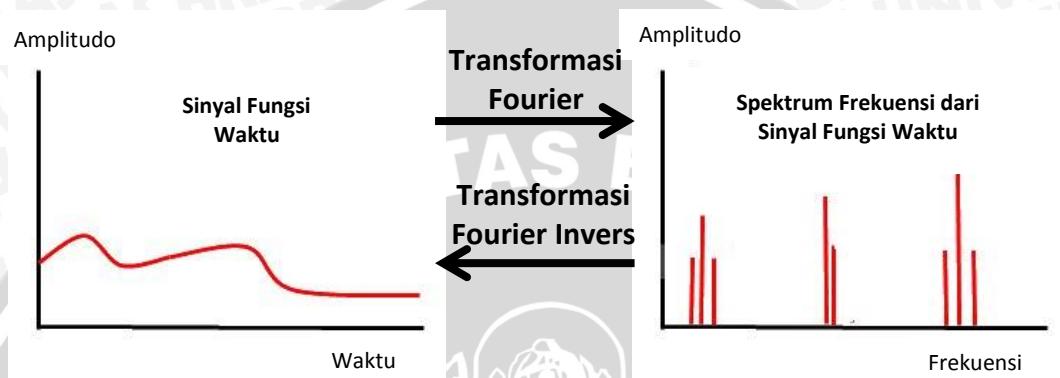
Gambar 2.16 Sinyal Keluaran Modulator QPSK

(Sumber : Johan, 2008)

Demodulator QPSK terdiri dari detektor, *Low Pass Filter* (LPF), dan pengubah paralel ke seri. Sinyal masukan demodulator berupa sinyal OFDM yang telah terdistorsi dengan kanal transmisi yang disebabkan AWGN dan *Rayleigh Fading* dimasukkan ke kanal I dan Q. Sinyal pada kanal I dikalikan dengan $\cos \omega_c t$, sedangkan pada kanal Q dikalikan dengan $\sin \omega_c t$. Kemudian kedua keluaran kanal tersebut dilewatkan pada LPF untuk memperoleh sinyal hasil keluarannya, yaitu data digit 0 dan 1.

2.2.3.3 Transformasi Fast Fourier (FFT) dan Invers Fast Fourier (IFFT)

Sinyal dapat digambarkan sebagai gabungan gelombang sinusoida dengan frekuensi dan amplitudo tertentu yang dijumlahkan bersama-sama. Komponen-komponen sinyal berupa frekuensi dan amplitudo dapat ditampilkan dalam *domain* frekuensi, yang disebut dengan spektrum frekuensi. Konversi sinyal dalam *domain* waktu menjadi *domain* frekuensi atau sebaliknya secara matematis dilakukan dengan menggunakan Transformasi *Fourier*.

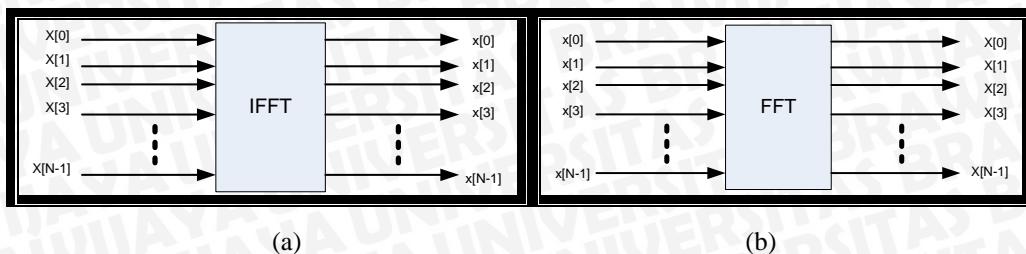


Gambar 2.17 Ilustrasi Transformasi *Fourier* untuk konversi sinyal

(Sumber : <http://www.alwayslearn.com>)

Transformasi Diskrit Fourier (DFT) adalah Transformasi Fourier untuk mengkonversi sinyal diskrit *domain* waktu menjadi *domain* frekuensi dan begitu juga sebaliknya. Transformasi sinyal diskrit menggunakan DFT memiliki laju komputasi yang relatif lambat karena membutuhkan perkalian yang kompleks. *Fast Fourier Transform* (FFT) adalah sebuah algoritma yang dibuat untuk mempercepat perhitungan DFT. IFFT melakukan proses berkebalikan dengan proses FFT, yaitu mentransformasikan sinyal dalam *domain* frekuensi menjadi sinyal dalam *domain* waktu.

Proses IFFT dan FFT merupakan kunci utama dalam OFDMA. Orthogonalitas antar tiap *sub-carrier* dalam satu kanal transmisi terjadi pada waktu yang berbeda dengan frekuensi sama. Keluaran dari setiap proses transformasi IFFT pada *transmitter* akan membentuk sebuah deretan simbol OFDMA. Gambar 2.18(a) menunjukkan proses IFFT dan Gambar 2.18(b) menunjukkan proses FFT, dimana N adalah jumlah *sub-carrier*.



Gambar 2.18 (a) Proses IFFT, (b) Proses FFT

(Sumber : Johan, 2008)

Discrete Fourier Transform atau DFT melakukan konversi pada data-data diskrit dari sinyal dalam *domain* waktu menjadi bentuk spektrum frekuensinya dalam *domain* frekuensi. Dalam penggunaan DFT ditunjukkan bahwa blok data yang dianalisis adalah satu periode *sampling* dari sebuah sinyal periodik yang tidak terbatas.

Persamaan DFT dapat dituliskan sebagai berikut.

$$X(k) = \sum_{n=0}^{N-1} x(n) W_N^{kn} \quad ; \quad k = 0, 1, 2, \dots, N-1 \quad (2-5)$$

dengan: N = jumlah data sample

k = indeks frekuensi

n = indeks waktu

$X(k)$ = nilai pada frekuensi k

$x(n)$ = nilai pada waktu n

$$W_N = e^{\frac{-j2\pi}{N}} \text{ (twiddle factor)}$$

Algoritma FFT dibentuk dengan melakukan penguraian terhadap DFT. Karena data *input* adalah data diskrit dari sinyal fungsi waktu, maka penguraian dilakukan dalam fungsi waktu atau disebut dengan *FFT Decimation In Time*.

DFT diuraikan menjadi dua penjumlahan dengan ukuran yang sama atau setengah dari jumlah data input N . Penjumlahan dibagi dua berdasarkan urutan genap dan ganjil. Penguraian terhadap DFT dengan penjumlahan urutan genap (E) dan penjumlahan urutna ganjil (O) dapat dituliskan sebagai berikut.

$$X(k) = \sum_{n=0}^{N-1} x(n) e^{\frac{-j2\pi kn}{N}} = E + O \quad (2-6)$$

Untuk penjumlahan urutan genap (E) dilakukan substitusi $2n$ ke dalam n . Penjumlahan dengan urutan genap sejumlah $N/2$ dapat dituliskan sebagai berikut.

$$E = \sum_{n=0}^{\frac{N}{2}-1} x(2n) e^{\frac{-j2\pi k(2n)}{N}} = \sum_{n=0}^{\frac{N}{2}-1} x(2n) e^{\frac{-j2\pi kn}{(\frac{N}{2})}} \quad (2-7)$$

Sedangkan untuk penjumlahan urutan ganjil (O) dilakukan substitusi $2n+1$ ke dalam n . Penjumlahan dengan urutan ganjil sejumlah $N/2$ dapat dituliskan sebagai berikut.

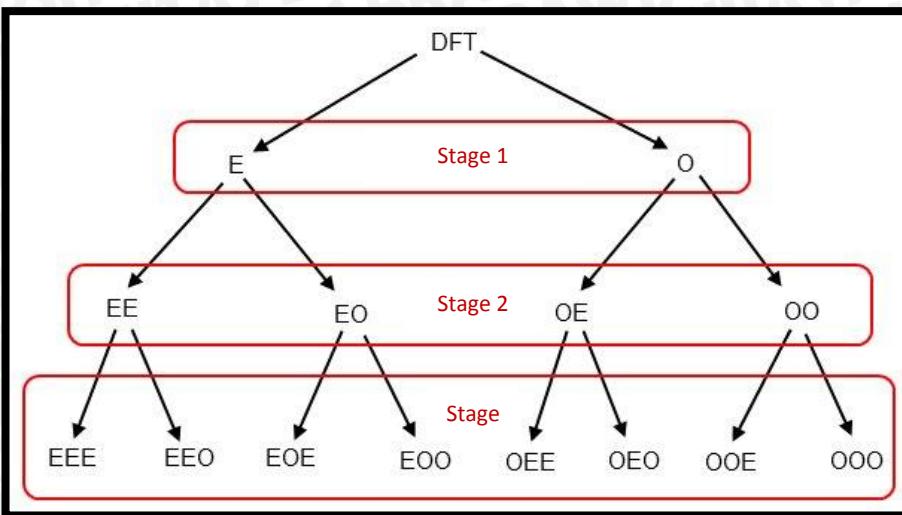
$$\begin{aligned} O &= \sum_{n=0}^{\frac{N}{2}-1} x(2n+1) e^{\frac{-j2\pi k(2n+1)}{N}} \\ &= \sum_{n=0}^{\frac{N}{2}-1} x(2n+1) e^{\frac{-j2\pi kn}{(\frac{N}{2})}} e^{\frac{-j2\pi k}{N}} \\ &= e^{\frac{-j2\pi k}{N}} \sum_{n=0}^{\frac{N}{2}-1} x(2n+1) e^{\frac{-j2\pi kn}{(\frac{N}{2})}} \end{aligned} \quad (2-8)$$

Dengan mensubstitusi Persamaan $W_N = e^{\frac{-j2\pi}{N}}$ ke dalam Persamaan (2-6), (2-7) dan (2-8) maka didapatkan Persamaan penguraian level pertama DFT sebagai berikut.

$$X(k) = \sum_{n=0}^{\frac{N}{2}-1} x(2n) W_N^{\frac{kn}{2}} + W_N^k \sum_{n=0}^{\frac{N}{2}-1} x(2n+1) W_N^{\frac{kn}{2}} \quad (2-9)$$

Penguraian DFT dilanjutkan dengan membagi dua penguraian level pertama DFT menjadi penjumlahan dengan urutan genap dan ganjil (penguraian level kedua), dan seterusnya. Penguraian DFT terus dilakukan hingga hanya terdapat satu nilai data pada setiap penjumlahan. Ilustrasi penguraian DFT ditunjukkan pada Gambar 2.19.





Gambar 2.19 Ilustrasi penguraian DFT

(Sumber : <http://www.alwayslearn.com>)

Dari Gambar 2.19 dapat disimpulkan bahwa algoritma *N-Point FFT* memerlukan data *input N* sejumlah perpangkatan dua atau $N = 2^v$. Untuk setiap *N* data *input*, penguraian DFT akan dilakukan sebanyak *v* level (*stage*).

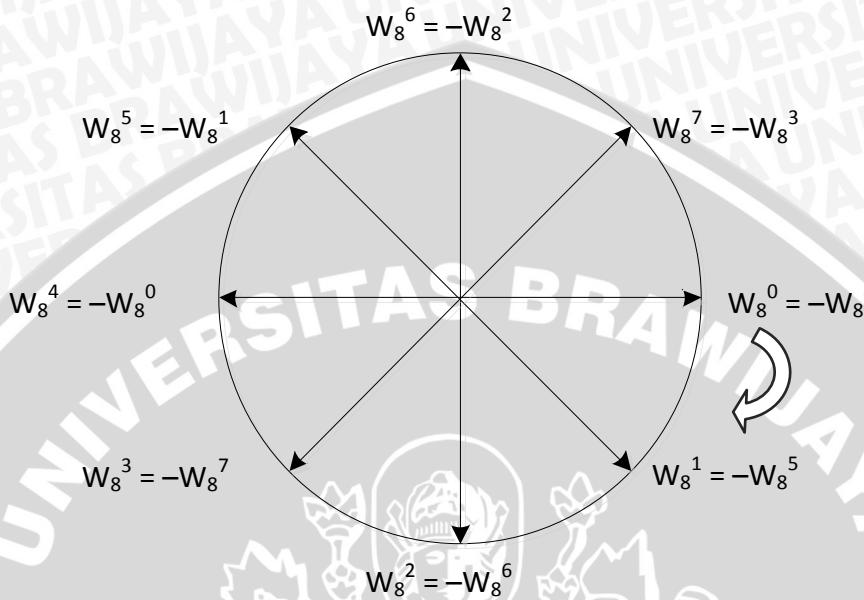
Proses penguraian atau *decimation* yang dilakukan pada pembentukan algoritma FFT mengakibatkan data *input* tersusun secara *bit-reversed*. Susunan *bit-reversed* atau pembalikan bit untuk $N = 8$ ditunjukkan pada Tabel 2.5. Pola *bit-reversed* data *input* berlaku untuk semua nilai *N* pada *N-Point FFT*.

Tabel 2.5 Susunan *bit-reversed* data *input* untuk $N = 8$

Urutan data <i>input</i> (normal)	Urutan data <i>input</i> (<i>bit-reversed</i>)
000 (0)	000 (0)
001 (1)	100 (4)
010 (2)	010 (2)
011 (3)	110 (6)
100 (4)	001 (1)
101 (5)	101 (5)
110 (6)	011 (3)
111 (7)	111 (7)

(Sumber : Harlianto Tanudjaja, 2007)

Twiddle factor dapat digambarkan sebagai sebuah rotasi lingkaran, yang berotasi berdasarkan penambahan dari jumlah data *input* N . *Twiddle factor* untuk $N = 8$ ditunjukkan pada Gambar 2.20.



Gambar 2.20 Lingkaran *twiddle factor* untuk $N = 8$

(Sumber : Harlianto Tanudjaja, 2007)

Nilai *twiddle factor* adalah sama untuk setiap vektor rotasi yang mengalami perputaran.

$$\begin{aligned} W_8^0 &= W_8^8 = W_8^{16} = W_8^{24} = \dots \\ W_8^1 &= W_8^9 = W_8^{17} = W_8^{25} = \dots \end{aligned} \quad (2-10)$$

Sedangkan nilai *twiddle factor* antara vektor yang berbeda 180 derajat adalah negatif satu sama lain.

$$\begin{aligned} W_8^0 &= -W_8^4 ; W_8^8 = -W_8^{12} ; \dots \\ W_8^1 &= -W_8^5 ; W_8^9 = -W_8^{13} ; \dots \end{aligned} \quad (2-11)$$

Diagram *butterfly* merupakan representasi diagramatis dari algoritma FFT. Diagram *butterfly* dibuat berdasarkan teorema penguraian DFT, susunan *bit-reversed* data *input* serta sifat istimewa *twiddle factor*.

Diagram dasar *butterfly* dibuat dari 2-Point FFT dengan menggunakan penguraian DFT level pertama. Dengan mensubstitusi nilai $N = 2$ pada Persamaan (2-9) maka didapatkan Persamaan sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 X(k) &= \sum_{n=0}^0 x(2n) e^{-j\frac{2\pi kn}{2}} + W_2^k \sum_{n=0}^0 x(2n+1) e^{-j\frac{2\pi kn}{2}} \\
 &= x(0) e^0 + W_2^k x(1) e^0 \\
 &= x(0) + W_2^k x(1)
 \end{aligned} \tag{2-12}$$

Dengan mensubstitusi sifat *twiddle factor* $W_2^1 = -W_2^0$, maka didapatkan nilai $X(k)$ untuk $k = 0$ dan $k = 1$ sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 X(0) &= x(0) + W_2^0 x(1) \\
 X(1) &= x(0) + W_2^1 x(1) = x(0) - W_2^0 x(1)
 \end{aligned} \tag{2-13}$$

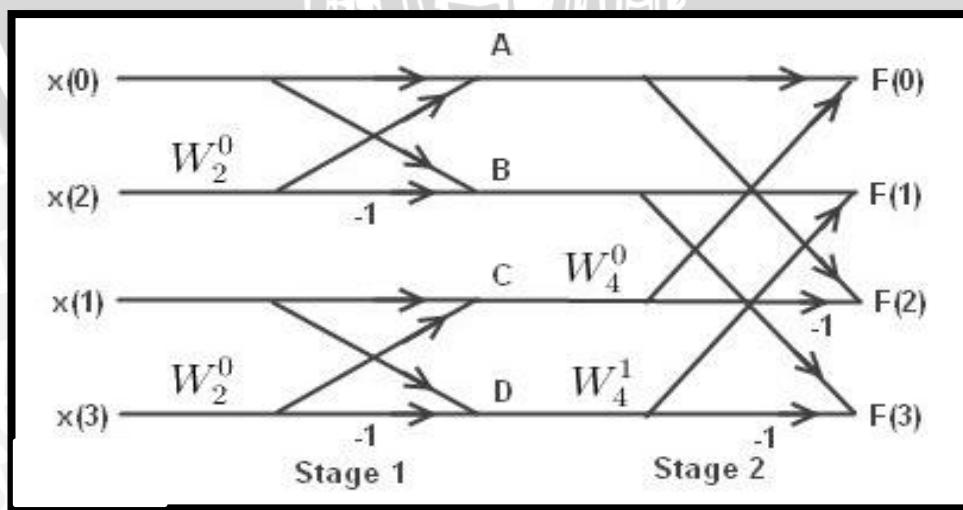
Diagram dasar *butterfly* (*2-point butterfly*) memiliki dua nilai *input* dan menghasilkan dua nilai *output* seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.21.



Gambar 2.21 Diagram dasar *butterfly*

(Sumber : Hwei P. Hsu, 1995)

Diagram *butterfly* untuk *4-Point FFT* (*4-point butterfly*) ditunjukkan pada Gambar 2.22. Diagram ini didapatkan dengan cara menggabungkan 2 blok *butterfly* dari *2-Point FFT* menjadi 1 blok *butterfly* *4-Point FFT*. Dari Gambar 2.22 dapat dilihat bahwa data *input* tersusun secara *bit-reversed*.



Gambar 2.22 Diagram *butterfly* untuk *4-Point FFT*

(Sumber : Hwei P. Hsu, 1995)



Persamaan 4-Point FFT dari diagram *butterfly* di atas adalah sebagai berikut.

$$\begin{aligned} \text{Stage 1:} \quad A &= x(0) + W_2^0 x(2) & C &= x(1) + W_2^0 x(3) \\ B &= x(0) - W_2^0 x(2) & D &= x(1) - W_2^0 x(3) \end{aligned}$$

Stage 2:

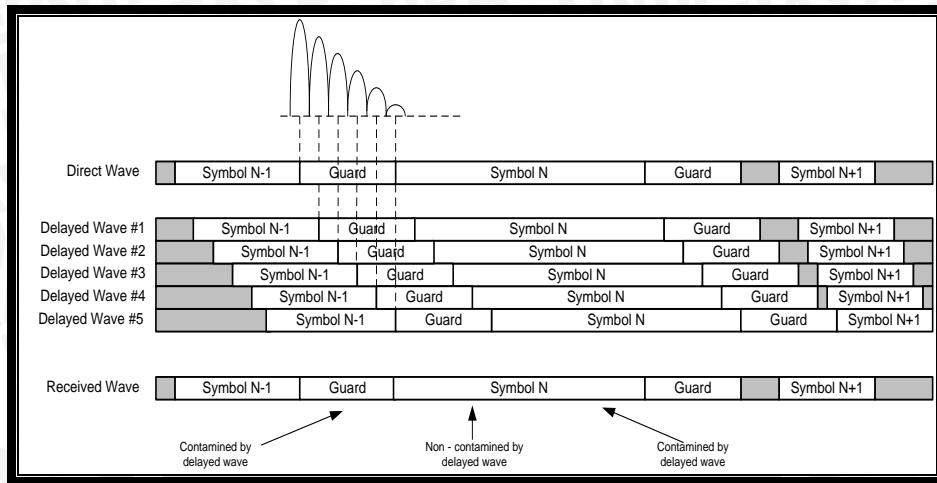
$$\begin{aligned} F(0) &= X(0) = A + W_4^0 C = x(0) + W_2^0 x(2) + W_4^0(x(1) + W_2^0 x(3)) \\ F(1) &= X(1) = B + W_4^1 D = x(0) - W_2^0 x(2) + W_4^1(x(1) - W_2^0 x(3)) \\ F(2) &= X(2) = A - W_4^0 C = x(0) + W_2^0 x(2) - W_4^0(x(1) + W_2^0 x(3)) \\ F(3) &= X(3) = B - W_4^1 D = x(0) - W_2^0 x(2) - W_4^1(x(1) - W_2^0 x(3)) \end{aligned} \quad (2-14)$$

DFT membutuhkan N operasi perkalian untuk setiap data sejumlah N , sehingga komputasi DFT adalah $O(N^2)$. Sedangkan FFT hanya membutuhkan N operasi perkalian (dua perkalian untuk setiap 2-point *butterfly*) sejumlah v stage ($N = 2^v$), sehingga komputasi FFT adalah $O(N\log_2 N)$.

Agar perbedaan laju komputasi DFT dan FFT dapat terlihat dengan jelas, kedua komputasi ini akan dibandingkan dengan nilai N yang cukup besar yaitu $N = 1024$. Komputasi DFT untuk $N = 1024$ adalah $1024^2 = 1048576$. Komputasi FFT untuk $N = 1024$ adalah $1024 \times \log_2(1024) = 1024 \times 10 = 10240$. Dapat disimpulkan bahwa laju komputasi FFT 102.4 kali lebih cepat daripada DFT. Untuk nilai N yang lebih besar, perbedaan laju komputasi akan semakin besar secara signifikan.

2.2.3.4 Cyclic Prefix

Cyclic Prefix merupakan cara untuk mengatasi masalah pada *delay spread* dengan melakukan penyisipan *guard interval* dari kopi simbol OFDMA pada bagian akhir secara siklis. Salah satu masalah yang terpenting dalam komunikasi nirkabel adalah *delay spread*. 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 *sub-carrier* dapat hilang dan ICI meningkat. Disisi lain, ISI juga menjadi masalah dengan meningkatnya *bandwidth carrier* dan laju simbol *sub-carrier*. Untuk mencegah terjadinya ISI maka pada tiap simbol OFDMA disisipkan *guard interval* secara periodik. Bila panjang *guard interval* melebihi *multipath delay*, maka ISI dapat dihilangkan. Efek dari penyisipan *guard interval* dapat digambarkan seperti pada Gambar 2.23.

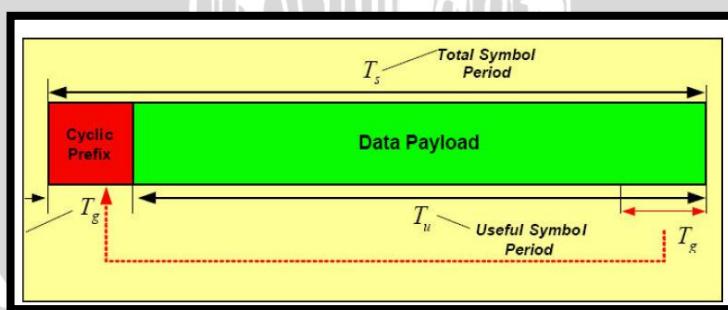


Gambar 2.23 Simbol OFDMA dengan *Guard Interval*

(Sumber: Amitabh Kumar, 2008)

Akan tetapi penggunaan *guard interval* tidak dapat mencegah terjadinya *Interchannel Interference* (ICI) sehingga orthogonalitas antar *sub-carrier* tidak mampu dijaga. Untuk mengatasi masalah ini, maka harus dilakukan penambahan ekstensi siklis dengan cara mencuplik beberapa *frame* OFDMA pada bagian akhir dan meletakkannya dalam *guard interval* atau disebut dengan *cyclic prefix*. Dengan penambahan *cyclic prefix* maka masalah interferensi (ISI dan ICI) yang terjadi pada komunikasi nirkabel dapat diatasi.

Proses penambahan *cyclic prefix* dapat dilihat pada Gambar 2.24. ISI dan ICI dapat dicegah jika panjang *cyclic prefix* melebihi panjang *delay spread* maksimum ($T_g \geq 2\tau$). [Amitabh Kumar, 2008]



Gambar 2.24 Penyisipan *cyclic prefix* pada simbol OFDMA

(Sumber : Eric Lawrey, 1997)

Proses penambahan *cyclic prefix* (T_g) dilakukan pada pemancar terhadap simbol OFDMA. Pada penerima, *cyclic prefix* (T_g) akan dipisahkan dari simbol OFDMA. Akibat penambahan *cyclic prefix* ini maka total dari durasi simbol OFDMA untuk

masing-masing *sub-carrier* adalah durasi simbol OFDMA tanpa *cyclic prefix* ditambah durasi *cyclic prefix*, sehingga total durasi simbol OFDMA adalah $T_s = T_u + T_g$.

2.2.3.5 Konversi Digital ke Analog (D/A) dan Konversi Analog ke Digital (A/D)

Pada pemancar, konverter *digital-to-analog* (D/A) mengkonversikan sinyal digital OFDMA ke dalam format analog. Sedangkan pada sisi penerima, konverter *analog-to-digital* (A/D) mengkonversikan sinyal analog OFDMA ke dalam format digital.

2.3 Kanal Propagasi

Salah satu pertimbangan dalam mendesain suatu sistem jaringan BWA dalam hal ini WiMAX adalah ketahanan suatu sinyal terhadap gangguan dari luar sistem. Dalam sistem BWA, yang tentunya menggunakan medium nirkabel, terdapat dua macam gangguan yang dinilai memiliki efek signifikan terhadap sistem. Gangguan tersebut antara lain adalah :

1. 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.

2. 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. Masalah akibat *fading* ada 2 macam, yaitu : pertama adalah penurunan sinyal, dan yang kedua fluktuasi sinyal itu sendiri. *Fading* dapat dikategorikan menjadi 2, yaitu *large scale fading* dan *small scale fading*. *Large scale fading*, erat kaitannya dengan prediksi *pathloss*. *Large scale fading* dapat menyebabkan penurunan daya sinyal untuk jarak yang semakin jauh dari antena *base station*. Sinyal dikatakan mengalami *small scale fading* jika sinyal yang diterima mengalami distorsi akibat efek kanal. Pengaruh penting akibat adanya *small scale fading* adalah :

- Perubahan level daya terima yang cepat sepanjang interval waktu yang cukup singkat

- Terjadi pelebaran spektral akibat adanya *doppler shift* yang bervariasi pada tiap sinyal *multipath*
- Terjadi dispersi waktu (*echoes*) akibat adanya *multipath propagation delay*.

Berikut adalah faktor-faktor yang mempengaruhi *small scale fading*.

1. *Multipath propagation*

Adanya objek-objek pemantul pada kanal mengakibatkan disipasi energi sinyal. Disipasi energi sinyal itu dapat berupa disipasi amplituda, fasa, dan waktu. Hal ini mengakibatkan sinyal yang diterima di penerima menjadi dua jenis, yaitu langsung (*direct*) dan tunda (*delay*), dengan variasi amplitudo dan fasa yang acak pada tiap komponen *multipath*. Hal ini akan mengakibatkan *intersymbol interference* (ISI).

2. Kecepatan penerima (*mobile*)

Pergerakan relatif antara pemancar dan penerima menghasilkan efek *doppler shift*, yaitu pergeseran frekuensi modulasi yang acak pada tiap komponen *multipath*. Hal ini mengakibatkan pelebaran spektral sinyal.

3. Kecepatan objek-objek lingkungan kanal

Jika objek-objek pada kanal dalam keadaan bergerak, maka akan mengakibatkan *time varying doppler shift*.

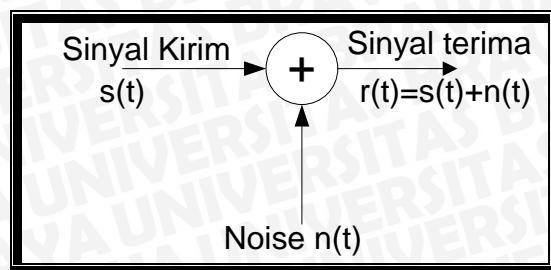
4. *Bandwidth* transmisi sinyal

Jika *bandwidth* sinyal yang dikirimkan lebih besar dari *bandwidth* kanal maka sinyal yang diterima akan mengalami distorsi. Hal ini berhubungan dengan *bandwidth* koheren dari kanal.

Pada sistem ini, karakteristik kanal diwakili oleh dua gejala yaitu *fading* yang berdistribusi *Rayleigh* dan adanya *noise* yang berdistribusi Gaussian, *Additive White Gaussian Noise* (AWGN).

2.3.1 Kanal Additive White Gaussian Noise (AWGN)

Kanal AWGN adalah kanal ideal yang hanya memiliki *noise* AWGN di dalamnya. Kanal ideal berarti kanal ini tidak menyebabkan distorsi (perubahan bentuk sinyal) pada sinyal yang dikirim, artinya kanal ideal memiliki *bandwidth* tidak terbatas dan respon frekuensinya tetap untuk segala frekuensi. Gambar 2.25 menunjukkan model kanal AWGN.



Gambar 2.25 Pemodelan Kanal AWGN

(Sumber : Rustam Efendi, 2007)

Berdasarkan Gambar 2.25, sinyal yang dikirim $s(t)$, pada kanal akan terkena *noise* AWGN $n(t)$. Sehingga sinyal yang diterima menjadi $r(t) = s(t) + n(t)$. *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 tergantung dari frekuensi operasi sistem dan memiliki rapat daya yang konstan, dan sifat *gaussian* artinya besarnya tegangan *noise* memiliki rapat peluang terdistribusi gaussian.

Besarnya daya AWGN dapat dilihat dari Persamaan berikut :

$$N_0 = kTB \quad (2-15)$$

dengan:

k = konstanta boltzman ($1,38 \times 10^{-23}$ J/K)

T = temperatur operasi sistem (°K)

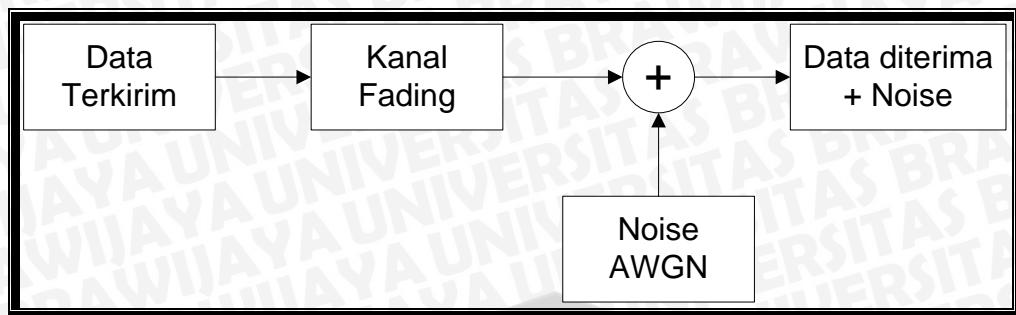
B = bandwidth (Hz)

Dari Persamaan (2.15) dapat dipahami bahwa keberadaan *noise* AWGN dalam jaringan nirkabel, bahkan jaringan telekomunikasi manapun, akan selalu ada selama terdapat *bandwidth* dan temperatur perangkat telekomunikasi bekerja pada suhu di atas -273°C.

2.3.2 Kanal Fading

Pada kenyataannya, tidak ada kanal yang benar-benar ideal. Kanal yang sebenarnya pasti memiliki keterbatasan *bandwidth* dan menyebabkan distorsi pada sinyal yang dikirim. Dalam sistem wireless kanal seperti ini disebut kanal *fading*. Gambar 2.26 menunjukkan model kanal *fading*.





Gambar 2.26 Model kanal fading

(Sumber: Muh. Arief ,2009)

Dalam skripsi ini, kanal *fading* diwakili oleh distribusi *Rayleigh*. Distribusi *Rayleigh* yang juga diturunkan dari distribusi Gaussian, digunakan untuk mewakili komunikasi yang sifatnya *non-line of sight* (NLOS). Distribusi tersebut diturunkan sebagai berikut :

$$p(r) = \begin{cases} \frac{r}{\sigma^2} \exp\left(\frac{-r^2}{2\sigma^2}\right) & \text{untuk } r \geq 0 \\ 0 & \text{lainnya} \end{cases} \quad (2-16)$$

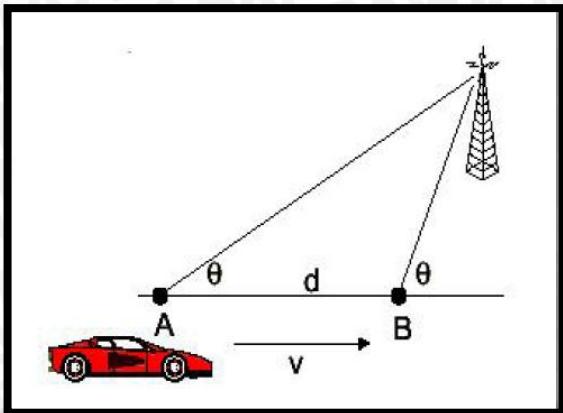
dengan,

- $p(r)$ = fungsi sinyal berdistribusi *Rayleigh*
- σ^2 = variasi dari sinyal
- r = *magnitude* dari sinyal

Berikut ini adalah beberapa parameter penting dalam menganalisis karakteristik *fading*, yaitu :

2.3.2.1 Doppler Shift

Doppler shift disebabkan oleh pergerakan relatif antara pemancar dan penerima dan akibat dari pergerakan objek-objek pada kanal. Hal ini mengakibatkan adanya pelebaran spektral sinyal yang diterima oleh *receiver*. Penerima yang bergerak dengan kecepatan tetap v , sejauh d antara titik A dan B. Perbedaan panjang lintasan yang dilalui oleh sinyal dari pengirim sampai ke penerima pada titik A dan B adalah $\Delta l = d \cos \theta = v \cdot \Delta t \cos \theta$, dimana Δt adalah waktu yang diperlukan penerima untuk bergerak dari A dan B, dan θ diasumsikan sebagai sudut datang jika sinyal datang dari jarak yang jauh.



Gambar 2.27. Efek Doppler dalam sistem komunikasi bergerak

(Sumber : Rustam Efendi,2007)

Perubahan fasa sinyal terima dikarenakan perbedaan panjang lintasan adalah :

$$\Delta\phi = \frac{2\pi.\Delta l}{\lambda} = \frac{2\pi.v.\Delta t}{\lambda} \cdot \cos\theta \quad (2-17)$$

dan perubahan frekuensi atau *doppler shift* dinotasikan dengan :

$$f_d = \frac{1}{2\pi} \frac{\Delta\phi}{\Delta t} = \frac{v}{\lambda} \cos\theta \quad (2-18)$$

$$f_d = \frac{f_c v}{c} \cos\theta \quad (2-19)$$

dimana:

f_d = frekuensi *doppler* (Hz)

v = kecepatan pergerakan pengguna (m/s)

λ = panjang gelombang frekuensi pembawa (m)

θ = sudut antara arah propagasi sinyal dengan arah pergerakan relatif ($^{\circ}$)

f_c = frekuensi *carrier* (Hz)

c = kecepatan cahaya = 3×10^8 m/s

Frekuensi *Doppler* maksimum terjadi apabila arah pergerakan relatif *Mobile Station* berada satu lintasan dengan arah propagasi sinyal, baik ketika penerima bergerak mendekati maupun menjauhi pengirim, sehingga sudut θ akan bernilai 0 atau π . Persamaan berikut ini menunjukkan Persamaan *Doppler shift* maksimum :

$$f_m = f_{d \max} = \frac{f_c v}{c} \quad (2-20)$$

dengan:

f_m = $f_{d \max}$ = frekuensi Doppler maksimum (Hz)

f_c = frekuensi *carrier* (Hz)



- v = kecepatan pergerakan pengguna (m/s)
- c = kecepatan cahaya = 3×10^8 m/s

2.3.2.2 Delay Spread dan Coherence Bandwidth

- *Delay Spread*

Sinyal *multipath* akan sampai di penerima dengan waktu tiba yang berbeda-beda tergantung jarak lintasan yang ditempuh. Sebuah impuls yang dikirimkan oleh pemancar akan diterima oleh penerima bukan lagi sebuah impuls melainkan sebuah pulsa dengan lebar penyebaran yang disebut *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 bertumbukan dengan simbol sebelum dan sesudahnya. Level interferensi antar simbol ini ditentukan oleh kecepatan transmisi bit. RMS *delay spread* adalah parameter penting yang menentukan performa sistem *digital* dan alat baik untuk membantu dalam mengidentifikasi *multipath fading*. RMS *delay spread* (σ_τ) dapat mempengaruhi *coherence bandwidth* (B_c)

- *Coherence bandwidth*

Merupakan parameter ukur statistik kanal dalam suatu range frekuensi yang dapat dianggap “flat” yaitu semua komponen spektrum dalam range frekuensi tersebut mendapat *gain* dan fasa linier. *Coherence bandwidth* dapat mendefinisikan sifat *fading frequency selective fading* atau *flat fading*, dengan karakteristik sebagai berikut :

- *Flat Fading*

Sinyal terima akan mengalami *flat fading* jika $bandwidth$ sinyal $<$ $bandwidth$ *coherence* [$B_s \ll B_c$]. Jenis *fading* ini mengakibatkan kurangnya daya sinyal dan dapat diatasi dengan teknik diversitas, *error control*, dan *power control*.

- *Frequency selective fading*

Sinyal terima akan mengalami *frequency selective fading* jika $bandwidth$ sinyal $>$ $bandwidth$ *coherence* [$B_s \gg B_c$]. Jenis *fading* ini mengakibatkan kurangnya daya sinyal dan *inter-symbol interference* (ISI) dan dapat diatasi dengan proses ekualisasi.

Bandwidth sinyal (B_s) dapat diperoleh dari Persamaan berikut ini.

$$B_s = \frac{1}{2\Delta\tau} \quad (2-21)$$

dengan,

B_s = *Bandwidth* sinyal (Hz)



$$\Delta\tau = \frac{\tau_d}{N_{path}} = \text{selisih delay antar path (s)}$$

dengan τ_d adalah *delay spread* maksimum dan N_{path} menunjukkan jumlah *path*.

sedangkan *bandwidth coherence* dapat dihitung melalui Persamaan berikut

$$B_c = \frac{1}{5\sigma_\tau} \quad (2-22)$$

dengan,

B_c = *coherence bandwidth* (Hz)

σ_τ = rms *delay spread* (s)

2.3.2.3 Doppler Spread dan Coherence Time

- *Doppler spread*

Doppler spread adalah ukuran perluasan spektral (*spectral Broadening*) karena adanya perubahan kanal terhadap waktu. Perluasan spektral tersebut adalah akibat dari pergeseran frekuensi karena adanya pergerakan pengguna atau objek di sekitarnya. *Doppler spread* menentukan *channel coherence time*.

- *Coherence time*

Coherence time merupakan ilustrasi efek doppler pada domain waktu. *Coherence time* dapat digunakan untuk mengkarakterisasi sifat kanal berdasarkan variasi waktu, yaitu *slow fading* atau *fast fading* dengan karakteristik sebagai berikut :

- *Slow fading*

Pada *slow fading*, *rate* perubahan respon impuls kanal lebih lambat daripada durasi simbol sinyal yang ditransmisikan. Syarat kanal mengalami *slow fading* jika *coherence time* > periode simbol [$T_c > T_s$]. Dalam kasus ini kanal diasumsikan statis. Jenis *fading* ini mengakibatkan berkurangnya daya sinyal dan dapat diatasi dengan teknik diversitas, *error control*, dan *power control*.

- *Fast Fading*

Pada *fast fading*, respon impuls kanal berubah dengan cepat dalam satu durasi simbol. Hal ini diakibatkan karena *coherence time* lebih kecil daripada periode simbol sinyal yang ditransmisikan. Syarat kanal mengalami *fast fading* jika *coherence time* < periode simbol [$T_c < T_s$]. Jenis *fading* ini mengakibatkan berkurangnya daya sinyal, distorsi sinyal dan masalah sinkronisasi dapat diatasi dengan *error control* dan *interleaving*.

Persamaan berikut ini digunakan untuk mencari nilai *coherence time*.

$$T_c \approx \frac{1}{f_m} \quad (2-23)$$

dengan,

T_c = coherence time (s)

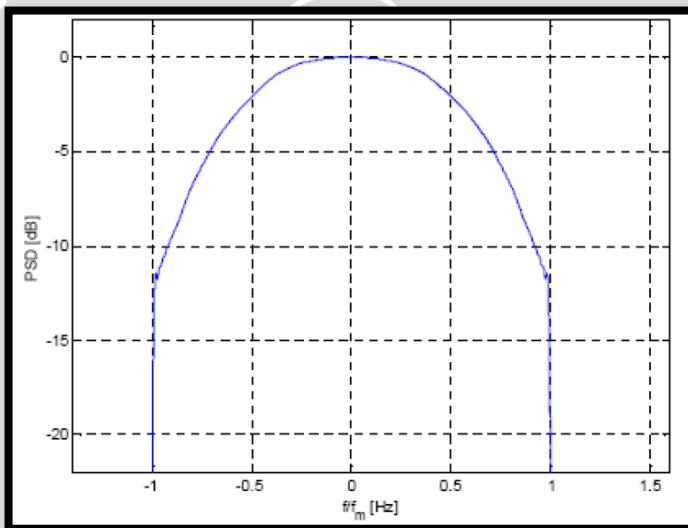
f_m = frekuensi Doppler maksimum (Hz)

Channel coherence time juga dapat dilihat dengan pendekatan spektrum atau *Doppler spectrum*. *Doppler spectrum* menunjukkan sebaran pergeseran fasa. Berikut ini adalah beberapa *Doppler spectrum* yang dapat digunakan :

- *Rounded Doppler Spectrum*

$$S(f) = \begin{cases} 1 - 1.72f_0^2 + 0.785f_0^2 & f_0 \leq 1 \\ 0 & f_0 > 1 \end{cases}, f_0 = \frac{f}{f_m} \quad (2-24)$$

Model spektrum ini menunjukkan sebaran pergeseran *Doppler* yang terdistribusi di sekitar nol. Model ini sesuai untuk aplikasi *fixed*.



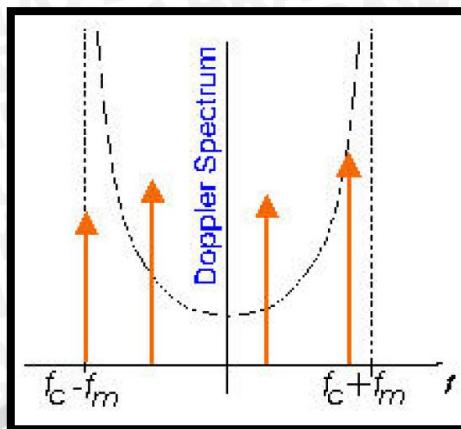
Gambar 2.28 *Rounded Doppler Spectrum*

(Sumber : Amalia Roca,2007)

- *Classic Jakes Doppler Spectrum*

$$S(f) = \frac{1}{\pi f_m \sqrt{1 - \left(\frac{f}{f_m}\right)^2}} \quad (2-25)$$

Model spektrum ini menunjukkan sebaran pergeseran Doppler yang lebih terdistribusi di sekitar pergeseran frekuensi maksimum. Model ini sesuai untuk aplikasi *mobile*.



Gambar 2.29 Classic Jakes Doppler Spectrum

(Sumber : V.Erceg., 2001)

2.4 Model Kanal Propagasi

Model kanal propagasi adalah model estimasi karakteristik kanal. Model kanal propagasi sangat berperan penting dalam perencanaan jaringan nirkabel, terutama untuk penentuan *coverage base station* dan penentuan persyaratan RF bagi perangkat *base station* maupun perangkat *subscriber station*.

Secara umum, model kanal propagasi dapat dikelompokkan menjadi tiga kelompok besar, yaitu :

- Model empirik

Model yang diturunkan dari hasil pengukuran lapangan di lokasi-lokasi yang dianggap mewakili sampel lingkungan nirkabel

- Model deterministik

Model yang dikembangkan dari teori propagasi gelombang elektromagnetik dan digunakan untuk perhitungan daya pancar di lokasi yang ditinjau

- Model Stokastik

Model yang menyertakan peubah acak sebagai representasi kondisi lingkungan yang berubah dari waktu ke waktu dan dari satu lokasi ke lokasi lain

Dari ketiga model kanal propagasi di atas, model kanal propagasi empirik merupakan model yang sangat diminati kalangan peneliti maupun industri karena kemudahan penggunaan serta toleransi terhadap ketidak tersediaan informasi *terrain*. Yang termasuk dalam model kanal propagasi empirik adalah model ECC-33, COST-231 Hata dan Stanford University Interim (SUI). Dari ketiga model tersebut, model kanal SUI menyediakan informasi yang terkait dengan karakteristik dispersif kanal. Karena itulah, pada skripsi ini digunakan model kanal propagasi SUI.



2.4.1 Model Stanford University Interim (SUI)

Model kanal seperti yang dideskripsikan di poin-poin sebelumnya menyediakan dasar untuk menspesifikasikan kanal dengan skenario tertentu. Model ini dikembangkan oleh kelompok kerja IEEE 802.16. SUI model merupakan model yang dikembangkan untuk frekuensi dibawah 11 GHz. Model ini didefinisikan untuk pita frekuensi 2,5-2,7 GHz, yakni pita frekuensi untuk *Multipoint Microwave Distribution System* (MMDS) di Amerika.

Berdasarkan *terrain*, model SUI membagi 3 jenis, yaitu :

- Tipe A : *Hilly/moderate-to-heavy tree density (urban)*. Tipe ini berasosiasi dengan *pathloss* terbesar yaitu perbukitan dengan densitas pepohonan tinggi.
- Tipe B : *Hilly/light tree density or flat / moderate-to-heavy tree density/intermediate (sub urban)*. Tipe ini merupakan asosiasi *pathloss* pertengahan yaitu dengan *terrain* dan densitas pepohonan antara tipe A dan C.
- Tipe C : *Flat/light tree density (rural)*. Tipe ini berasosiasi dengan *pathloss* terkecil yaitu *terrain* rata dengan pepohonan jarang.

Persamaan umum model empirik SUI :

$$PL = A + 10\gamma \log_{10} \left(\frac{d}{d_0} \right) + X_f + X_h + s, \text{ untuk } d > d_0 \quad (2-26)$$

Keterangan :

A : *Free space loss* di d_0

$$A = 20 \log_{10} \left(\frac{4\pi d_0}{\lambda} \right) \quad (2-27)$$

λ : panjang gelombang

d_0 : 100 m (jarak referensi)

γ : *pathloss exponent*

$$\gamma = a - b \cdot h_b + \left(\frac{c}{h_b} \right) \quad (2-28)$$

a,b,c : konstanta yang menunjukkan kategori *terrain*

h_b : tinggi *base station*

d : jarak antara *base station* dan *subscriber station* (m)

X_f : faktor koreksi frekuensi

$$X_f = 6 \log \left(\frac{f}{1900} \right) \quad (f \text{ dalam MHz}) \quad (2-29)$$

X_{hCPE} : faktor koreksi tinggi antena penerima

$$X_{hCPE} = -10,8 \log \left(\frac{h_{CPE}}{2} \right) \quad \text{terrain a dan b} \quad (2-30)$$



$$X_{hCPE} := -20 \log\left(\frac{h_{CPE}}{2}\right)_{\text{terrain c}} \quad (2-31)$$

dengan , h_{CPE} : tinggi antena penerima

s : peubah acak yang terdistribusi secara lognormal sebagai representasi *shadowing* oleh pohon atau bangunan yang harganya antara 8,2 dB-10,6 dB tergantung tipe *terrain*

Nilai a, b, c adalah daerah yang akan dilayani berdasarkan tipe pepohonan/bangunan yang ada di daerah tersebut. Adapun nilai a, b, c dapat dilihat dalam Tabel 2.6.

Tabel 2.6 Parameter untuk Tipe *Terrain* yang Berbeda

Parameter	Tipe A	Tipe B	Tipe C
A	4,6	4	3,6
B	0,0075	0,0065	0,005
C	12,6	17,1	20
Efek shadow (s)	10,6	9,6	8,2

(Sumber : Kwang-Cheng Chen and J. Roberto B. de Marca, 2008)

2.4.1.1 Karakteristik Kanal *Multipath SUI*

Untuk model *small-scale fading* atau *multipath fading*, ada 6 jenis parameter SUI yang dideskripsikan pada Tabel 2.7-2.12 berikut. Parameter-parameter yang diatur pada model kanal SUI antara lain:

- *Path delay*

Untuk sinyal yang pertama kali diterima, tipikalnya mempunyai *delay* 0 sekon. *Path delay* tergantung pada tempat terjadinya komunikasi

Indoor → *Path delay* setelah sinyal yang pertama, tipikalnya antara 1 ns sampai 100 ns.

Outdoor → *Path delay* setelah sinyal pertama, tipikalnya antara 100 ns sampai 20 μ s.

- *Path Gain*

Path gain menyatakan *gain* rata-rata yang dialami oleh sinyal dalam suatu lintasan tertentu. Tipikalnya *Path gain* bernilai 0 dB sampai -20 dB.

- Frekuensi *Doppler*

Parameter ini tergantung pada pergerakan *receiver* yang dijelaskan pada Persamaan (2.19).

Tabel 2.7 Parameter model SUI 1

	SUI-1	Tipe <i>Terrain : C</i>		
	Tap 1	Tap 2	Tap 3	Satuan
<i>Delay</i>	0	0,4	0,9	μs
Daya	0	-15	-20	dB
Frek. Doppler	0,4	0,3	0,5	Hz

(Sumber : V.Erceg, 2001)

Tabel 2.8 Parameter model SUI 2

	SUI-2	Tipe <i>Terrain : C</i>		
	Tap 1	Tap 2	Tap 3	Satuan
<i>Delay</i>	0	0,4	1,1	μs
Daya	0	-12	-15	dB
Frek. Doppler	0,2	0,15	0,25	Hz

(Sumber : V.Erceg, 2001)

Tabel 2.9 Parameter model SUI 3

	SUI-3	Tipe <i>Terrain : B</i>		
	Tap 1	Tap 2	Tap 3	Satuan
<i>Delay</i>	0	0,4	0,9	μs
Daya	0	-5	-10	dB
Frek. Doppler	0,4	0,3	0,5	Hz

(Sumber : V.Erceg, 2001)

Tabel 2.10 Parameter model SUI 4

		SUI-4	Tipe Terrain : B	
	Tap 1	Tap 2	Tap 3	Satuan
<i>Delay</i>	0	1,5	4	μs
Daya	0	-4	-8	dB
Frek. Doppler	0,2	0,15	0,25	Hz

(Sumber : V.Erceg, 2001)

Tabel 2.11 Parameter model SUI 5

		SUI-5	Tipe Terrain : A	
	Tap 1	Tap 2	Tap 3	Satuan
<i>Delay</i>	0	4	10	μs
Daya	0	-5	-10	dB
Frek. Doppler	2	1,5	2,5	Hz

(Sumber : V.Erceg, 2001)

Tabel 2.12 Parameter model SUI 6

		SUI-6	Tipe Terrain : A	
	Tap 1	Tap 2	Tap 3	Satuan
<i>Delay</i>	0	14	20	μs
Daya	0	-10	-14	dB
Frek. Doppler	0,4	0,3	0,5	Hz

(Sumber : V.Erceg, 2001)

2.4.2 Model COST-231 Hatta

Hatta Model telah digunakan secara luas untuk jaringan seluler pada pita frekuensi 800 MHz/900 MHz. Karena sistem *Personal Communication Service* (PCS) menggunakan pita frekuensi 1800 MHz/1900 MHz, Hata Model kemudian dimodifikasi oleh badan *European Cooperation in the field of Scientific and Research* (COST), dan model path loss yang dikembangkan tersebut disebut sebagai COST-231 Hata Model. Parameter Model ini memiliki frekuensi *Carrier* 1.5 GHz sampai 2 GHz, tinggi antena *base station* 30 m sampai 300 m, tinggi antena mobile user 1 m sampai 10 m dan jarak *base station* dan *user* 1 km-20 km.

2.4.3 Model ECC-33

Meskipun Hata-Okumura Model secara luas digunakan untuk *band* UHF namun ketelitiannya masih dipertanyakan untuk frekuensi yang lebih tinggi. Teknik pendekatan yang berbeda kemudian dikembangkan oleh *Electronic Communication Committee* (ECC) dari pengukuran awal yang dilakukan oleh Okumura dan mengubahnya sehingga sangat mendekati sistem Fixed Wireless Access (FWA). Model *path loss* yang dikembangkan tersebut dikenal sebagai ECC-33 Model. Model ini didefinisikan untuk pita frekuensi diatas 3 GHz.

2.5 Parameter Performansi Sistem

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

2.5.1 Signal to Noise Ratio

Besarnya pengaruh redaman sinyal terhadap sinyal yang ditransmisikan dapat dinyatakan dengan perbandingan antara sinyal dengan *noise* (SNR) yang dinyatakan dalam Persamaan berikut [E. Glatz, 1999] :

$$SNR_{(dB)} = P_r(dBm) - N_o(dBm) \quad (2-32)$$

dengan :

SNR = signal to noise ratio (dB)

P_r = daya yang diterima (dBm)

N_o = daya *noise* saluran transmisi (dBm)

Daya yang diterima oleh penerima sangat dipengaruhi oleh propagasi sinyal dari pemancar ke penerima. Pada sistem komunikasi yang menggunakan OFDMA, daya yang diterima juga dipengaruhi oleh jumlah *sub-carrier* yang digunakan. Sehingga daya yang diterima pada sistem *multicarrier* dinyatakan dalam Persamaan berikut [Wang, 2004] :

$$P_r = P_t + G_t + G_r - PL - 10 \times \log_{10}(N) \quad (2-33)$$

dengan :

P_r = daya terima (dBm)

P_t = daya pancar (dBm)

G_t	= gain antena pemancar (dB)
G_r	= gain antena penerima (dB)
PL	= rugi-rugi propagasi (dB)
N	= jumlah <i>sub-carrier</i>

Sedangkan untuk perhitungan daya *noise* dinyatakan dalam Persamaan berikut [E. Glatz, 1999] :

$$N_{o(dBm)} = 10 \log k \times T + 10 \log B + NF \quad (2-34)$$

dengan :

N_o	= daya <i>noise</i> saluran transmisi (dBm)
k	= konstanta Boltzman ($1,38 \times 10^{-23}$ J/K)
T	= suhu absolute (300° K)
NF	= <i>noise figure</i> (dB)
B	= <i>bandwidth</i> (Hz)

Besarnya nilai SNR sistem yang menggunakan *air interface* OFDMA diperoleh dari Persamaan berikut [Hara, 2003] :

$$SNR_{sistem} = (1 - \alpha_{CP}) SNR \quad (2-35)$$

dengan :

SNR_{sistem}	= <i>signal to noise ratio</i> sistem (dB)
SNR	= <i>signal to noise ratio</i> (dB)
α_{cp}	= faktor cyclic prefix

2.5.2 Laju Data

Pada sistem OFDMA, laju data total yang tersedia dibagi kedalam beberapa *subcarrier* agar dapat mentransmisikan data dengan laju data rendah. Laju data untuk masing-masing *subcarrier* dari laju data total yang tersedia dapat dinyatakan dengan Persamaan berikut [Tufvesson, 1998] :

$$R_{sub} = \frac{R_{tot}}{N} \quad (2-36)$$

dengan :

R_{sub}	= laju data masing-masing <i>subcarrier</i> (bps)
R_{tot}	= laju data total (bps)



N = jumlah *subcarrier*

Dan durasi simbol untuk suatu modulasi pada masing-masing *subcarrier* dinyatakan dengan Persamaan berikut [Tufvesson, 1998] :

$$T_{sub} = \frac{\log_2 \times M}{R_{sub}} = \frac{N \times \log_2 \times M}{R_{tot}} \quad (2-37)$$

sehingga didapat laju data total dari Persamaan (2-37) adalah sebagai berikut :

$$R_{tot} = \frac{N \times \log_2 \times M}{T_{sub}} \quad (2-38)$$

dengan :

T_s = durasi simbol masing-masing *sub-carrier* (s)

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

R_{tot} = laju data total (bps)

N = jumlah *subcarrier* aktif

M = jumlah kemungkinan sinyal

untuk modulasi QPSK nilai $M = 2^2 = 4$

untuk modulasi 16-QAM nilai $M = 2^4 = 16$

untuk modulasi 64-QAM nilai $M = 2^6 = 64$

2.5.3 Energy Bit-to-Noise Ratio

Eb/No adalah suatu parameter penting dalam komunikasi digital. Parameter ini berhubungan dengan SNR yang biasanya digunakan untuk menentukan laju data digital dan sebagai ukuran mutu standar untuk kinerja sistem komunikasi digital. Dilihat dari namanya, Eb/No dapat didefinisikan sebagai perbandingan energi sinyal per *bit* terhadap *noise* (disebut juga SNR per *bit*).

Perhitungan Eb/No, 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 berikut (Barry, 2003):

$$\frac{E_b}{N_0} = SNR_{sistem} + 10 \log \frac{B}{R} \quad (2-39)$$

Dengan,

$\frac{E_b}{N_0}$ = rasio energi *bit* terhadap *noise* (dB)



- $\text{SNR}_{\text{sistem}}$ = *signal to noise ratio* sistem (dB)
 B = *bandwidth* (Hz)
 R = laju data (bps)

2.5.4 Bit Error Rate (BER)

Bit Error Rate (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 *bit error* terhadap total *bit* yang diterima.

$$\text{BER} = \frac{\text{Jumlah bit yang salah}}{\text{Total bit yang diterima}} \quad (2-40)$$

AWGN dan *Rayleigh fading* akan memperbesar kemungkinan terjadinya kesalahan dalam pendekripsi simbol. Pengaruh dari AWGN dan *Rayleigh fading* terhadap BER tentu bergantung pada jenis modulasinya.

BER juga dipengaruhi oleh *signal to noise ratio* yang diterima oleh penerima. BER pada sistem untuk modulasi QPSK untuk pengaruh AWGN dan *Rayleigh Fading* dapat dituliskan [Hara, 2003] :

$$\text{BER}_{\text{AWGN}} = \frac{1}{2} \text{erfc}\left(\sqrt{E_b / N_0}\right) \quad (2-41)$$

$$\text{BER}_{\text{Fading}} = \frac{1}{2} \left[1 - \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{1}{E_b / N_0}}} \right] \quad (2-42)$$

dengan :

BER = *bit error rate* sistem

E_b/N_0 = rasio *energy bit* terhadap *noise* (dB)

Nilai $\text{erfc}(x)$ atau *complementary error function* (x) didefinisikan sebagai fungsi kesalahan *dari variable* (x) dan $\text{erfc}(x)$ dapat diubah menjadi Persamaan berikut ini [Dennis Roddy, 2001] :

$$\text{erfc}(x) = 2Q\left(\sqrt{2x}\right) \quad (2-43)$$

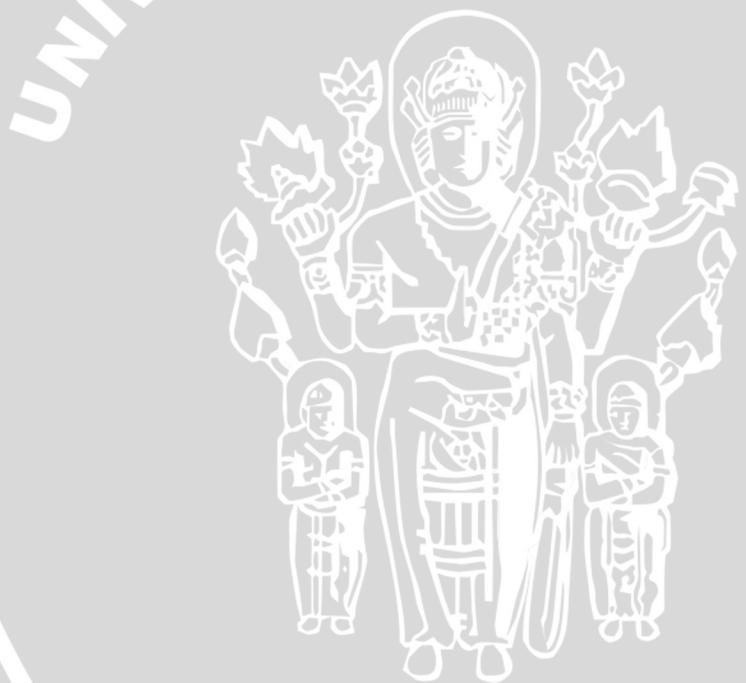
jika $\sqrt{2x}$ dinotasikan dengan z , maka :



$$z = \sqrt{2x} \quad (2-44)$$

Telah terdapat aproksimasi nilai $Q(x)$ untuk $x \geq 0$ dengan kesalahan 0,27%, yaitu [Leon W. Couch, 1995] :

$$BER = Q(z) = \left[\frac{e^{-(z^2/2)} / \sqrt{2\pi}}{(1 - 0,339)z + 0,339\sqrt{z^2 + 5,51}} \right] \quad (2-45)$$



BAB III

METODE PENELITIAN

Kajian yang digunakan dalam skripsi ini adalah kajian yang bersifat analisis yang didasarkan pada studi literatur. Studi literatur dilakukan untuk mempelajari dan memahami konsep terkait model kanal propagasi SUI. Studi literatur yang dilakukan adalah mengenai karakteristik, parameter, serta teori pengantar lain yang menunjang dalam penulisan skripsi ini.

Dalam menyusun skripsi ini diperlukan tahapan-tahapan metodologi yang saling berhubungan dan berurutan. Hal ini bertujuan agar mendapatkan hasil yang maksimal dalam pengerjaan skripsi ini. Adapun urutan tahapan-tahapan dari metodologi yakni jenis dan cara perolehan data, variabel dan cara analisis data, serta kerangka dan solusi masalah. Penjelasan dari tahapan metodologi ini dapat dilihat pada subbab berikutnya.

3.1 Jenis dan Cara Perolehan Data

Perolehan data dilakukan untuk mendapatkan data yang diperlukan dalam menyelesaikan skripsi ini. Data yang diperlukan dalam kajian ini terdiri dari data sekunder yang bersumber dari buku referensi, jurnal, skripsi, internet, dan forum-forum resmi *mobile WiMAX*, OFDMA dan model kanal Propagasi.

Studi literatur dilakukan untuk memperoleh pemahaman secara teori mengenai bahasan yang digunakan dalam penelitian ini. Studi literatur juga digunakan untuk mendapatkan pembahasan dari rumusan masalah mengenai model kanal SUI yang sifatnya NLOS serta pengaruh perubahan kecepatan pengguna, pengaruh perubahan jumlah *sub-carrier*, dan pengaruh perubahan jarak pengguna pada *Mobile WiMAX*. Teori-teori yang dipelajari dalam penelitian ini meliputi

- *Mobile Worldwide Interoperability for microwave access (WiMAX)*

Meliputi pengertian dan perkembangan *Mobile WiMAX*, arsitektur *Mobile WiMAX*, spektrum frekuensi dan sistem *duplexing* pada *Mobile WiMAX*, Prinsip kerja *Mobile WiMAX*, Protokol IEEE 802.16/16e.

- *OFDMA (Orthogonal Frequency Division Multiple Access)*

Meliputi pengertian OFDMA, Definisi *Orthogonal*, Struktur simbol OFDMA & Subkanalisisasi, Blok diagram pemancar dan penerima sistem OFDMA, yang terdiri dari konversi serial ke paralel (S/P) dan konversi paralel ke serial (P/S),

modulator dan demodulator *baseband*, transformasi *fast fourier*, dan *cyclic prefix*.

- Kanal Propagasi

Meliputi karakteristik kanal nirkabel (*large-scale* dan *small-scale fading*), Model *fading* (*Rayleigh fading*) dan model kanal propagasi.

Kemudian data sekunder yang digunakan dalam pembahasan dari rumusan masalah mengenai performansi *Mobile WiMAX* dengan model kanal *Stanford University Interim* (SUI), berupa parameter-parameter OFDM yang digunakan sesuai dengan parameter *Scalable OFDMA* yang dikeluarkan oleh WiMAX Forum, adalah sebagai berikut :

- Pada $N_{FFT} = 512$:
 - *Bandwidth* kanal yang digunakan adalah 5 MHz,
 - *Null Sub-carrier* yang digunakan 92,
 - *Pilot Sub-carrier* yang digunakan 60,
 - *Data Sub-carrier* yang digunakan 360,
- Pada $N_{FFT} = 1024$:
 - *Bandwidth* kanal yang digunakan adalah 10 MHz,
 - *Null Sub-carrier* yang digunakan 184,
 - *Pilot Sub-carrier* yang digunakan 120,
 - *Data Sub-carrier* yang digunakan 720,
- Teknik modulasi yang digunakan adalah QPSK,
- Durasi *frame* 5 ms,
- Durasi simbol yang digunakan 102,9 μ s,
- Jumlah simbol per *sub-carrier* yang digunakan 48,
- Kanal *Rayleigh fading* dibuat berdasarkan model SUI-4 sampai 6 yang ditambahkan derau AWGN (*Additive White Gaussian Noise*) pada kanal *fading*.
- Parameter model kanal SUI 4 sampai SUI 6 yang digunakan untuk simulasi ditunjukkan pada Tabel 2.10-2.12.

3.2 Variabel dan Cara Analisis Data

Metode perhitungan dan analisis data yang digunakan dalam pembahasan skripsi ini adalah mengumpulkan beberapa nilai parameter dari data sekunder. Parameter-parameter yang diperoleh digunakan untuk analisis berdasarkan rumusan masalah yang telah diuraikan sebelumnya. Pendekatan matematis dengan analisis persamaan matematis dilakukan secara *analytical analysis* dengan bantuan *software Matlab* 7.13.0. Analisis yang dilakukan dalam skripsi ini meliputi performansi sebagai berikut :

1. *Signal-to-noise ratio* (SNR)
2. *Bit error rate* (BER)

Variabel bebas yang digunakan dalam skripsi ini adalah kecepatan pengguna, jumlah *sub-carrier* dan jarak *user* terhadap *base station*. Skripsi ini menggunakan kecepatan pengguna 0 km/jam, 3 km/jam, 60 km/jam dan 120 km/jam, jumlah *sub-carrier* 840 dan 420, serta jarak *user* terhadap *base station* 700-1500 m .

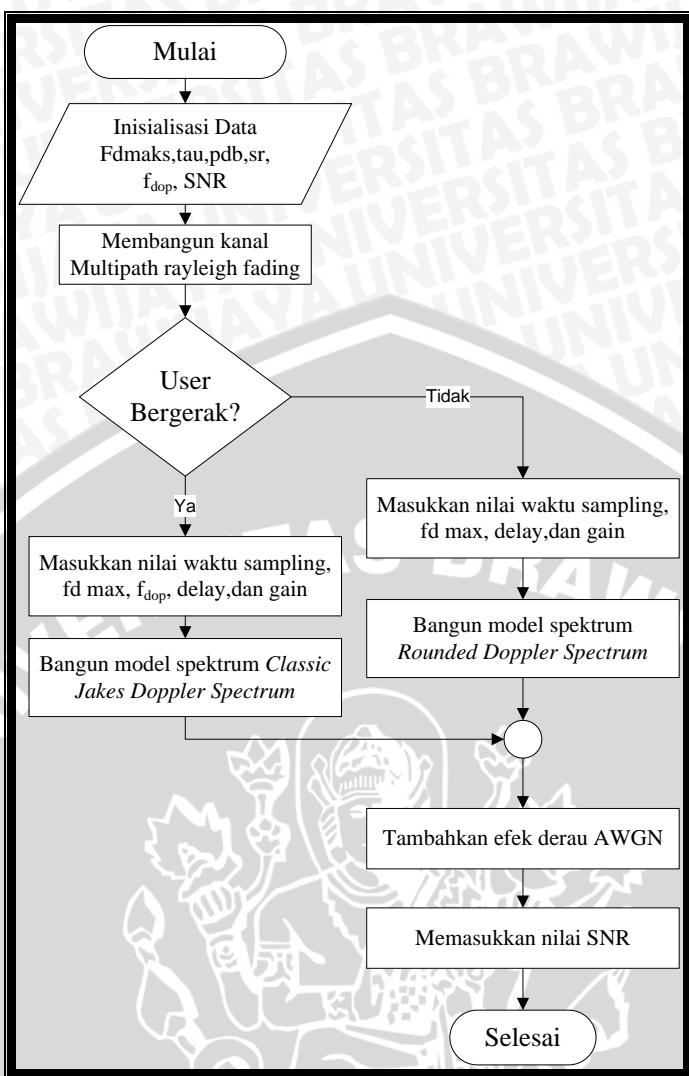
3.3 Kerangka Solusi Masalah

Pada tahapan ini dianalisis suatu kerangka solusi berdasarkan perumusan masalah yang telah dijelaskan pada bab sebelumnya. Berikut langkah-langkah perhitungan dan simulasi untuk mendapatkan performansi-performansi yang diinginkan:

1. Simulasi model kanal SUI dengan variasi pergerakan pengguna.

Pada tahap ini akan disimulasikan model kanal SUI dengan perpaduan dua model kanal, yaitu kanal AWGN dan kanal *Rayleigh Fading*. Dengan asumsi *user* melakukan pergerakan dengan kecepatan 3 km/jam, 60 km/jam, dan 120 km/jam. Gambar 3.1 menunjukkan diagram alir secara umum untuk blok channel yang dimodelkan.





Gambar 3.1 Diagram alir blok *channel* secara umum

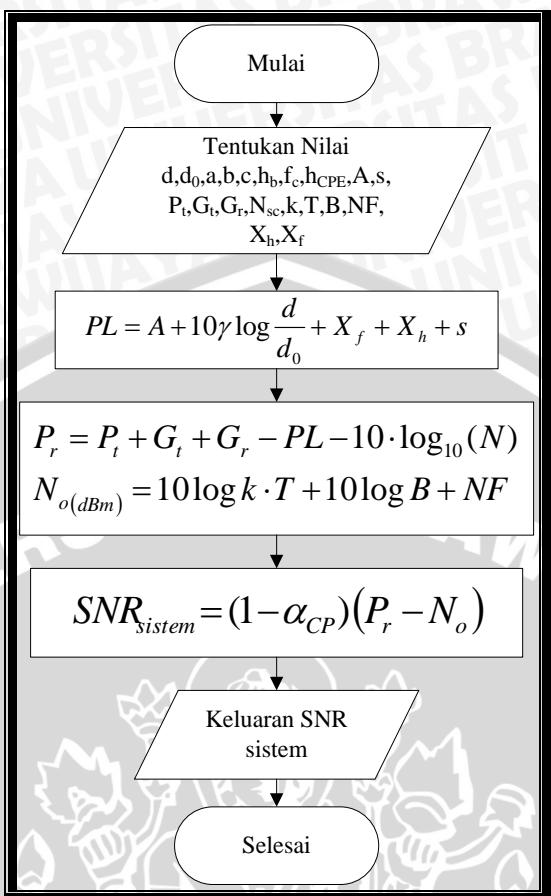
(Sumber : Perancangan, 2012)

Keterangan

- Fd max = Frekuensi doppler maksimum tiap *tap* (Hz)
- tau = *Path delay* (s)
- pdb = *Path gain* (dB)
- Sr = *Symbol rate* (Hz)
- f_{dop} = Frekuensi Doppler



2. Perhitungan *signal to noise ratio* sistem, dengan cara :



Gambar 3.2 Diagram alir perhitungan *signal to noise ratio* (SNR) sistem.

(Sumber : Perancangan, 2010)

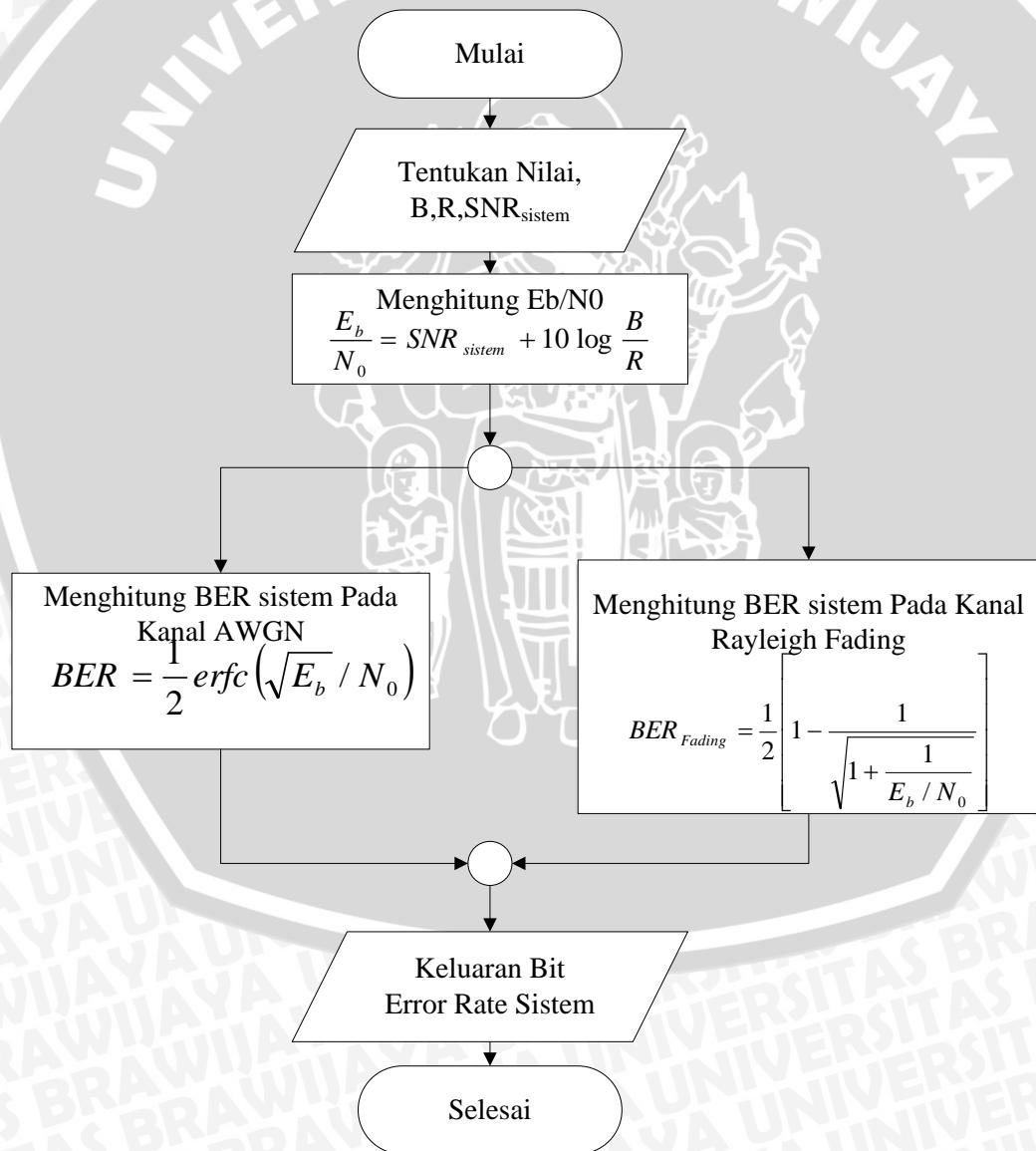
keterangan :

- P_r = daya terima (dBm)
- P_t = daya pancar (dBm)
- G_t = gain antena pemancar (dBi)
- G_r = gain antena penerima (dBi)
- PL = rugi-rugi propagasi (dB)
- N_{sc} = jumlah *sub-carrier*
- N_o = daya *noise* saluran transmisi (dBm)
- k = konstanta Boltzman ($1,38 \times 10^{-23}$ J/K)
- T = suhu *absolute* (300° K)
- NF = *noise figure* (dB)
- B = *bandwidth* (Hz)

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

- α_{cp} = faktor *cyclic prefix*
 a,b,c = konstanta yang menunjukkan kategori *terrain*
 s = peubah acak yang terdistribusi secara lognormal sebagai representasi *shadowing*
 A = Free space loss di d_0
 d = jarak antara *base station* dan *user* (m)
 d_0 = jarak referensi (100 m)
 h_{CPE} = tinggi antena penerima (m)
 h_b = tinggi *base station* (m)

3. Perhitungan *bit error rate* sistem, dengan cara :



Gambar 3.3 Diagram alir perhitungan *Bit Error Rate* (BER) sistem.

(Sumber : Perancangan, 2010)

Keterangan :

- BER = Bit Error Rate (BER) sistem
Eb/N₀ = rasio energi bit terhadap noise (dB)
B = Bandwidth (Hz)
R = laju data (bps)
SNR_{sistem} = Signal-to-Noise ratio sistem (dB)
 $\text{erfc}(x)$ = fungsi kesalahan dari variabel (x),



BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

Dalam bab ini akan dilakukan analisis terhadap model kanal SUI yang diperoleh dari hasil simulasi dan perhitungan. Parameter performansi yang akan diamati adalah *Bit Error Rate* (BER). Simulasi ini dilakukan dengan menggunakan bahasa pemrograman Matlab 7.13.0 (R2011b). Terdapat 4 macam simulasi yang dilakukan yaitu simulasi model kanal SUI 4 sampai SUI 6 dengan pengguna yang diam (kecepatan 0 km/jam), pengguna bergerak dengan kecepatan 3 km/jam, pengguna bergerak dengan kecepatan 60 km/jam dan pengguna bergerak dengan kecepatan 120 km/jam. Selain itu, akan diamati pengaruh jarak pengguna dari *base station* terhadap BER pada model kanal SUI dengan variasi *terrain* melalui analisis perhitungan.

4.1 Parameter Simulasi

Berikut ini beberapa parameter simulasi yang akan digunakan dalam skripsi ini. Parameter ini meliputi parameter model lapisan fisik dan kanal.

4.1.1 Parameter Model Lapisan Fisik

Berikut ini adalah parameter model lapisan fisik yang digunakan. Parameter model lapisan fisik ini mengacu pada parameter-parameter OFDM yang disesuaikan dengan parameter *Scalable OFDMA*.

Tabel 4.1 Parameter Model Lapisan Fisik Simulasi

Parameter	Nilai	
Bandwidth sistem (MHz)	5	10
Symbol Rate (F_p in MHz)	5,6	11,2
FFT Size (N_{FFT})	512	1024
Jumlah sub-carrier (data + pilot)	420	840
Number of OFDMA Symbols (5 ms Frame)	48	
Modulation Order QPSK	4	
Modulation level QPSK	2	
Frekuensi carrier (GHz)	2,5	
Sub-carrier Frequency Spacing	10,94 kHz	
Useful Symbol Time ($T_u = 1/f$)	91,4 μ s	
Guard Time (T_g)	11,4 μ s	
OFDMA Symbol Duration ($T_s = T_u + T_g$)	102,9 μ s	

(Sumber : WiMAX Forum,2006)



4.1.2 Parameter Model Kanal

Berikut parameter-parameter model SUI yang ditunjukkan pada Tabel 4.2.

Tabel 4.2 Parameter Kanal SUI 4-SUI 6

		SUI-4	Tipe <i>Terrain : B</i>	
	Tap 1	Tap 2	Tap 3	Satuan
<i>Delay</i>	0	1,5	4	μs
Daya	0	-4	-8	dB
Frek. Doppler	0,2	0,15	0,25	Hz
$\text{RMS Delay spread} = \tau_{\text{RMS}} = 1,257 \mu\text{s}$				
		SUI-5	Tipe <i>Terrain : A</i>	
	Tap 1	Tap 2	Tap 3	Satuan
<i>Delay</i>	0	4	10	μs
Daya	0	-5	-10	dB
Frek. Doppler	2	1,5	2,5	Hz
$\text{RMS Delay spread} = \tau_{\text{RMS}} = 2,842 \mu\text{s}$				
		SUI-6	Tipe <i>Terrain : A</i>	
	Tap 1	Tap 2	Tap 3	Satuan
<i>Delay</i>	0	14	20	μs
Daya	0	-10	-14	dB
Frek. Doppler	0,4	0,3	0,5	Hz
$\text{RMS Delay spread} = \tau_{\text{RMS}} = 5,240 \mu\text{s}$				

(Sumber : V.Erceg,2001)

Simulasi dibuat berdasarkan skenario-skenario dibawah ini:

- Tinggi antena pengirim: 30 m
- Tinggi antena penerima: 6 m
- *Beamwidth* antena pengirim: 120°
- *Beamwidth* antena penerima: *omnidirectional* (360°)
- *Cell coverage* 90% dengan reliabilitas 99,9% pada setiap lokasi yang terlingkup



4.2 Analisis Parameter Model Kanal terhadap Jenis *Fading*

Berdasarkan subbab 2.3.2.2 dan 2.3.2.3 dapat ditentukan jenis *fading* yang terjadi baik dalam domain waktu maupun dalam domain frekuensi.

- **Domain Waktu**

Berdasarkan dasar teori dalam subbab 2.3.2.3, jenis *fading* dalam domain waktu dibedakan menjadi 2 yaitu *fast* dan *slow fading*. Dalam domain waktu, sistem dikatakan *fast fading* jika waktu koheren < waktu simbol ($T_c < T_s$) sebaliknya sistem dikatakan *slow fading* jika waktu koheren > waktu simbol ($T_c > T_s$). Berdasarkan Persamaan (2.20) dan (2.23) maka akan didapatkan nilai-nilai sebagai berikut:

$$\text{Frekuensi Doppler maksimum} = f_m = \frac{v \cdot f_c}{c}$$

$$\text{Untuk } v = 3 \text{ km/jam}, f_m = \frac{3 \text{ km/jam} \times 2,5 \text{ GHz}}{3 \cdot 10^8 \text{ m/s}} = \frac{3000/3600 \times 2,5 \cdot 10^9}{3 \cdot 10^8} = 6,944 \text{ Hz}$$

$$\text{Waktu koheren } T_c = \frac{1}{f_m} = \frac{1}{6,944 \text{ Hz}} = 0,144 \text{ s} = 144 \text{ ms}$$

Dengan cara perhitungan yang sama untuk $v=60$ km/jam dan $v=120$ km/jam maka akan didapatkan nilai f_m dan T_c sebagai berikut :

Tabel 4.3 Karakteristik Kanal dalam Domain Waktu

Model Kanal	v (km/jam)	f _m (Hz)	T _c (ms)	T _s (ms)	Jenis <i>Fading</i>
SUI 4-SUI 6	3	6,944	144	0,103	Slow
	60	138,89	7,2		Slow
	120	277,78	3,6		Slow

(Sumber : Hasil Perhitungan)

Berdasarkan Tabel 4.3, nilai $T_s < T_c$ sehingga dapat dikatakan bahwa *slow fading* dialami oleh setiap simbol dalam satu *sub-carrier*, dalam arti semua simbol pada setiap *sub-carrier* dipengaruhi oleh kanal dengan koefisien *gain* kanal yang sama.

- **Domain Frekuensi**

Berdasarkan domain frekuensi, jenis *fading* dibedakan menjadi 2 yaitu *frequency selective* dan *flat fading*. Sistem dikatakan *frequency selective fading* jika *bandwidth* sinyal $>>$ *bandwidth* koheren ($B_s \gg B_c$) begitu pula sebaliknya, sistem dikatakan *flat fading* jika $B_s \ll B_c$.

Berdasarkan Tabel 4.2, dapat diketahui nilai rms *delay spread* (σ_τ) dan nilai *delay spread* maksimum (τ_d). Dengan menggunakan Persamaan (2.21) dan (2.22) akan didapatkan nilai sebagai berikut:

Untuk SUI 4, perhitungan *bandwidth* sinyal dan koheren adalah sebagai berikut.

$$B_c = \frac{1}{5\sigma_\tau} = \frac{1}{5 \times 1257 \text{ ns}} = 0,16 \text{ MHz}$$

$$B_s = \frac{1}{2 \times \frac{4 \times 10^{-6} \text{ s}}{3}} = \frac{1}{2,67 \times 10^{-6}} = 0,375 \text{ MHz}$$

Dengan cara perhitungan yang sama untuk tipe SUI 5 – SUI 6 maka akan didapatkan nilai B_s dan B_c sebagai berikut:

Tabel 4.4 Karakteristik Kanal dalam Domain Frekuensi

Tipe Kanal	σ_τ (ms)	τ_d (μ s)	B_s (MHz)	B_c (MHz)	Jenis <i>Fading</i>
SUI 4	1257	4	0,375	0,16	<i>Frequency Selective Fading</i>
SUI 5	2842	10	0,15	0,0704	<i>Frequency Selective Fading</i>
SUI 6	5240	20	0,075	0,038	<i>Frequency Selective Fading</i>

(Sumber : Hasil Perhitungan)

Berdasarkan Tabel 4.4 diatas, *frequency selective fading* ($B_s \gg B_c$) dialami oleh setiap simbol pada tiap *sub-carrier*.

4.3 Analisis Performansi Sistem dalam BER Model Kanal SUI dengan Variasi Kecepatan Pengguna

Pada skripsi ini akan disimulasikan efek dari perpaduan kanal AWGN dan *Rayleigh fading* terhadap kesalahan deteksi pada komunikasi digital (BER) untuk berbagai kombinasi nilai SNR (perbandingan daya sinyal asli terhadap daya *noise*).

4.3.1 Pengguna dengan Pergerakan 0 km/jam

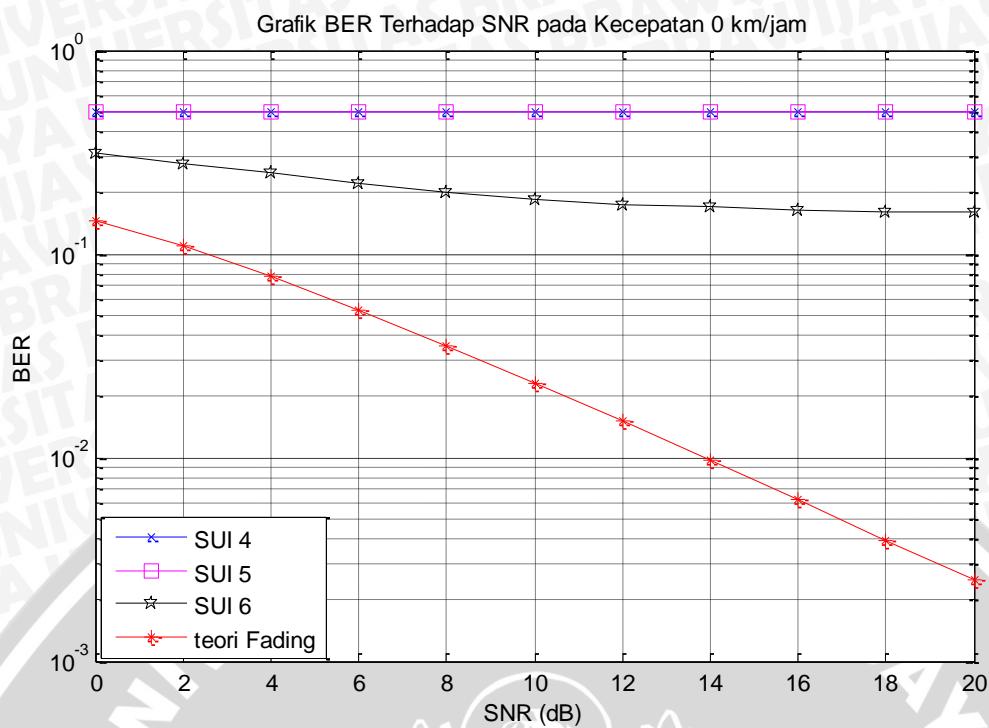
Pengamatan pada kecepatan pergerakan pengguna 0 km/jam dilakukan untuk melihat performansi sistem dengan model kanal SUI yang digunakan oleh pengguna yang diam.

Tabel 4.5 Nilai BER terhadap SNR pada Setiap Model Kanal SUI pada

Kecepatan 0 km/jam

SNR (dB)	BER		
	SUI 4	SUI 5	SUI 6
0	0,5003472	0,501091	0,311892
2	0,500248	0,497135	0,278844
4	0,500037	0,496342	0,249789
6	0,499256	0,496615	0,220399
8	0,500434	0,497842	0,201352
10	0,501687	0,498971	0,186545
12	0,497954	0,499033	0,175546
14	0,497545	0,498338	0,169308
16	0,499454	0,497135	0,164162
18	0,498351	0,497817	0,161223
20	0,498003	0,497693	0,159747

(Sumber : Hasil Simulasi)



Gambar 4.1 Hubungan BER terhadap SNR

Dengan Kecepatan Pengguna 0 km/jam

(Sumber: Hasil Simulasi)

Dari Tabel 4.5 dan Gambar 4.1, terlihat bahwa pada SUI 4 dan SUI 5 memiliki performansi yang tidak sebaik SUI 6 dengan nilai SNR 20 dB kedua model kanal tersebut tidak menunjukkan adanya perbaikan nilai BER. Nilai BER terbaik pada SUI 4 adalah 0,4975 pada level SNR 14 dB sedangkan Nilai BER terbaik pada SUI 5 adalah 0,496342 pada level SNR 4 dB. Oleh karena itu, pada model kanal SUI 4 dan SUI 5 nilai BER terhadap SNR yang terlihat pada Grafik 4.1 cenderung konstan pada nilai 0,5. Pada Model kanal SUI 6 menunjukkan adanya perbaikan nilai BER seiring dengan meningkatnya nilai SNR. Pada level SNR 20 dB didapat nilai BER terbaik yaitu sebesar 0,159747. Jika dibandingkan dengan nilai BER pada *Rayleigh Fading* secara teori, model kanal SUI 4 sampai SUI 6 memiliki performansi yang buruk. Hal tersebut disebabkan karena karakteristik *multipath delay spread* yang ada pada setiap model kanal SUI menyebabkan *bandwidth* sinyal lebih besar dari *bandwidth* kanal (*channel coherence bandwidth*) sehingga terjadi *frequency selective fading*.

4.3.2 Pengguna dengan Pergerakan 3 Km/jam

Pengamatan pada kecepatan pergerakan pengguna 3 km/jam dilakukan untuk melihat performansi sistem saat sistem tersebut digunakan oleh pengguna yang termasuk dalam kategori pejalan kaki (*pedestrian*). Nilai pergeseran Doppler maksimum untuk nilai kecepatan 3 km/jam dengan frekuensi *carrier* 2,5 GHz adalah 6,944 Hz.

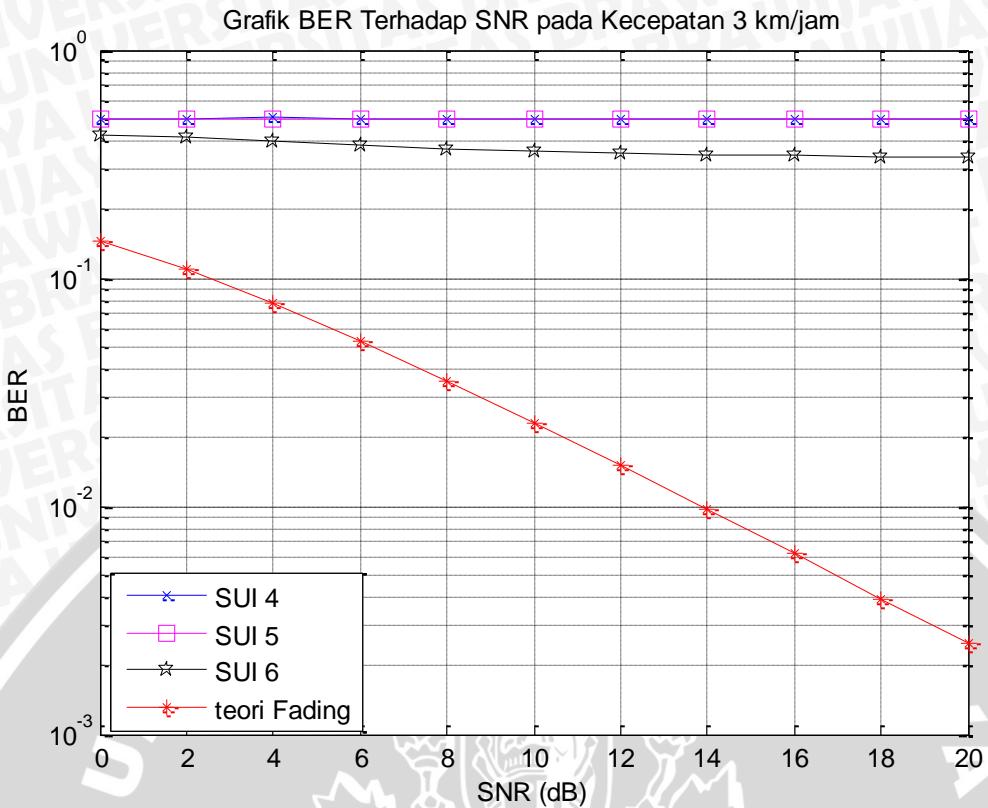
Tabel 4.6 menunjukkan nilai BER terhadap SNR pada kanal *fading* dengan kecepatan pengguna 3 km/jam yang diperoleh dari hasil simulasi pada kanal SUI 4, SUI 5 dan SUI 6.

Tabel 4.6 Nilai BER terhadap SNR Pada Pengguna Kecepatan 3 km/jam

SNR (dB)	BER		
	SUI 4	SUI 5	SUI 6
0	0,500905	0,501463	0,425409
2	0,500955	0,502121	0,412984
4	0,504191	0,499926	0,395511
6	0,499206	0,495796	0,379303
8	0,500037	0,49933	0,3688
10	0,501042	0,496515	0,358929
12	0,501575	0,498586	0,351699
14	0,500558	0,50129	0,347011
16	0,499826	0,500112	0,343824
18	0,500459	0,499082	0,342609
20	0,500694	0,499963	0,341753

(Sumber : Hasil Perhitungan)





Gambar 4.2 Hubungan BER terhadap SNR

Dengan Kecepatan Pengguna 3 km/jam

(Sumber: Hasil Simulasi)

Dari Tabel 4.6 dan Grafik 4.2 menunjukkan perbandingan nilai BER pada kanal pengguna yang bergerak dengan kecepatan 3 km/jam pada kanal SUI. Terlihat bahwa SUI 4 dan SUI 5 memiliki kecenderungan konstan pada nilai BER 0,5 walaupun terjadi penambahan dan perbaikan nilai SNR. Sedangkan pada model kanal SUI 6 terjadi perbaikan nilai BER dengan meningkatnya nilai SNR. Nilai BER terbaik dicapai pada level SNR 20 dB yaitu sebesar 0,342.

4.3.3 Pengguna dengan Pergerakan 60 Km/jam

Pengamatan pada kecepatan pergerakan pengguna 60 km/jam dilakukan untuk melihat performansi sistem saat sistem tersebut digunakan oleh pengguna yang termasuk dalam kategori sedang berkendara (*vehicular*) di daerah dengan kondisi jalan yang tidak bebas hambatan. Nilai pergeseran *Doppler* maksimum untuk nilai kecepatan 60 km/jam dengan frekuensi *carrier* 2,5 GHz adalah 138,89 Hz.

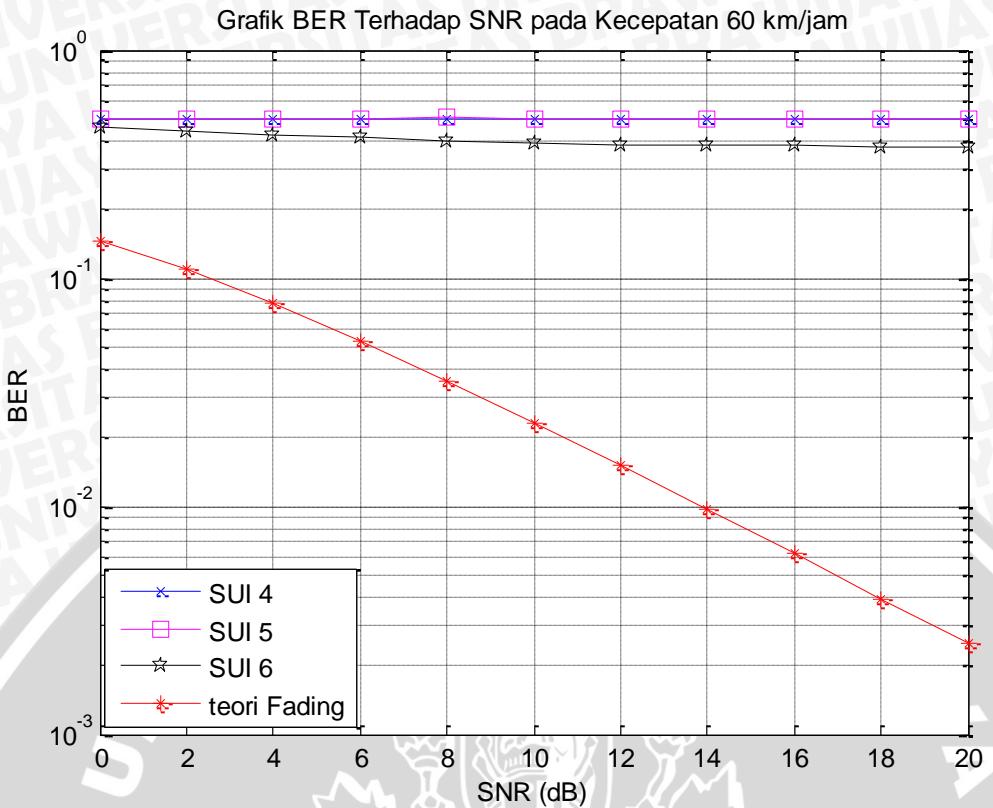
Tabel 4.7 menunjukkan nilai BER terhadap SNR pada kanal *fading* dengan kecepatan pengguna 60 km/jam yang diperoleh dari hasil simulasi pada kanal SUI 4, SUI 5 dan SUI 6.

Tabel 4.7 Nilai BER terhadap SNR Pada Pengguna Kecepatan 60 km/jam

SNR (dB)	BER		
	SUI 4	SUI 5	SUI 6
0	0,500595	0,501587	0,456957
2	0,498896	0,50217	0,438306
4	0,498115	0,500062	0,426401
6	0,497309	0,500694	0,412723
8	0,500186	0,505283	0,400905
10	0,499839	0,500434	0,393824
12	0,499169	0,500236	0,386037
14	0,498227	0,500831	0,384635
16	0,498289	0,501153	0,379675
18	0,49938	0,500632	0,377455
20	0,499219	0,500769	0,374789

(Sumber : Hasil Perhitungan)





Gambar 4.3 Hubungan BER terhadap SNR

Dengan Kecepatan Pengguna 60 km/jam

(Sumber: Hasil Simulasi)

Dari Tabel 4.7 dan Grafik 4.3 menunjukkan perbandingan nilai BER pada kanal pengguna yang bergerak dengan kecepatan 60 km/jam pada kanal SUI. Terlihat bahwa SUI 4 dan SUI 5 tetap pada nilai BER 0,5 walaupun terjadi penambahan dan perbaikan nilai SNR. Sedangkan pada model kanal SUI 6 terjadi perbaikan nilai BER dengan meningkatnya nilai SNR. Nilai BER terbaik dicapai pada level SNR 20 dB yaitu sebesar 0,3748.

4.3.4 Pengguna dengan Pergerakan 120 Km/jam

Pengamatan pada kecepatan pergerakan pengguna 120 km/jam dilakukan untuk melihat performansi sistem saat sistem tersebut digunakan oleh pengguna yang termasuk dalam kategori sedang berkendara (*vehicular*) di daerah dengan kondisi jalan yang bebas hambatan. Nilai pergeseran Doppler maksimum untuk nilai kecepatan 120 km/jam dengan frekuensi *carrier* 2,5 GHz adalah 277,78 Hz.

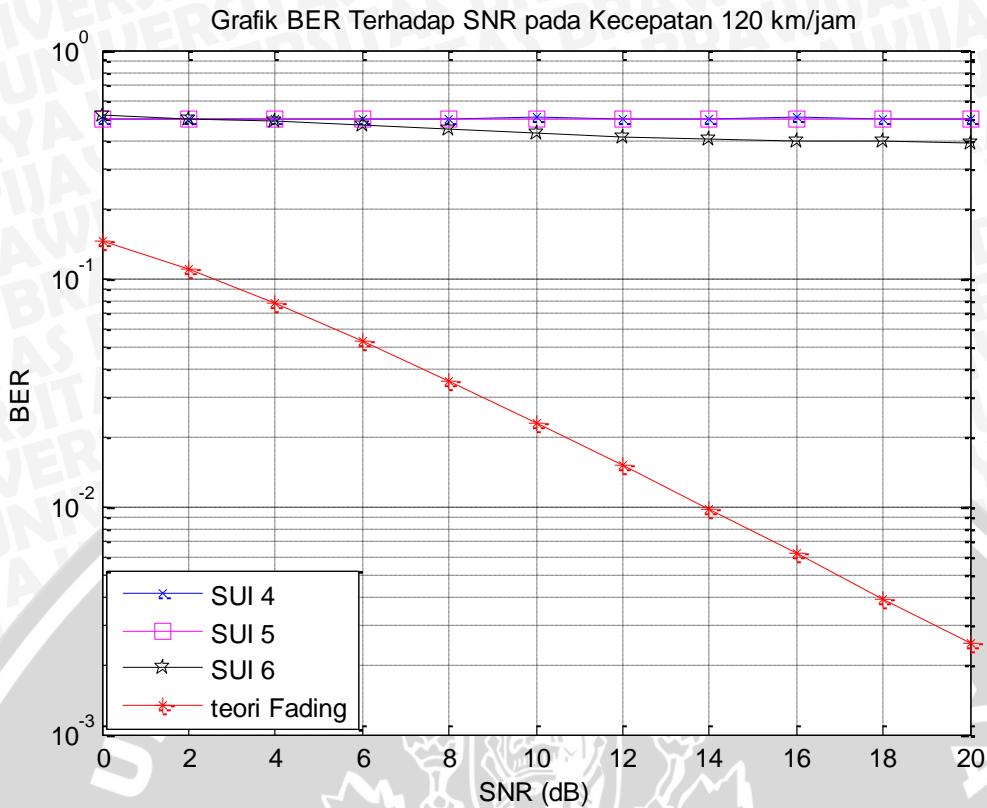
Tabel 4.8 menunjukkan nilai BER terhadap SNR pada kanal *fading* dengan kecepatan pengguna 120 km/jam yang diperoleh dari hasil simulasi pada kanal SUI 4, SUI 5 dan SUI 6.

Tabel 4.8 Nilai BER terhadap SNR Pada Pengguna Kecepatan 120 km/jam

SNR (dB)	BER		
	SUI 4	SUI 5	SUI 6
0	0,50155	0,501042	0,513728
2	0,501587	0,500384	0,497235
4	0,500384	0,500198	0,484164
6	0,499516	0,50088	0,465662
8	0,502765	0,498214	0,449702
10	0,504514	0,501066	0,431473
12	0,500719	0,501711	0,418452
14	0,501302	0,500918	0,408222
16	0,503398	0,500211	0,400918
18	0,502493	0,502158	0,395288
20	0,501761	0,500409	0,392994

(Sumber : Hasil Perhitungan)



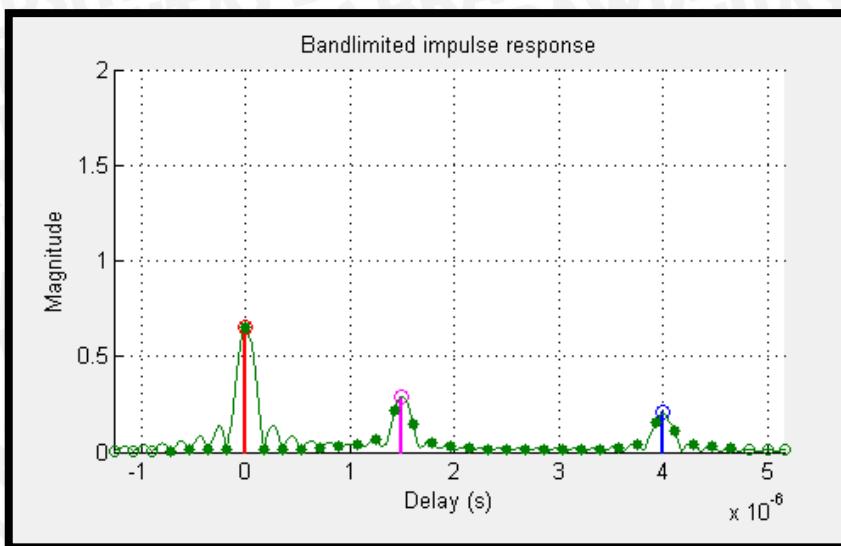


Gambar 4.4 Hubungan BER terhadap SNR

Dengan Kecepatan Pengguna 120 km/jam

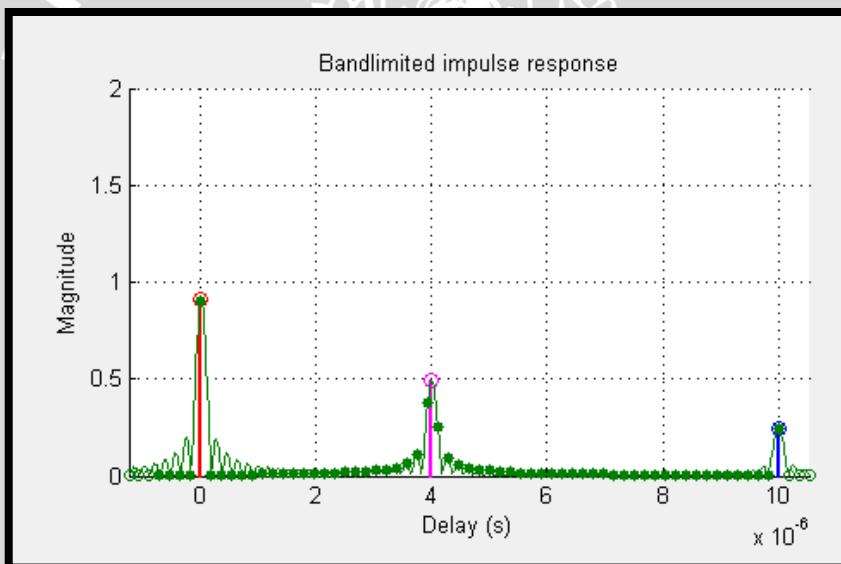
(Sumber: Hasil Simulasi)

Dari Tabel 4.8 dan Grafik 4.4 menunjukkan perbandingan nilai BER dengan kondisi pengguna yang bergerak dengan kecepatan 120 km/jam pada kanal SUI. Terlihat bahwa SUI 4 dan SUI 5 tetap pada nilai BER 0,5 walaupun terjadi penambahan dan perbaikan nilai SNR. Sedangkan pada model kanal SUI 6 terjadi perbaikan nilai BER dengan meningkatnya nilai SNR. Nilai BER terbaik dicapai pada level SNR 20 dB yaitu sebesar 0,393. Berikut adalah visualisasi dari model kanal SUI yang digambarkan melalui respon impuls kanal.



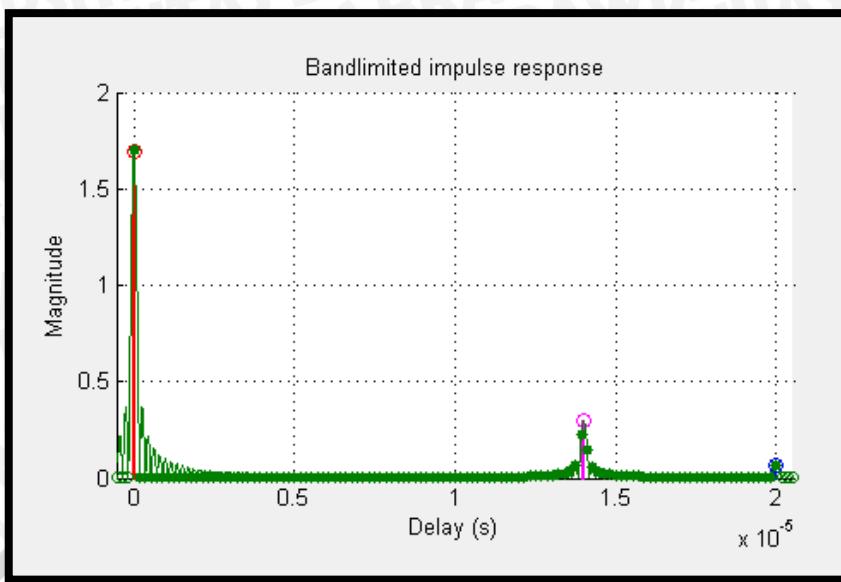
Gambar 4.5 Respon Impuls Model Kanal SUI-4

(Sumber: Hasil Simulasi)



Gambar 4.6 Respon Impuls Model Kanal SUI-5

(Sumber: Hasil Simulasi)



Gambar 4.7 Respon Impuls Model Kanal SUI-6

(Sumber: Hasil Simulasi)

Dari Gambar 4.5 , 4.6 dan 4.7 dapat dilihat bahwa model kanal SUI 4 dan SUI 5 memiliki respon impuls yang tidak linier dibandingkan dengan model kanal SUI 6. Hal tersebut diakibatkan koefisien kanal dengan karakteristik multipath *delay spread* yang lebih besar dianggap lebih linier dan mampu menggambarkan respon impuls kanal secara keseluruhan dibandingkan dengan kanal yang memiliki respon kanal yang memiliki karakteristik multipath *delay spread* yang lebih kecil. Sehingga Model kanal SUI 6 merupakan model kanal yang paling terlihat linier dan mampu mewakili seluruh respon impuls kanal.

4.3.5 Analisis Peformansi Model Kanal SUI 6 Pada Beberapa Kecepatan Pengguna

Pada subbab ini, akan dianalisis pengaruh penggunaan model kanal SUI 6 pada berbagai kecepatan pengguna.

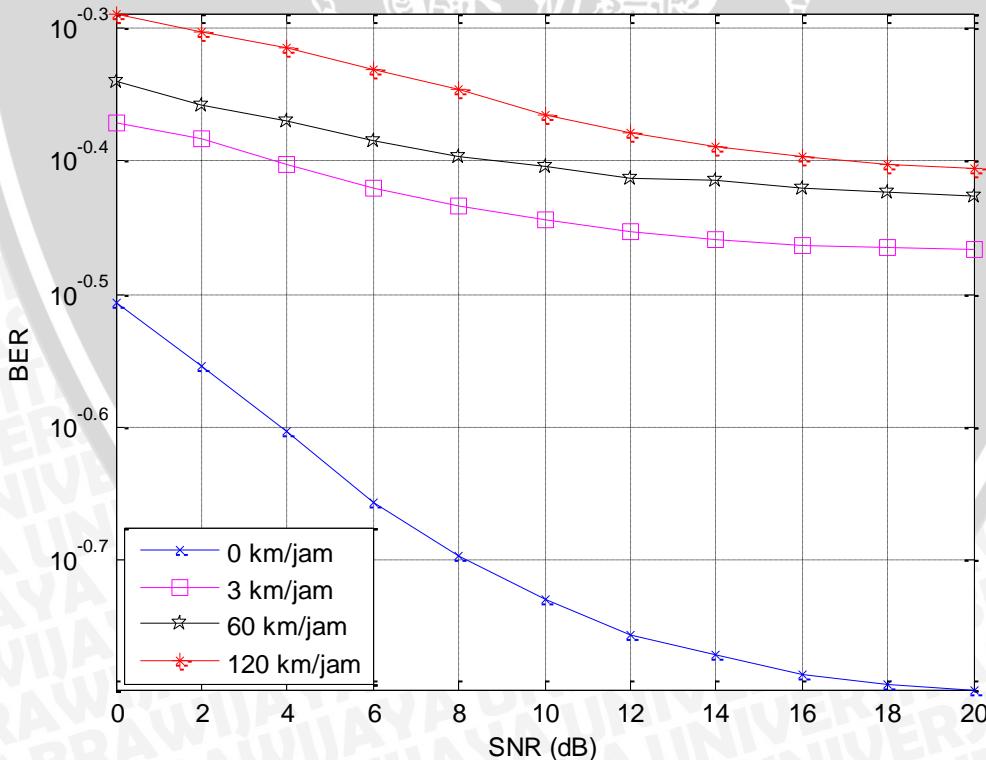
Tabel 4.9 menunjukkan nilai BER terhadap SNR pada model kanal SUI 6 dengan kecepatan pengguna 0 km/jam, 3 km/jam, 60 km/jam dan 120 km/jam yang diperoleh dari hasil simulasi.

Tabel 4.9 Nilai BER terhadap SNR Pada Model Kanal SUI 6

SNR (dB)	BER Pada Model Kanal SUI 6			
	v= 0 km/jam	v= 3 km/jam	v= 60 km/jam	v= 120 km/jam
0	0,311892	0,425409	0,456957	0,513728
2	0,278844	0,412984	0,438306	0,497235
4	0,249789	0,395511	0,426401	0,484164
6	0,220399	0,379303	0,412723	0,465662
8	0,201352	0,3688	0,400905	0,449702
10	0,186545	0,358929	0,393824	0,431473
12	0,175546	0,351699	0,386037	0,418452
14	0,169308	0,347011	0,384635	0,408222
16	0,164162	0,343824	0,379675	0,400918
18	0,161223	0,342609	0,377455	0,395288
20	0,159747	0,341753	0,374789	0,392994

(Sumber: Hasil Simulasi)

Grafik BER Terhadap SNR pada Model Kanal SUI 6



Gambar 4.8 Hubungan BER terhadap SNR

Pada Model Kanal SUI 6

(Sumber: Hasil Simulasi)

Dari Tabel 4.9 dan Grafik 4.8 menunjukkan performansi model kanal SUI 6 jika diterapkan pada pengguna yang memiliki pergerakan dari 0 km/jam hingga 120 km/jam. Terlihat bahwa semakin tinggi kecepatan pengguna maka semakin besar nilai BER yang menunjukkan menurunnya performansi sistem. Hal tersebut dapat dilihat pada level SNR 20 dB nilai BER pada kecepatan 0 km/jam adalah 0,159747, pada kecepatan 3 km/jam nilai BER sebesar 0,341753, pada kecepatan 60 km/jam nilai BER sebesar 0,374789, dan pada kecepatan 120 km/jam nilai BER sebesar 0,392994. Perubahan nilai BER pada SUI 6 tidak terlalu signifikan. Hal tersebut menjelaskan bahwa penurunan kinerja BER terhadap peningkatan kecepatan lebih disebabkan karena distorsi sinyal sebagai efek dari *slow fading* dan *frequency selective fading*.

4.4 Analisis Performansi BER Model Kanal SUI dengan Variasi Jarak Pemancar dan Penerima pada Beberapa Jumlah Sub-carrier

Pada analisis BER terhadap variasi jarak pemancar dan penerima akan digunakan spesifikasi dari skenario model kanal SUI yang telah dijelaskan pada Subbab 4.1.2 dan spesifikasi dari mobile WiMAX yang ditunjukkan pada Tabel 4.10 berikut.

Tabel 4.10 Spesifikasi Mobile WiMAX 802.16e

Parameter	Value	
<i>Operating Frequency</i>	2500 MHz	
<i>Duplex</i>	TDD	
<i>Bandwidth Sistem</i>	5 MHz	10 MHz
Jumlah Sub-Carrier	420	840
<i>Modulation Techniques</i>	QPSK, 16-QAM, 64-QAM	
<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)

Dalam perhitungan nilai BER diperlukan nilai SNR sistem. Dari spesifikasi pada Tabel 4.10 maka dapat ditentukan beberapa parameter penting untuk menganalisis SNR, antara lain:

- Frekuensi kerja yang digunakan pada *mobile WiMAX* (802.16e) yaitu 2,5 GHz.
- Temperatur operasi pada *mobile WiMAX* (802.16e) adalah sebesar 0°C – 40°C, pada analisis ini digunakan temperatur ruangan sebesar 30°C = 300 K.
- Daya *output* pada pemancar *mobile WiMAX* (802.16e) sebesar 43 dBm.
- *Gain Antenna* pemancar adalah 15 dBi.

Pada skripsi ini akan divariasikan jarak (d) pada range 700 m-1500 m. Berikut adalah perhitungan nilai *pathloss* berdasarkan Persamaan (2.26).

$$\begin{aligned} PL &= A + 10\gamma \log_{10}\left(\frac{d}{d_0}\right) + X_f + X_h + s \\ &= 20 \log_{10}\left(\frac{4\pi d_0 f}{c}\right) + 10 \left(a - b \times h_b + \left(\frac{c}{h_b}\right) \right) \log_{10}\left(\frac{d}{d_0}\right) + 6 \log\left(\frac{f}{1900}\right) \\ &\quad + \left(-10,8 \log\left(\frac{h_{CPE}}{2}\right) \right) + s \end{aligned}$$

Untuk jarak BS terhadap MS (d) adalah 700 m maka perhitungan *pathloss* untuk *terrain A* adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} PL &= 20 \log_{10}\left(\frac{4 \times \pi \times 100 \times 2,5 \times 10^9}{3 \times 10^8}\right) + 10 \left(4,6 - 0,0075 \times 30 + \left(\frac{12,6}{30}\right) \right) \\ &\quad \log_{10}\left(\frac{700}{100}\right) + 6 \log\left(\frac{2500}{1900}\right) + \left(-10,8 \log\left(\frac{6}{2}\right) \right) + 10,6 \\ &= 80,4 + 40,52 + 0,715 + (-5,15291) + 10,6 = 127,08 \text{ dB} \end{aligned}$$

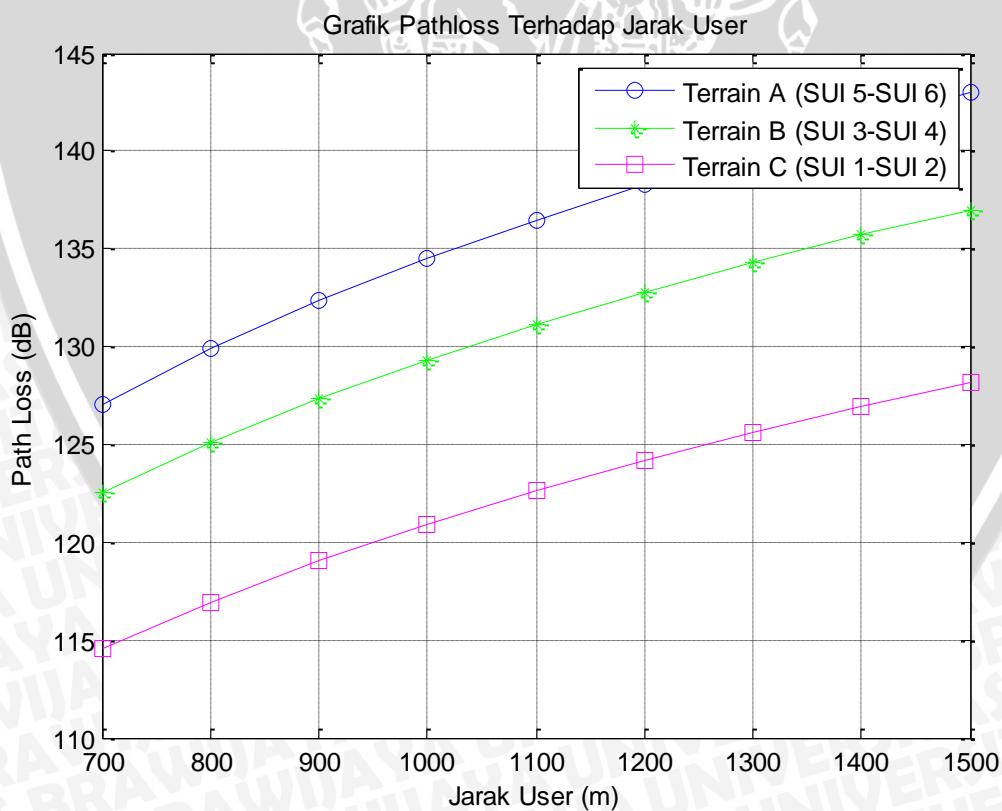
Dengan menggunakan cara yang sama, dapat diperoleh nilai rugi-rugi propagasi ruang bebas untuk jarak sebesar 800 m-1500 m pada masing-masing jenis *terrain*. Hasil analisis perhitungan *pathloss* tersebut ditunjukkan pada Tabel 4.11.



Tabel 4.11 Nilai Pathloss terhadap Jarak User

Jarak Pengguna (m)	PL (dB)		
	Terrain A (SUI 6 dan SUI 5)	Terrain B (SUI 3 dan SUI 4)	Terrain C (SUI 1 dan SUI 2)
700	127,0852	122,5358	114,5631
800	129,8659	125,073	116,9505
900	132,3187	127,3109	119,0562
1000	134,5128	129,3128	120,9399
1100	136,4976	131,1237	122,6439
1200	138,3095	132,777	124,1996
1300	139,9764	134,2978	125,6306
1400	141,5196	135,7059	126,9555
1500	142,9564	137,0168	128,189

(Sumber: Hasil Perhitungan)

**Gambar 4.9** Hubungan Pathloss terhadap jarak user

(Sumber: Hasil Perhitungan)

Dari Tabel 4.11 dan Grafik 4.9 terlihat bahwa semakin besar jarak pengguna terhadap *Base Station* maka semakin besar pula nilai rugi-rugi propagasi ruang bebas. Nilai rugi-rugi propagasi ruang bebas pada *terrain A* mencapai nilai yang lebih besar dibandingkan dengan *terrain B* dan *C*. Pada *Terrain A* nilai rugi-rugi propagasi terkecil adalah 127,085 dB pada jarak pengguna dengan *base station* sejauh 700 m. Pada *Terrain B* nilai rugi-rugi propagasi terkecil adalah 122,54 dB sedangkan pada *Terrain C* nilai rugi-rugi propagasi terkecil adalah 114,56 dB. Sesuai dengan WiMAX Forum, ditetapkan maksimum *pathloss* yang diijinkan adalah 133,37 dB sehingga dapat dilihat pada Tabel 4.11 dan Grafik 4.9 bahwa jarak pengguna terhadap *base station* yang direkomendasikan oleh WiMAX Forum pada *Terrain A* adalah kurang dari 1000 m, pada *terrain B* jarak pengguna terhadap *base station* yang direkomendasikan adalah kurang dari 1300 m, sedangkan pada *terrain C* jarak pengguna terhadap *base station* yang direkomendasikan adalah > 1500 m.

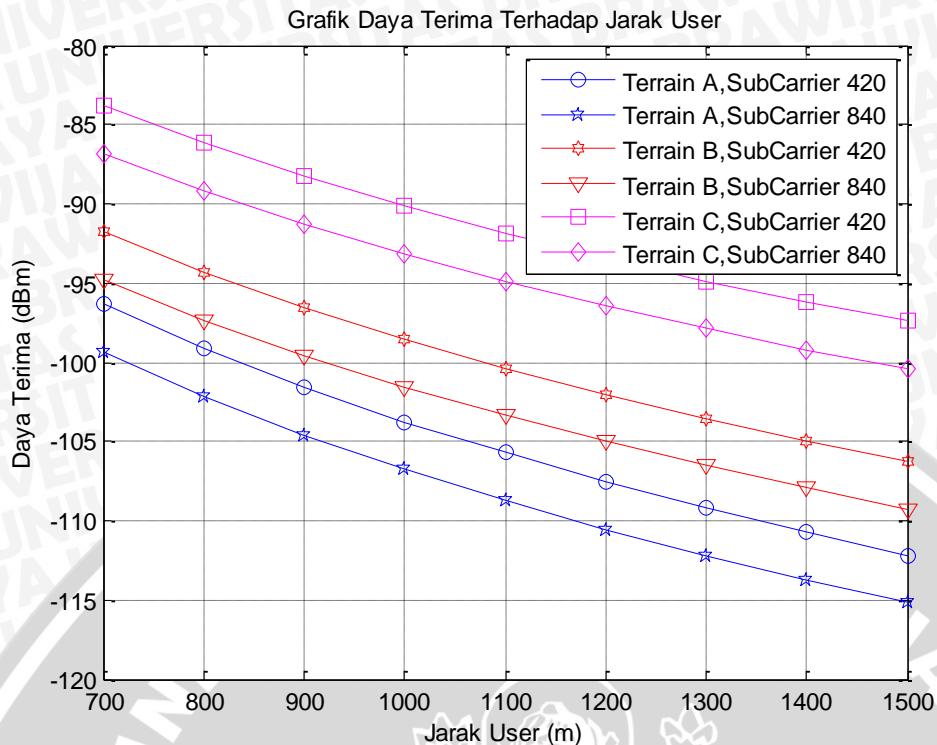
Dengan rugi-rugi propagasi ruang bebas *Terrain A* sebesar 127,085 dB pada jarak pengguna 700 m, diperoleh daya terima untuk jumlah *sub-carrier* 420 sesuai dengan Persamaan (2.33), yaitu :

$$\begin{aligned} P_r &= P_t + G_t + G_r - PL - 10 \log_{10}(N_{sc}) \\ &= 43 + 15 - 1 - 127,085 - 10 \log_{10} 420 = -96,317 \text{ dBm} \end{aligned}$$

Tabel 4.12 Nilai Daya terima terhadap Jarak *user* pada *sub-carrier* 420 dan *sub-carrier* 840

Jarak Pengguna (m)	Pr (dBm)					
	<i>Terrain A</i> (SUI 6 dan SUI 5)		<i>Terrain B</i> (SUI 3 dan SUI 4)		<i>Terrain C</i> (SUI 1 dan SUI 2)	
	N _{sc} =420	N _{sc} =840	N _{sc} =420	N _{sc} =840	N _{sc} =420	N _{sc} =840
700	-96,3177	-99,328	-91,7683	-94,7786	-83,7956	-86,8059
800	-99,0984	-102,109	-94,3055	-97,3158	-86,183	-89,1933
900	-101,551	-104,562	-96,5434	-99,5537	-88,2887	-91,299
1000	-103,745	-106,756	-98,5453	-101,556	-90,1724	-93,1827
1100	-105,73	-108,74	-100,356	-103,367	-91,8764	-94,8867
1200	-107,542	-110,552	-102,009	-105,02	-93,4321	-96,4424
1300	-109,209	-112,219	-103,53	-106,541	-94,8631	-97,8734
1400	-110,752	-113,762	-104,938	-107,949	-96,188	-99,1983
1500	-112,189	-115,199	-106,249	-109,26	-97,4215	-100,432

(Sumber: Hasil Perhitungan)



Gambar 4.10 Hubungan Daya Terima terhadap Jarak User

(Sumber: Hasil Perhitungan)

Dari Tabel 4.12 dan Grafik 4.10 terlihat bahwa daya terima *receiver* pada jarak 700 m dengan jumlah *sub-carrier* 420 didapat nilai daya terima yang paling besar pada *terrain* C yaitu sebesar -83,796 dBm. Sedangkan pada jarak yang sama dengan jumlah *sub-carrier* 840 didapat nilai daya terima yang paling kecil pada *terrain* A yaitu sebesar -99,33 dBm. Jadi, semakin besar jumlah *sub-carrier* maka semakin kecil daya terima pada *receiver* sedangkan semakin besar jarak pengguna terhadap *base station* maka semakin kecil daya terima pada *receiver*.

Noise AWGN untuk jumlah *sub-carrier* 420, dengan *bandwidth* sebesar $B_{sistem} = \Delta f \times N_{sc} = 4,6$ MHz, dengan Δf adalah *sub-carrier spacing* (10,94 kHz) dan N_{sc} adalah jumlah *sub-carrier* sehingga dapat dihitung besarnya daya noise pada kanal AWGN dengan menggunakan persaman 2.44, sebesar :

$$N_0 = 10 \log k \times T + 10 \log B + NF$$

$$N_0 = 10 \log (1,38 \times 10^{-23} \times 300) + 10 \log (4,6 \cdot 10^6) + 7$$

$$N_0 = -130,2 \text{ dBm}$$

Untuk jumlah *sub-carrier* 840, dengan *bandwidth* sistem sebesar $B_{sistem} = 9,2$ MHz besarnya daya noise pada kanal AWGN adalah:



$$N_0 = 10 \log (1,38 \times 10^{-23} \times 300) + 10 \log(9,2 \cdot 10^6) + 7$$

$$N_0 = -127,19 \text{ dBm}$$

Sesuai dengan Tabel 4.12, pada jumlah *sub-carrier* 420 dengan jarak pengguna 700 m didapatkan $P_r = -96,3177$ dBm dan $N_o = -130,2$ dBm, Sehingga diperoleh *signal-to-noise ratio* dengan menggunakan Persamaan (2.32) sebesar :

$$SNR = P_r - N_0 = -96,3177 - (-130,2) = 33,88 \text{ dB}$$

Sedangkan pada jumlah *sub-carrier* 840 dengan jarak pengguna 700 m didapatkan $P_r = -99,33$ dBm dan $N_o = -127,19$ dBm, maka *signal-to-noise ratio* adalah sebesar:

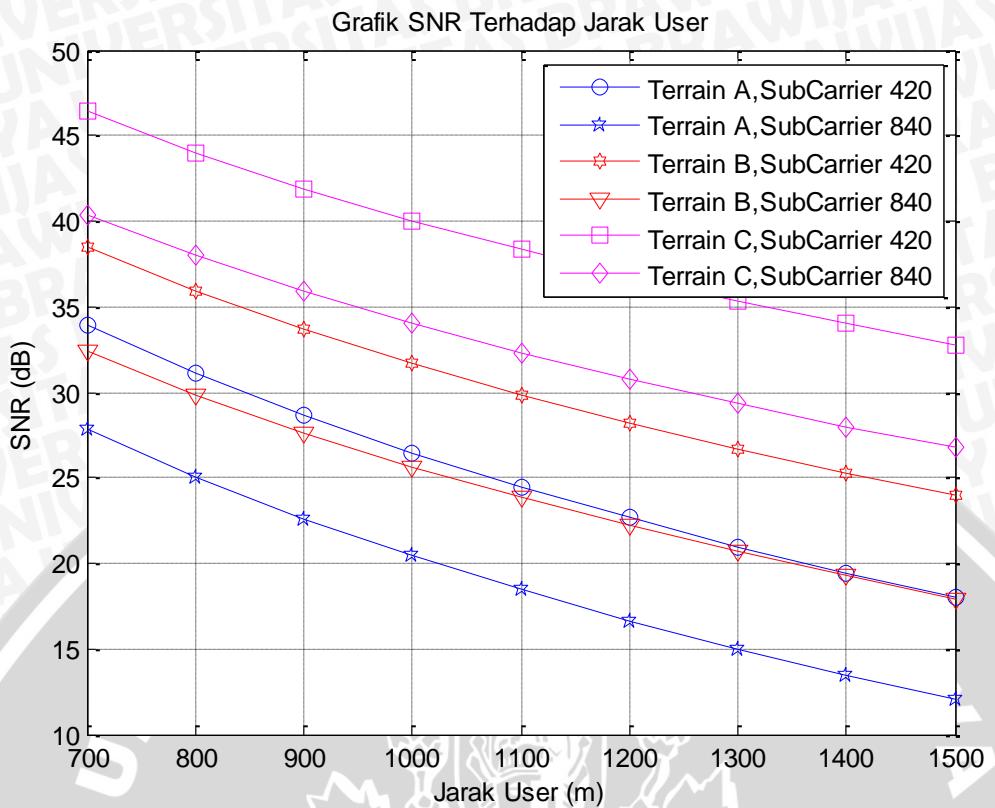
$$SNR = P_r - N_0 = -99,33 - (-127,19) = 27,86 \text{ dB}$$

Tabel 4.13 Nilai SNR terhadap Jarak *User* pada *Sub-carrier* 420 dan *Sub-carrier* 840

Jarak Pengguna (m)	SNR (dB)					
	<i>Terrain A</i> (SUI 6 dan SUI 5)		<i>Terrain B</i> (SUI 3 dan SUI 4)		<i>Terrain C</i> (SUI 1 dan SUI 2)	
	N_{sc}=420	N_{sc}=840	N_{sc}=420	N_{sc}=840	N_{sc}=420	N_{sc}=840
700	33,88227	27,86197	38,43169	32,41139	46,40437	40,38407
800	31,10156	25,08126	35,89454	29,87424	44,01704	37,99674
900	28,6488	22,6285	33,65662	27,63632	41,91126	35,89096
1000	26,45473	20,43443	31,65473	25,63443	40,02757	34,00727
1100	24,46995	18,44965	29,8438	23,8235	38,32358	32,30328
1200	22,65799	16,63769	28,19055	22,17025	36,76795	30,74765
1300	20,99114	14,97084	26,6697	20,6494	35,33691	29,31661
1400	19,44789	13,42759	25,26162	19,24132	34,01197	27,99167
1500	18,01115	11,99085	23,95073	17,93043	32,77848	26,75818

(Sumber: Hasil Perhitungan)





Gambar 4.11 Hubungan SNR terhadap Jarak User

(Sumber: Hasil Perhitungan)

Untuk nilai $\text{SNR} = 33,88227 \text{ dB} = 10 \log (x)$ sehingga $x = 10^{3,388227} = 2,4 \times 10^3$ diperoleh $\text{SNR}_{\text{sistem}}$ dengan Persamaan (2.35) berikut :

$$\text{SNR}_{\text{sistem}} = (1 - \alpha_{CP}) \text{SNR}$$

$$\text{SNR}_{\text{sistem}} = (1 - 0,125) 2,4 \times 10^3$$

$$\text{SNR}_{\text{sistem}} = 2139,12 \text{ W}$$

$$\text{SNR}_{\text{sistem}} = 33,3 \text{ dB}$$

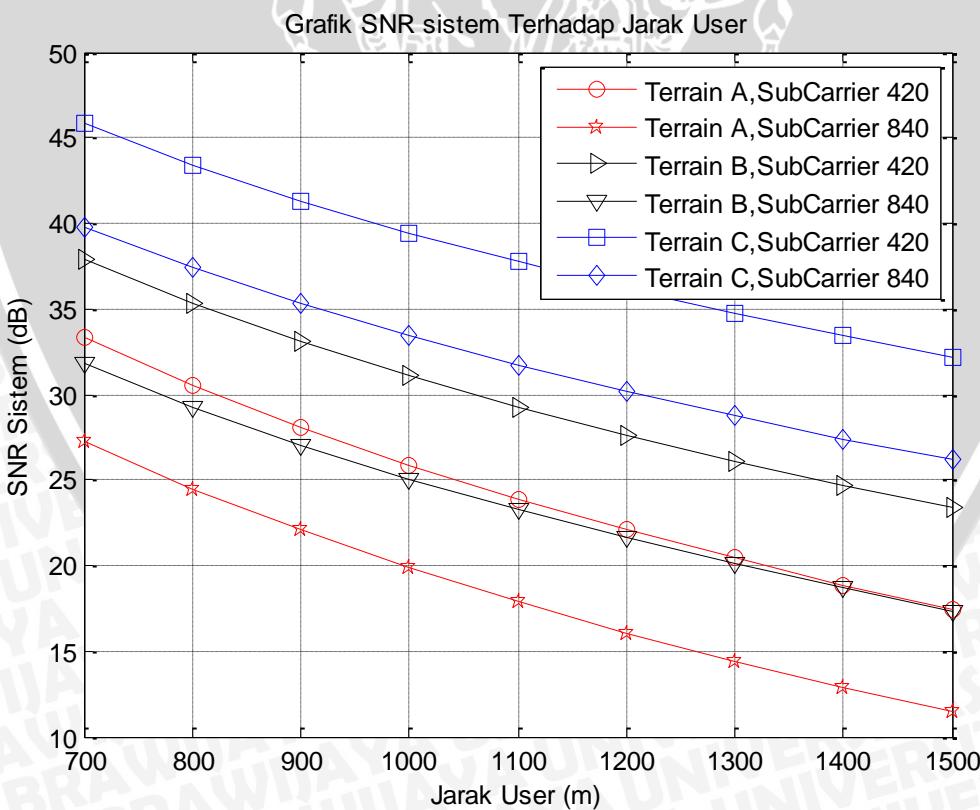
Dengan menggunakan cara yang sama, dapat diperoleh nilai $\text{SNR}_{\text{sistem}}$ untuk jarak Pengguna dari 800 sampai 1500 m serta dengan jumlah *sub-carrier* 420 dan 840 pada terrain A, B dan C. Hasil analisis tersebut ditunjukkan pada Tabel 4.14.



Tabel 4.14 Nilai SNR Sistem terhadap Jarak User pada Sub-carrier 420 dan Sub-carrier 840

Jarak Pengguna (m)	SNR _{sistem} (dB)					
	Terrain A (SUI 6 dan SUI 5)		Terrain B (SUI 3 dan SUI 4)		Terrain C (SUI 1 dan SUI 2)	
	N _{sc} =420	N _{sc} =840	N _{sc} =420	N _{sc} =840	N _{sc} =420	N _{sc} =840
700	33,3	27,28	37,85	31,83	45,82	39,80
800	30,52	24,5	35,32	29,29	43,44	37,42
900	28,07	22,05	33,08	27,06	41,33	35,31
1000	25,87	19,85	31,08	25,05	39,45	33,43
1100	23,89	17,87	29,26	23,24	37,74	31,72
1200	22,08	16,06	27,61	21,59	36,19	30,17
1300	20,41	14,39	26,09	20,07	34,76	28,74
1400	18,87	12,85	24,68	18,66	33,43	27,41
1500	17,43	11,41	23,37	17,35	32,2	26,18

(Sumber: Hasil Perhitungan)

**Gambar 4.12** Hubungan SNR Sistem terhadap Jarak User

(Sumber: Hasil Perhitungan)

Dari Tabel 4.14 dan Grafik 4.12 terlihat bahwa semakin besar jarak pengguna terhadap *base station* maka semakin kecil nilai SNR sistem. Hal tersebut dapat dilihat dari nilai terkecil dari SNR sistem diperoleh ketika pengguna berada pada jarak 1500 m dari *base station*. Pada jarak 700 m dengan jumlah *sub-carrier* 420 dan pada *terrain A* didapat nilai SNR sistem sebesar 33,3 dB sedangkan pada jarak dan terrain yang sama dengan jumlah *sub-carrier* 840 didapat SNR sistem 27,28 dB. SNR sistem terbaik diperoleh pada *terrain C* dengan jumlah sub carrier 420 dan pada jarak pengguna 700 m yaitu sebesar 45,82 dB.

Banyaknya jumlah *sub-carrier* yang digunakan pada masing-masing kanal *bandwidth* juga akan mempengaruhi besarnya nilai SNR sistem, karena semakin banyak *sub-carrier* yang digunakan akan mengakibatkan daya terima pada *receiver* berkurang, sehingga nilai SNR sistem menurun. Sebaliknya, semakin kecil *sub-carrier* yang digunakan maka semakin kecil rugi-rugi propagasi ruang bebas mengakibatkan daya terima pada penerima semakin tinggi sehingga menaikkan nilai SNR.

4.4.1 Analisis Performansi BER Model Kanal SUI dengan Variasi Jarak Pemancar (BS) dan Penerima (MS) pada Jumlah Sub-carrier 420

Bit Error Rate (BER) diharapkan memiliki nilai yang sekecil mungkin agar diperoleh kualitas sinyal yang baik. Perhitungan nilai BER sistem dipengaruhi oleh nilai E_b/N_0 . E_b/N_0 adalah suatu parameter yang berhubungan dengan SNR yang biasanya digunakan untuk menentukan laju data digital dan mutu standar kinerja sistem digital. Perhitungan laju data dijelaskan pada Persamaan (2.38) berikut:

- Pada *sub-carrier* 420

$$R_{tot} = \frac{N \times \log_2 M}{T_{sub}}$$

$$R = \frac{420 \times \log_2 4}{102,9 \times 10^{-6} \text{ s}} \\ = 8,16 \text{ Mbps}$$

Jika pada *terrain A* dengan *sub-carrier* 420, jarak pengguna 700 m dan *Bandwidth* sebesar 4,6 MHz didapat $\text{SNR}_{\text{sistem}} = 33,3 \text{ dB}$. Berdasarkan Persamaan (2.39) maka nilai E_b/N_0 adalah sebagai berikut:

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

$$= 33,3 + 10 \log (4,6 \text{ MHz} / 8,16 \text{ Mbps}) = 30,81 \text{ dB}$$

Dengan menggunakan cara yang sama, dapat diperoleh nilai E_b/N_0 pada masing-masing *terrain* untuk jarak pengguna dari 800 sampai 1500 m dengan jumlah *sub-carrier* 420. Hasil analisis E_b/N_0 terhadap jarak pengguna ditunjukkan pada Tabel 4.15.

Tabel 4.15 Nilai E_b/N_0 terhadap Jarak *User* pada *Sub-carrier* 420

Jarak Pengguna (m)	E_b/N_0 (dB)		
	<i>Terrain A</i> (SUI 6 dan SUI 5)	<i>Terrain B</i> (SUI 4 dan SUI 3)	<i>Terrain C</i> (SUI 2 dan SUI 1)
700	30,81	35,36	43,33
800	28,03	32,83	40,95
900	25,58	30,59	38,84
1000	23,38	28,59	36,96
1100	21,40	26,77	35,25
1200	19,59	25,12	33,70
1300	17,92	23,60	32,27
1400	16,38	22,19	30,94
1500	14,94	20,88	29,71

(Sumber: Hasil Perhitungan)

Berdasarkan perhitungan E_b/N_0 yang ditunjukkan pada Tabel 4.15, maka dapat diperoleh nilai BER kanal AWGN pada *Terrain A* dengan jarak 700 m sesuai dengan Persamaan (2.41) sebagai berikut:

$$BER = \frac{1}{2} erfc \sqrt{E_b/N_0}$$

$$BER = \left[\frac{e^{-(30,81)} / \sqrt{2\pi}}{(1 - 0,339)\sqrt{2 \times 30,81} + 0,339\sqrt{2 \times 30,81 + 5,51}} \right]$$

$$BER = 2,0814 \times 10^{-15}$$



Sedangkan nilai BER kanal *Rayleigh* pada *Terrain A* dengan jarak 700 m dengan modulasi QPSK sesuai dengan Persamaan (2.42) sebagai berikut:

$$\begin{aligned} BER_{Fading} &= \frac{1}{2} \left[1 - \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{1}{E_b / N_0}}} \right] \\ &= 0,5 \left(1 - \frac{1}{1,016} \right) = 7,9 \times 10^{-3} \end{aligned}$$

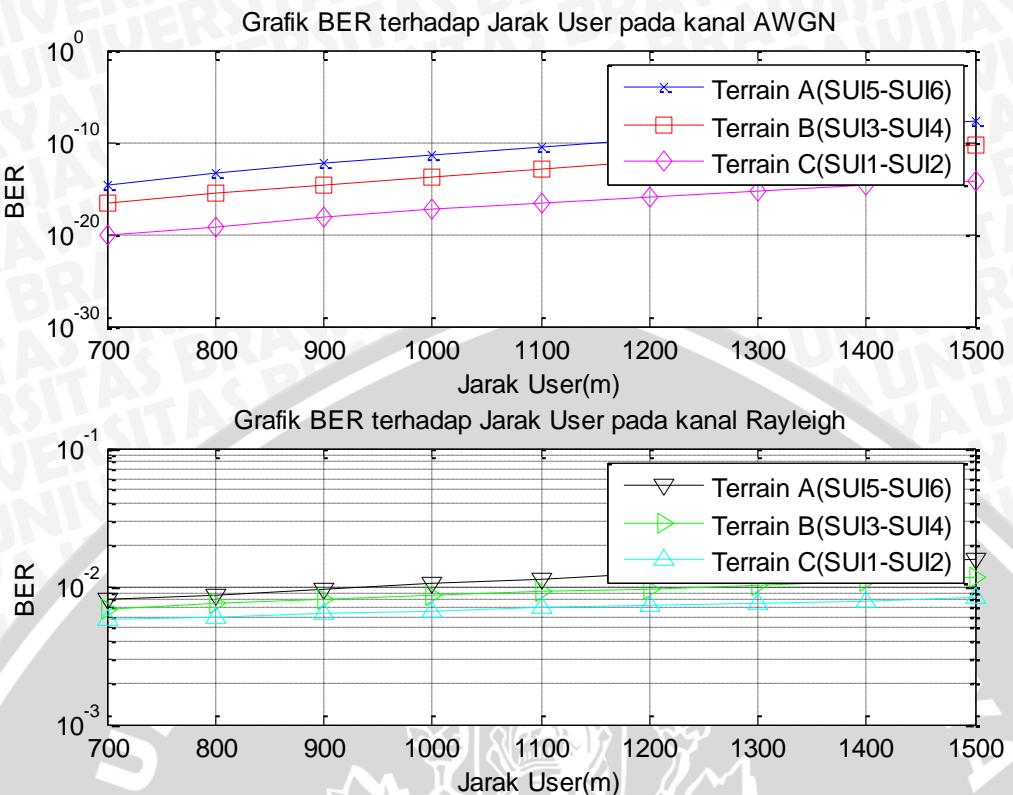
Dengan menggunakan cara yang sama, dapat diperoleh nilai BER untuk jarak pengguna dari 800 sampai 1500 m serta dengan jumlah *sub-carrier* 420. Hasil analisis tersebut ditunjukkan pada Tabel 4.16.

Tabel 4.16 Nilai BER terhadap jarak pengguna pada *sub-carrier* 420

Jarak Pengguna (m)	BER					
	<i>Terrain A</i> (SUI 6 dan SUI 5)		<i>Terrain B</i> (SUI 3 dan SUI 4)		<i>Terrain C</i> (SUI 1 dan SUI 2)	
	Kanal AWGN	Kanal <i>Fading</i>	Kanal AWGN	Kanal <i>Fading</i>	Kanal AWGN	Kanal <i>Fading</i>
700	$2,076 \cdot 10^{-15}$	$7,92 \cdot 10^{-3}$	$2,05 \cdot 10^{-17}$	$6,9 \cdot 10^{-3}$	$6,41 \cdot 10^{-21}$	$5,67 \cdot 10^{-3}$
800	$3,506 \cdot 10^{-14}$	$8,69 \cdot 10^{-3}$	$2,69 \cdot 10^{-16}$	$7,4 \cdot 10^{-3}$	$7,17 \cdot 10^{-20}$	$5,99 \cdot 10^{-3}$
900	$4,26 \cdot 10^{-13}$	$9,5 \cdot 10^{-3}$	$2,61 \cdot 10^{-15}$	$7,98 \cdot 10^{-3}$	$6,05 \cdot 10^{-19}$	$6,315 \cdot 10^{-3}$
1000	$3,989 \cdot 10^{-12}$	$1,04 \cdot 10^{-2}$	$1,998 \cdot 10^{-14}$	$8,5 \cdot 10^{-3}$	$4,07 \cdot 10^{-18}$	$6,63 \cdot 10^{-3}$
1100	$3,03 \cdot 10^{-11}$	$1,13 \cdot 10^{-2}$	$1,261 \cdot 10^{-13}$	$9 \cdot 10^{-3}$	$2,3 \cdot 10^{-17}$	$6,94 \cdot 10^{-3}$
1200	$1,93 \cdot 10^{-10}$	$1,23 \cdot 10^{-2}$	$6,793 \cdot 10^{-13}$	$9,7 \cdot 10^{-3}$	$1,19 \cdot 10^{-16}$	$7,26 \cdot 10^{-3}$
1300	$1,07 \cdot 10^{-9}$	$1,34 \cdot 10^{-2}$	$3,204 \cdot 10^{-12}$	$1,03 \cdot 10^{-2}$	$4,74 \cdot 10^{-16}$	$7,57 \cdot 10^{-3}$
1400	$5,22 \cdot 10^{-9}$	$1,46 \cdot 10^{-2}$	$1,349 \cdot 10^{-11}$	$1,09 \cdot 10^{-2}$	$1,82 \cdot 10^{-15}$	$7,89 \cdot 10^{-3}$
1500	$2,29 \cdot 10^{-8}$	$1,59 \cdot 10^{-2}$	$5,152 \cdot 10^{-11}$	$1,16 \cdot 10^{-2}$	$6,37 \cdot 10^{-15}$	$8,21 \cdot 10^{-3}$

(Sumber: Hasil Perhitungan)





Gambar 4.13 Hubungan BER terhadap Jarak User Pada Sub-carrier 420

(Sumber: Hasil Perhitungan)

Pada Tabel 4.16 dan Gambar 4.13 dapat dilihat bahwa, peningkatan jarak pengguna dapat meningkatkan nilai BER sehingga mengakibatkan semakin menurunnya performansi sistem. Sedangkan pada *terrain C* diperoleh nilai BER yang kecil daripada *terrain A* dan *B*. Dengan nilai BER yang kecil maka akan diperoleh kualitas sinyal yang lebih baik. Oleh karena itu, nilai BER berbanding terbalik dengan nilai $\text{SNR}_{\text{sistem}}$. Pada nilai hasil perhitungan BER melalui kanal AWGN sangat kecil dibandingkan dengan perhitungan BER melalui kanal Rayleigh. Hal tersebut dapat dilihat pada *terrain A* dan jarak 700 m didapat nilai BER $2,076 \cdot 10^{-15}$ jika dilewatkan melalui kanal AWGN, sedangkan pada *terrain* dan jarak yang sama didapat nilai BER $7,92 \cdot 10^{-3}$ jika dilewatkan melalui kanal Rayleigh *Fading*.

4.4.2 Analisis Performansi BER Model Kanal SUI dengan Variasi Jarak Pemancar (BS) dan Penerima (MS) pada Jumlah Sub-carrier 840

Pada subbab ini, akan dianalisis pengaruh penggunaan *sub-carrier* 840 pada beberapa variasi jarak *user* pada model kanal SUI dengan distribusi Rayleigh Fading dan AWGN. Perhitungan laju data untuk *sub-carrier* 840 dijelaskan berdasar pada Persamaan (2.38) berikut:

- Pada *sub-carrier* 840

$$R = \frac{840 \times \log_2 4}{102,9 \times 10^{-6} s}$$

$$= 16,33 \text{ Mbps}$$

Jika pada *terrain A* dengan *sub-carrier* 840, jarak Pengguna 700 m dan *Bandwidth* sebesar 9,2 MHz didapat $\text{SNR}_{\text{sistem}} = 27,28 \text{ dB}$ maka nilai E_b/N_0 adalah sebagai berikut:

$$\frac{E_b}{N_0} = \text{SNR}_{\text{sistem}} + 10 \log \frac{B}{R}$$

$$= 27,28 + 10 \log (9,2 \text{ MHz} / 16,33 \text{ Mbps}) = 24,79 \text{ dB}$$

Dengan menggunakan cara yang sama, dapat diperoleh nilai E_b/N_0 pada *terrain A,B* dan *C* untuk jarak pengguna dari 800 sampai 1500 m serta dengan jumlah *sub-carrier* 840. Hasil analisis E_b/N_0 terhadap jarak pengguna pada *sub-carrier* 840 ditunjukkan pada Tabel 4.17.

Tabel 4.17 Nilai E_b/N_0 terhadap Jarak *User* pada *Sub-carrier* 840

Jarak Pengguna (m)	E_b/N_0 (dB)		
	<i>Terrain A</i> (SUI 6 dan SUI 5)	<i>Terrain B</i> (SUI 4 dan SUI 3)	<i>Terrain C</i> (SUI 2 dan SUI 1)
700	24,788	29,338	37,308
800	22,008	26,798	34,928
900	19,558	24,568	32,818
1000	17,358	22,558	30,938
1100	15,378	20,748	29,228
1200	13,568	19,098	27,678
1300	11,898	17,578	26,248
1400	10,358	16,168	24,918
1500	8,918	14,858	23,688

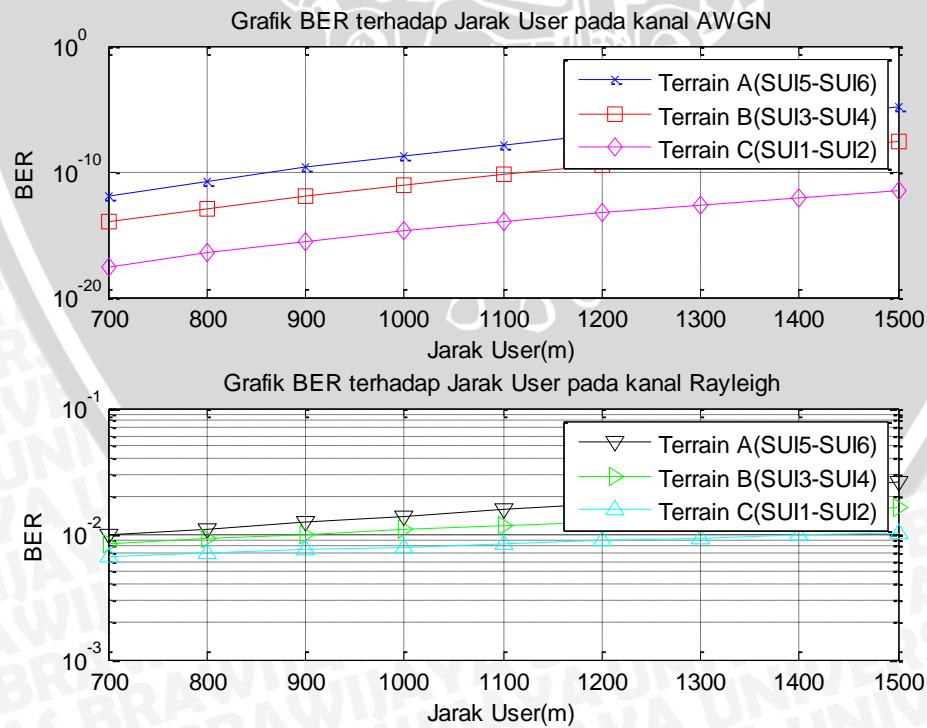
(Sumber: Hasil Perhitungan)

Tabel 4.18 menunjukkan nilai BER terhadap jarak *user* pada masing-masing model kanal yang diperoleh dari hasil perhitungan.

Tabel 4.18 Nilai BER terhadap jarak *user* pada *sub-carrier* 840

Jarak Pengguna (m)	BER					
	<i>Terrain A</i> (SUI 6 dan SUI 5)		<i>Terrain B</i> (SUI 3 dan SUI 4)		<i>Terrain C</i> (SUI 1 dan SUI 2)	
	Kanal AWGN	Kanal <i>Fading</i>	Kanal AWGN	Kanal <i>Fading</i>	Kanal AWGN	Kanal <i>Fading</i>
700	$9,52 \cdot 10^{-13}$	$9,8 \cdot 10^{-3}$	$9,28 \cdot 10^{-15}$	$8,31 \cdot 10^{-3}$	$2,85 \cdot 10^{-18}$	$6,57 \cdot 10^{-3}$
800	$1,63 \cdot 10^{-11}$	$1,1 \cdot 10^{-2}$	$1,23 \cdot 10^{-13}$	$9,1 \cdot 10^{-3}$	$3,2 \cdot 10^{-17}$	$7,01 \cdot 10^{-3}$
900	$1,99 \cdot 10^{-10}$	$1,2 \cdot 10^{-2}$	$1,19 \cdot 10^{-12}$	$9,88 \cdot 10^{-3}$	$2,71 \cdot 10^{-16}$	$7,45 \cdot 10^{-3}$
1000	$1,9 \cdot 10^{-9}$	$1,4 \cdot 10^{-2}$	$9,24 \cdot 10^{-12}$	$1,07 \cdot 10^{-2}$	$1,83 \cdot 10^{-15}$	$7,89 \cdot 10^{-3}$
1100	$1,46 \cdot 10^{-8}$	$1,56 \cdot 10^{-2}$	$5,88 \cdot 10^{-11}$	$1,16 \cdot 10^{-2}$	$1,04 \cdot 10^{-14}$	$8,3 \cdot 10^{-3}$
1200	$9,5 \cdot 10^{-8}$	$1,75 \cdot 10^{-2}$	$3,2 \cdot 10^{-10}$	$1,26 \cdot 10^{-2}$	$5,04 \cdot 10^{-14}$	$8,8 \cdot 10^{-3}$
1300	$5,35 \cdot 10^{-7}$	$1,98 \cdot 10^{-2}$	$1,52 \cdot 10^{-9}$	$1,36 \cdot 10^{-2}$	$2,16 \cdot 10^{-13}$	$9,3 \cdot 10^{-3}$
1400	$2,67 \cdot 10^{-6}$	$2,25 \cdot 10^{-2}$	$6,48 \cdot 10^{-9}$	$1,48 \cdot 10^{-2}$	$8,34 \cdot 10^{-13}$	$9,74 \cdot 10^{-3}$
1500	$1,20 \cdot 10^{-5}$	$2,59 \cdot 10^{-2}$	$2,501 \cdot 10^{-8}$	$1,6 \cdot 10^{-2}$	$2,93 \cdot 10^{-12}$	$1,02 \cdot 10^{-2}$

(Sumber: Hasil Perhitungan)



Gambar 4.14 Hubungan BER terhadap Jarak User Pada Sub-carrier 840

(Sumber: Hasil Perhitungan)



Pada Tabel 4.18 dan Gambar 4.14 dapat dilihat bahwa pada *terrain* C diperoleh nilai BER yang kecil daripada *terrain* A dan B. Hal tersebut dapat dilihat pada jarak 700 m maka didapat nilai BER pada kanal AWGN pada *terrain* A, B dan C adalah $9,52 \cdot 10^{-13}$, $9,28 \cdot 10^{-15}$ dan $2,85 \cdot 10^{-18}$. Pada nilai hasil perhitungan BER melalui kanal AWGN terlihat bahwa nilai BER sangat kecil dibandingkan dengan perhitungan BER melalui kanal Rayleigh. Hal tersebut dapat dilihat pada *terrain* A dan jarak 700 m didapat nilai BER $9,52 \cdot 10^{-13}$ jika dilewatkan melalui kanal AWGN, sedangkan pada jarak dan *terrain* yang sama didapat nilai BER $9,8 \cdot 10^{-3}$ jika dilewatkan melalui kanal Rayleigh *Fading*.

Jika ditinjau dari jumlah *sub-carrier* terlihat pada Tabel 4.16 dan Tabel 4.18, nilai BER pada *sub-carrier* 840 lebih besar daripada nilai BER pada *sub-carrier* 420. Hal tersebut dapat dilihat pada *terrain* A dan jarak pengguna 700 m, nilai BER pada kanal AWGN dengan *sub-carrier* 420 sebesar $2,076 \cdot 10^{-15}$ sedangkan nilai BER pada kanal AWGN dengan *sub-carrier* 840 sebesar $9,52 \cdot 10^{-13}$. Hal tersebut membuktikan bahwa semakin besar jumlah *sub-carrier* maka semakin buruk performansi sistem yang ditunjukkan dengan semakin meningkatnya nilai BER.

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis dan pembahasan dapat disimpulkan bahwa:

1. Berdasarkan hasil analisis pergerakan pengguna dari 0 km/jam, 60 km/jam dan 120 km/jam dapat disimpulkan bahwa Semakin bertambahnya kecepatan pengguna maka kinerja BER terhadap SNR semakin menurun yang ditunjukkan dengan semakin meningkatnya nilai BER. Dengan kecepatan pengguna 0 km/jam diperoleh nilai *Bit Error Rate mobile WiMAX* terbaik pada model kanal SUI 6 sebesar 0,16.
2. Berdasarkan hasil analisis *Bit Error Rate mobile WiMAX* dengan penerapan model kanal SUI pada kanal AWGN dan Rayleigh Fading dapat disimpulkan :
 - a. Peningkatan jarak pengguna dapat meningkatkan nilai BER sehingga mengakibatkan semakin menurunnya performansi sistem. Pada *terrain C* diperoleh nilai BER yang kecil daripada *terrain A* dan *B*. Oleh karena itu, nilai BER berbanding terbalik dengan nilai $\text{SNR}_{\text{sistem}}$, semakin besar nilai SNR sistem maka semakin kecil nilai BER.
 - b. Pada nilai hasil perhitungan BER melalui kanal AWGN, nilai BER sangat kecil dibandingkan dengan perhitungan BER melalui kanal Rayleigh. Hal tersebut dapat dilihat pada *terrain A*, jarak 700 m dan jumlah sub carrier 420 didapat nilai BER $2,076 \cdot 10^{-15}$ jika dilewatkan melalui kanal AWGN, sedangkan pada jarak, *terrain* dan jumlah *sub-carrier* yang sama didapat nilai BER $7,92 \cdot 10^{-3}$ jika dilewatkan melalui kanal *Rayleigh Fading*.
 - c. Jika ditinjau dari jumlah *sub-carrier*, nilai BER pada *sub-carrier* 840 lebih besar daripada nilai BER pada *sub-carrier* 420. Hal tersebut dapat dilihat pada *terrain A* dan jarak pengguna 700 m, nilai BER pada kanal AWGN dengan *sub-carrier* 420 sebesar $2,076 \cdot 10^{-15}$ sedangkan nilai BER pada kanal AWGN dengan *sub-carrier* 840 sebesar $9,52 \cdot 10^{-13}$. Hal tersebut membuktikan bahwa semakin besar jumlah *sub-carrier* maka semakin buruk performansi sistem yang ditunjukkan dengan semakin meningkatnya nilai BER.



5.2 Saran

Saran yang dapat diberikan adalah :

1. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut untuk pemodelan kanal pada WiMAX dengan model kanal propagasi empirik lainnya seperti ECC-33 dan COST Hatta
2. Penurunan kinerja BER terhadap kecepatan perlu diatasi dengan penggunaan teknik diversitas dan ekualisasi.



DAFTAR PUSTAKA

- _____. *A DFT and FFT Tutorial*. http://www.alwayslearn.com/DFT%20and%20FFT%20Tutorial/DFTandFFT_BasicIdea.html (diakses tanggal 17 September 2011).
- Barry, John R.,David Messerchmitt,Edward A.Lee. 2003. *Digital Communication*. Netherlands :Kluwer Academic Publisher.
- Chen, Kwang-Cheng, J. Roberto B. De Marca. 2008. *Mobile WiMAX*. London : John Wiley & Sons, Inc.
- Hara, Shisuke, Ramjee Prasaad. 2003. *Multicarier Technique for 4G mobile communications*. London : Artech House.
- Hwei P., Hsu. 1995. *Schaum's Outline of Theory and Problems of Signal and System*. New York: McGraw-Hill.
- Kumar, Amitabh. 2008. *Mobile Broadcasting with WiMAX :Principles, Technology, and Applications*. Oxford : Elsevier Inc.
- Lawrey, E.P. 2001. *Adaptive techniques for multiuser OFDM*. Thesis.
- Nugroho arief,muh.2009.Simulasi Kinerja Kanal AWGN dan Kanal Fading pada Komunikasi Jaringan Wireless.Skripsi
- Prasad, Ramjee. 2004. *OFDM for wireless communications systems*. London : Artech House.
- Srikanth, Kumaran V., Manikandan C., Murugesapandian. 2007. *Orthogonal Frequency Division Multiple Access*. Anna University Press, Chennai, India.
- Tanudjaja, Harlianto. 2007. *Pengolahan Sinyal Digital & Sistem Pemrosesan Sinyal*. Yogyakarta : Andi.
- Wibisono, Gunawan dan Gunadi Dwi Hantoro. 2009. *Peluang dan Tantangan Bisnis WiMAX di Indonesia*. Bandung : Informatika.
- WiMAX Forum. 2006. *Mobile WiMAX - Part I : A Technical Overview and Performance Analysis*.



LAMPIRAN-LAMPIRAN



Lampiran 1. Listing Program Matlab Untuk Simulasi Variasi Kecepatan Pengguna

- Pada Kecepatan 0 km/jam**

```

clear;
clc;
M=4; % Modulation Order QPSK
sr=5.6e6; % symbol rate
% Parameter SUI 6
tau=[0 14e-6 20e-6];
pdb=[0 -10 -14];
Fd=[0.4 0.3 0.5];
maksfd=max(Fd(2:3));
SNR=0:2:20; % range nilai SNR
numSNR=length(SNR); % panjang SNR
msg = randint(40320,1,M); % pembangkitan sinyal random
modmsg = modem.pskmod('M', M); % membangkitkan modulator QPSK
demodmsg = modem.pskdemod(modmsg); %membangkitkan demodulator
QPSK
pskSig = modulate(modmsg,msg); % memodulasi sinyal
chan=rayleighchan(1/sr,maksfd,tau,pdb); %membangkitkan kanal
Rayleigh fading
chan.DopplerSpectrum=doppler.rounded; %definisi objek
Doppler spektrum
x=filter(chan,pskSig); %mengaplikasikan efek kanal fading
for n=1:numSNR
    rxsig=awgn(x,SNR(n)); %menambah efek Gaussian noise
    rx=demodulate(demodmsg,rxsig); %demodulasi
    %Compute Error Rate
    [nErrors,BER(n)]=biterr(msg,rx);
end
semilogy(SNR,BER,'-ro')
xlabel('SNR (dB)')
ylabel('BER')
grid on

```



- **Pada Kecepatan 3 km/jam**

```

clear;
clc;
M=4; % Modulation Order QPSK
sr=5.6e6; % symbol rate
% Parameter SUI 6
tau=[0 14e-6 20e-6];
pdb=[0 -10 -14];
Fd=[0.4 0.3 0.5];
maksfd=max(Fd(2:3));
fc=2.5e9; % frekuensi carrier
v=3; % kecepatan pengguna
fdop=((v*1000)/3600)/3e8*fc; % frekuensi Doppler
SNR=0:2:20; % range nilai SNR
numSNR=length(SNR); % panjang SNR
msg = randint(40320,1,M); % pembangkitan sinyal random
modmsg = modem.pskmod('M', M); % membangkitkan modulator
QPSK
demodmsg = modem.pskdemod(modmsg); %membangkitkan
demodulator QPSK
pskSig = modulate(modmsg,msg); % memodulasi sinyal
chan=rayleighchan(1/sr,maksfd+fdop,tau,pdb); %membangkitkan
kanal Rayleigh fading
%chan.DopplerSpectrum=doppler.rounded; %definisi objek
Doppler spektrum
x=filter(chan,pskSig); %mengaplikasikan efek kanal fading
for n=1:numSNR
    rxsig=awgn(x,SNR(n)); %menambah efek Gaussian noise
    rx=demodulate(demodmsg,rxsig); %demodulasi
    %Compute Error Rate
    [nErrors,BER(n)]=biterr(msg,rx);
end
semilogy(SNR,BER,'-ro')
xlabel('SNR (dB)')
ylabel('BER')
grid on

```



- Pada Kecepatan 60 km/jam**

```

clear;
clc;
M=4; % Modulation Order QPSK
sr=5.6e6; % symbol rate
% Parameter SUI 6
tau=[0 14e-6 20e-6];
pdb=[0 -10 -14];
Fd=[0.4 0.3 0.5];
maksfd=max(Fd(2:3));
fc=2.5e9; % frekuensi carrier
v=60; % kecepatan pengguna
fdop=((v*1000)/3600)/3e8)*fc; % frekuensi Doppler
SNR=0:2:20; % range nilai SNR
numSNR=length(SNR); % panjang nilai SNR
msg = randint(40320,1,M); % pembangkitan sinyal random
modmsg = modem.pskmod('M', M); % membangkitkan modulator
QPSK
demodmsg = modem.pskdemod(modmsg); %membangkitkan
demodulator QPSK
pskSig = modulate(modmsg,msg); % memodulasi sinyal
chan=rayleighchan(1/sr,maksfd+fdop,tau,pdb); %membangkitkan
kanal Rayleigh fading
%chan.DopplerSpectrum=doppler.rounded; %definisi objek
Doppler spektrum
x=filter(chan,pskSig); %mengaplikasikan efek kanal fading
for n=1:numSNR
    rxsig=awgn(x,SNR(n)); %menambah efek Gaussian noise
    rx=demodulate(demodmsg,rxsig); %demodulasi
    %Compute Error Rate
    [nErrors,BER(n)]=biterr(msg,rx);
end
semilogy(SNR,BER,'-ro')
xlabel('SNR (dB)')
ylabel('BER')
grid on

```



- **Pada Kecepatan 120 km/jam**

```

clear;
clc;

M=4; % Modulation Order QPSK
sr=5.6e6; % symbol rate
% Parameter SUI 6
tau=[0 14e-6 20e-6];
pdb=[0 -10 -14];
Fd=[0.4 0.3 0.5];
maksfd=max(Fd(2:3));
fc=2.5e9; % frekuensi carrier
v=120; % kecepatan pengguna
fdop=((v*1000)/3600)/3e8)*fc; % frekuensi Doppler
SNR=0:2:20; % range nilai SNR
numSNR=length(SNR); % panjang nilai SNR
msg = randint(40320,1,M); % pembangkitan sinyal random
modmsg = modem.pskmod('M', M); % membangkitkan modulator QPSK
demodmsg = modem.pskdemod(modmsg); %membangkitkan demodulator
QPSK
pskSig = modulate(modmsg,msg); % memodulasi sinyal
chan=rayleighchan(1/sr,maksfd+fdop,tau,pdb); %membangkitkan
kanal Rayleigh fading
%chan.DopplerSpectrum=doppler.rounded; %definisi objek
Doppler spektrum
x=filter(chan,pskSig); %mengaplikasikan efek kanal fading
for n=1:numSNR
    rxsig=awgn(x,SNR(n)); %menambah efek Gaussian noise
    rx=demodulate(demodmsg,rxsig); %demodulasi
    %Compute Error Rate
    [nErrors,BER(n)]=biterr(msg,rx);
end
semilogy(SNR,BER,'-ro')
xlabel('SNR (dB)')
ylabel('BER')
grid on

```



- Simulasi BER kanal *fading* secara teori

```

snr = 0:2:20;
M = 4; % Menggunakan QPSK modulasi
L = 1; % Tanpa diversity
ber = berfading(snr,'psk',M,L);
semilogy(snr,ber);

xlabel('SNR (dB)')
ylabel('BER')
hold on
grid on

```

Dari Listing Program di atas proses simulasi terdiri dari :

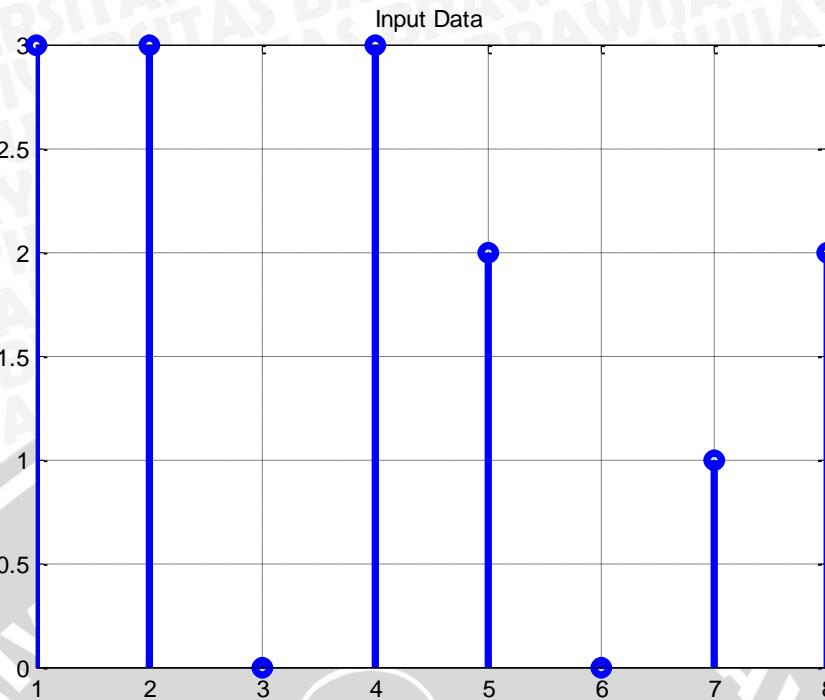
1. Membangkitkan random sinyal dengan fungsi Matlab randint dengan *input* data yang dibangkitkan adalah 40320 bit (jumlah paralel *carrier* data*jumlah simbol OFDM*level modulasi). Fungsi randint(m,n,rg) ini membangkitkan suatu matriks integer dengan m buah baris dan n buah kolom dengan range antara 0 sampai rg.

1. Pada skripsi ini disimulasikan input data:

```
msg = randint(40320,1,M);
```

dengan m adalah *modulation order* QPSK sebesar 4. Hasil dari pembangkitan data random dengan m= 8, n=1 dan rg =4 dengan dapat ditunjukkan pada Gambar berikut.





2. Memodulasi sinyal yang telah dibangkitkan sebelumnya. Pada simulasi ini digunakan skema modulasi QPSK. Berikut adalah *script* Matlab untuk proses modulasi sinyal dengan jumlah bit 40320.

```
M=4;
msg = randint(40320,1,M);
modmsg = modem.pskmod('M', M);
pskSig = modulate(modmsg,msg);
```

3. Membentuk efek kanal Rayleigh fading

Model kanal *Rayleigh* merupakan salah satu model kanal *multipath*, dengan karakteristik sinyal yang diterima oleh *receiver* tidak ada sinyal dominan *line of sight* (LOS). Adapun parameter-parameter yang diatur pada model ini antara lain :

- *Path delay*

Untuk sinyal yang pertama kali diterima, tipikalnya mempunyai *delay* 0 sekon.

Path delay tergantung pada tempat terjadinya komunikasi

Indoor → *Path delay* setelah sinyal yang pertama, tipikalnya antara 1 ns sampai 100 ns.

Outdoor → *Path delay* setelah sinyal pertama, tipikalnya antara 100 ns sampai 10 μ s.

- *Path Gain*

Path gain menyatakan *gain* rata-rata yang dialami oleh sinyal dalam suatu lintasan tertentu. Tipikalnya *Path gain* bernilai 0 dB sampai -20 dB.



- *Maximum Doppler shift*

Parameter ini tergantung pada pergerakan *receiver*.

Untuk membangkitkan model kanal *Rayleigh fading* melalui *software matlab* langkah-langkahnya adalah sebagai berikut :

1. Membangun model kanal *Rayleigh fading* dengan sintaks :

```
chan= rayleighchan (ts,fd,tau,pdB);
```

%membangun frequency selective fading dengan model kanal Rayleigh fading dimana, ts adalah waktu *sampling*, fd adalah maksimum frekuensi Doppler, tau adalah *path delay* dan pdB adalah *path gain*.
2. Mendefinisikan model *Doppler spectrum* yang digunakan. Model *Classic Jakes Doppler Spectrum* untuk aplikasi *mobile* sedangkan model *rounded Doppler spectrum* untuk aplikasi *fixed*.
3. Memproses sinyal masukan pada objek model kanal *Rayleigh fading* dengan sintaks :

```
x=filter(chan,pskSig);
```

dengan, chan adalah model kanal rayleigh *fading* dan pskSig adalah hasil modulasi sinyal input.
4. Menambah derau AWGN pada kanal

Pada simulasi ini penambahan derau AWGN menggunakan fungsi Matlab
`rxsig=awgn(x,snr);`

dengan, x adalah sinyal masukan yang telah dimodulasi dan diproses pada kanal Rayleigh fading dan snr adalah *signal to noise ratio* dalam dB.
5. Demodulasi sinyal

Pada simulasi ini digunakan skema demodulasi QPSK. Berikut adalah *script* Matlab untuk proses demodulasi sinyal.

```
demodmsg = modem.pskdemod(modmsg);
```

```
rx=demodulate(demodmsg,rxsig);
```
6. Perhitungan *bit error rate*

Pada simulasi ini perhitungan bit error rate menggunakan fungsi Matlab biterr. Berikut adalah *script* matlab untuk proses perhitungan *bit error rate*.

```
[nErrors,BER(n)]=biterr(msg,rx);
```

dengan, msg adalah *input* sinyal dan rx adalah data yang telah didemodulasi.



Lampiran 2. Listing Program untuk Menghitung SNR_{sistem} dan BER_{sistem}

```

d=700:100:1500; %range jarak pengguna
d0=100; %jarak referensi
f=2.5e9; % frekuensi carrier
c=3e8; % kecepatan cahaya
hb=30; %tinggi antenna pemancar
hcpe=6; %tinggi antenna penerima
%parameter terrain a
aa=4.6;
ba=0.0075;
ca=12.6;
sa=10.6;
%parameter terrain b
ab=4;
bb=0.0065;
cb=17.1;
sb=9.6;
%parameter terrain c
ac=3.6;
bc=0.005;
cc=20;
sc=8.2;
pt=43;% daya pancar
gt=15; %gain antenna pemancar
gr=-1; %gain antenna penerima
n0_420=-130.2; % daya noise pada sub carrier 420
n0_840=-127.19; %daya noise pada sub carrier 840
lamda=c/f; %panjang gelombang
ad=((4*pi*d0)/lamda);
A=20.*log10(ad); %free space loss
gamma_a=(aa-(ba*hb)+(ca/hb)); %pathloss exponent
gamma_b=(ab-(bb*hb)+(cb/hb));
gamma_c=(ac-(bc*hb)+(cc/hb));
loggamma_a=10.*gamma_a.*log10(d/d0);
loggamma_b=10.*gamma_b.*log10(d/d0);
loggamma_c=10.*gamma_c.*log10(d/d0);
xf=6*log10(2500/1900); %faktor koreksi frekuensi
xh_ab=-10.8*log10(hcpe/2); %faktor koreksi tinggi amtenna
penerima terrain a dan b
xh_c=-20*log10(hcpe/2); %faktor koreksi tinggi antenna penerima
terrain c
PLa=A+loggamma_a+xf+xh_ab+sa; %pathloss terrain a
PLb=A+loggamma_b+xf+xh_ab+sb; %pathloss terrain b
PLc=A+loggamma_c+xf+xh_c+sc; %pathloss terrain c
pr_a420=pt+gt+gr-PLa-10.*log10(420); %daya terima terrain a
subcarrier 420
pr_a840=pt+gt+gr-PLa-10.*log10(840); %daya terima terrain a
subcarrier 840
pr_b420=pt+gt+gr-PLb-10.*log10(420); %daya terima terrain b
subcarrier 420
pr_b840=pt+gt+gr-PLb-10.*log10(840); %daya terima terrain b
subcarrier 840

```



```

pr_c420=pt+gt+gr-PLc-10.*log10(420); %daya terima terrain c
subcarrier 420
pr_c840=pt+gt+gr-PLc-10.*log10(840); %daya terima terrain c
subcarrier 840
snr_a420=pr_a420-n0_420; %snr terrain a subcarrier 420
snr_a840=pr_a840-n0_840; %snr terrain a subcarrier 840
snr_b420=pr_b420-n0_420; %snr terrain b subcarrier 420
snr_b840=pr_b840-n0_840; %snr terrain b subcarrier 840
snr_c420=pr_c420-n0_420; %snr terrain c subcarrier 420
snr_c840=pr_c840-n0_840; %snr terrain c subcarrier 840
snrw_a420=10.^ (snr_a420/10);
snrw_a840=10.^ (snr_a840/10);
snrw_b420=10.^ (snr_b420/10);
snrw_b840=10.^ (snr_b840/10);
snrw_c420=10.^ (snr_c420/10);
snrw_c840=10.^ (snr_c840/10);
snrsistw_a420=0.875.*snrw_a420;
snrsistw_a840=0.875.*snrw_a840;
snrsistw_b420=0.875.*snrw_b420;
snrsistw_b840=0.875.*snrw_b840;
snrsistw_c420=0.875.*snrw_c420;
snrsistw_c840=0.875.*snrw_c840;
snrsist_a420=10.*log10(snrsistw_a420);%snr sistem terrain a
subcarrier 420
snrsist_a840=10.*log10(snrsistw_a840); %snr sistem terrain a
subcarrier 840
snrsist_b420=10.*log10(snrsistw_b420); %snr sistem terrain b
subcarrier 420
snrsist_b840=10.*log10(snrsistw_b840); %snr sistem terrain b
subcarrier 840
snrsist_c420=10.*log10(snrsistw_c420); %snr sistem terrain c
subcarrier 420
snrsist_c840=10.*log10(snrsistw_c840); %snr sistem terrain c
subcarrier 840
figure(1)
plot(d,PLa,'-bo',d,PLb,'-g*',d,PLc,'-ms')
legend('Terrain A (SUI 5-SUI 6)', 'Terrain B (SUI 3-SUI
4)', 'Terrain C (SUI 1-SUI 2)')
title('Grafik Pathloss Terhadap Jarak User')
grid on
hold on
figure(2)
plot(d,pr_a420,'-bo',d,pr_a840,'-bp',d,pr_b420,'-
rh',d,pr_b840,'-rv',d,pr_c420,'-ms',d,pr_c840,'-md')
legend('Terrain A, SubCarrier 420', 'Terrain A, SubCarrier
840', 'Terrain B, SubCarrier 420', 'Terrain B, SubCarrier
840', 'Terrain C, SubCarrier 420', 'Terrain C, SubCarrier 840')
title('Grafik Daya Terima Terhadap Jarak User')
grid on
hold on
figure(3)
plot(d,snr_a420,'-bo',d,snr_a840,'-bp',d,snr_b420,'-
rh',d,snr_b840,'-rv',d,snr_c420,'-ms',d,snr_c840,'-md')
legend('Terrain A, SubCarrier 420', 'Terrain A, SubCarrier
840', 'Terrain B, SubCarrier 420', 'Terrain B, SubCarrier
840', 'Terrain C, SubCarrier 420', 'Terrain C, SubCarrier 840')

```



```

title('Grafik SNR Terhadap Jarak User')
grid on
hold on
figure(4)
plot(d,snrsist_a420,'-ro',d,snrsist_a840,'-rp',d,snrsist_b420,'-
k>',d,snrsist_b840,'-kv',d,snrsist_c420,'-bs',d,snrsist_c840,'-
bd')
legend('Terrain A,SubCarrier 420','Terrain A,SubCarrier
840','Terrain B,SubCarrier 420','Terrain B,SubCarrier
840','Terrain C,SubCarrier 420','Terrain C,SubCarrier 840')
title('Grafik SNR sistem Terhadap Jarak User')
grid on
hold on
rtot_420=8.16;
rtot_840=16.33;
bsig_420=4.6;
bsig_840=9.2;
ebn0_a420=snrsist_a420+10*log10(bsig_420/rtot_420); %Eb/N0
terrain A pada subcarrier 420
ebn0_a840=snrsist_a840+10*log10(bsig_840/rtot_840);%Eb/N0
terrain A pada subcarrier 840
ebn0_b420=snrsist_b420+10*log10(bsig_420/rtot_420);%Eb/N0
terrain B pada subcarrier 420
ebn0_b840=snrsist_b840+10*log10(bsig_840/rtot_840);%Eb/N0
terrain B pada subcarrier 840
ebn0_c420=snrsist_c420+10*log10(bsig_420/rtot_420);; %Eb/N0
terrain C pada subcarrier 420
ebn0_c840=snrsist_c840+10*log10(bsig_840/rtot_840);%Eb/N0
terrain C pada subcarrier 840
bersistem_awgn420a=0.5.*erfc(sqrt(ebn0_a420)); %BER kanal AWGN
terrain a pada subcarrier 420
bersistem_fad420a=0.5*(1-(1./sqrt(1+(1./ebn0_a420)))); %BER
kanal fading terrain a pada subcarrier 420
bersistem_awgn420b=0.5.*erfc(sqrt(ebn0_b420)); %BER kanal AWGN
terrain b pada subcarrier 420
bersistem_fad420b=0.5*(1-(1./sqrt(1+(1./ebn0_b420)))); %BER
kanal fading terrain b pada subcarrier 420
bersistem_awgn420c=0.5.*erfc(sqrt(ebn0_c420)); %BER kanal AWGN
terrain c pada subcarrier 420
bersistem_fad420c=0.5*(1-(1./sqrt(1+(1./ebn0_c420)))); %BER
kanal fading terrain c pada subcarrier 420

bersistem_awgn840a=0.5.*erfc(sqrt(ebn0_a840)); %BER kanal AWGN
terrain a pada subcarrier 840
bersistem_fad840a=0.5*(1-(1./sqrt(1+(1./ebn0_a840)))); %BER
kanal fading terrain a pada subcarrier 840
bersistem_awgn840b=0.5.*erfc(sqrt(ebn0_b840)); %BER kanal AWGN
terrain b pada subcarrier 840
bersistem_fad840b=0.5*(1-(1./sqrt(1+(1./ebn0_b840)))); %BER
kanal fading terrain b pada subcarrier 840
bersistem_awgn840c=0.5.*erfc(sqrt(ebn0_c840)); %BER kanal AWGN
terrain c pada subcarrier 840
bersistem_fad840c=0.5*(1-(1./sqrt(1+(1./ebn0_c840)))); %BER
kanal fading terrain c pada subcarrier 840
figure(5)
subplot(211)

```



```

semilogy(d,bersistem_awgn420a,'-xb',d,bersistem_awgn420b,'-
rs',d,bersistem_awgn420c,'-md')
grid on
title('Grafik BER terhadap Jarak User pada kanal AWGN')
legend('Terrain A(SUI5-SUI6)', 'Terrain B(SUI3-SUI4)', 'Terrain
C(SUI1-SUI2)')
xlabel('Jarak User(m)')
ylabel('BER')
hold on
subplot(212)
semilogy(d,bersistem_fad420a,'-kv',d,bersistem_fad420b,'-
g>',d,bersistem_fad420c,'-c^')
title('Grafik BER terhadap Jarak User pada kanal Rayleigh')
grid on
xlabel('Jarak User(m)')
ylabel('BER')
legend('Terrain A(SUI5-SUI6)', 'Terrain B(SUI3-SUI4)', 'Terrain
C(SUI1-SUI2)')
hold on
figure(6)
subplot(211)
semilogy(d,bersistem_awgn840a,'-xb',d,bersistem_awgn840b,'-
rs',d,bersistem_awgn840c,'-md')
grid on
title('Grafik BER terhadap Jarak User pada kanal AWGN')
legend('Terrain A(SUI5-SUI6)', 'Terrain B(SUI3-SUI4)', 'Terrain
C(SUI1-SUI2)')
xlabel('Jarak User(m)')
ylabel('BER')
hold on

subplot(212)
semilogy(d,bersistem_fad840a,'-kv',d,bersistem_fad840b,'-
g>',d,bersistem_fad840c,'-c^')
title('Grafik BER terhadap Jarak User pada kanal Rayleigh')
grid on
xlabel('Jarak User(m)')
ylabel('BER')
legend('Terrain A(SUI5-SUI6)', 'Terrain B(SUI3-SUI4)', 'Terrain
C(SUI1-SUI2)')
hold on

```



Lampiran 3. Listing Program Matlab Respon Impuls Kanal SUI 4-SUI 6

- **Respon Impuls SUI 4**

```

h = rayleighchan(1/5.6e6, 0.25, [0.0e-6 1.5e-6 4e-6], [0, -4, -8]);
h.StoreHistory=true;
% Membangkitkan data
data = randi([0 1],100,1);
% Membuat modulator QPSK
hModulator = comm.QPSKModulator('BitInput',true);
% Modulasi dan Plot
modData = step(hModulator, data);
y= filter(h,modData);
plot (h);

```

- **Respon Impuls SUI 5**

```

h = rayleighchan(1/5.6e6, 2.5, [0.0e-6 4e-6 1e-5], [0, -5, -10]);
h.StoreHistory=true;
% Membangkitkan data
data = randi([0 1],100,1);
% Membuat modulator QPSK
hModulator = comm.QPSKModulator('BitInput',true);
% Modulasi dan Plot
modData = step(hModulator, data);
y= filter(h,modData);
plot (h);

```

- **Respon Impuls SUI 6**

```

h = rayleighchan(1/5.6e6, 0.5, [0.0e-6 1.4e-5 2e-5], [0, -10,-14]);
h.StoreHistory=true;
% Membangkitkan data
data = randi([0 1],100,1);
% Membuat modulator QPSK
hModulator = comm.QPSKModulator('BitInput',true);
% Modulasi dan Plot
modData = step(hModulator, data);
y= filter(h,modData);
plot (h);

```

