

DAFTAR ISI

halaman

PENGANTAR	i
DAFTAR ISI	iii
DAFTAR GAMBAR	vi
DAFTAR TABEL	viii
DAFTAR LAMPIRAN	ix
ABSTRAK	x
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Ruang Lingkup.....	2
1.4 Tujuan.....	3
1.5 Kontribusi.....	3
1.6 Sistematika Penulisan.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 VoIP (<i>Voice over Internet Protocol</i>).....	5
2.1.1 Unsur Pembentuk VoIP.....	5
2.1.2 Format Paket VoIP.....	6
2.2 <i>Worldwide Interoperability for Microwave Access (WiMAX) 802.16e</i>	7
2.2.1 Umum.....	7
2.2.2 <i>Worldwide Interoperability for Microwave Access (WiMAX) rev E</i>	7
2.2.2.1 <i>Broadband Wireless Access (BWA)</i>	7
2.2.2.2 <i>Worldwide Interoperability for Microwave Acces (WiMAX)</i>	8
2.2.2.3 Konfigurasi Jaringan WiMAX.....	8
2.2.2.4 Prinsip Kerja WiMAX.....	9
2.2.2.5 Spektrum Frekuensi WiMAX.....	9
2.2.2.6 Standar WiMAX.....	10

iii



2.2.2.7	Protokol IEEE 802.16/16e.....	10
2.2.2.8	<i>Orthogonal Frequency Division Multiple Access (OFDMA)</i>	13
2.2.2.9	Propagasi <i>Outdoor</i> dan <i>Indoor</i>	23
2.3	Performansi VoIP melalui <i>Mobile WiMAX IEEE 802.16 rev. E</i>	25
2.3.1	Perhitungan <i>Bandwidth</i>	25
2.3.2	Perhitungan <i>Path Loss</i>	26
2.3.3	Perhitungan SNR.....	27
2.3.4	Perhitungan kapasitas kanal.....	28
2.3.5	Perhitungan jarak jangkau	28
2.3.6	Perhitungan <i>delay end to end</i> dan <i>throughput</i>	30
2.3.6.1	Perhitungan <i>delay end to end</i>	30
2.3.6.2	<i>energy bit to noise</i>	35
2.3.6.3	<i>Probabilitas packet loss</i>	35
2.3.6.4	<i>Throughput</i>	36
BAB III METODOLOGI PENELITIAN		37
3.1	Studi Literatur	37
3.2	Pengambilan Data.....	37
3.2.1	Spesifikasi VoIP.....	38
3.2.2	Spesifikasi <i>mobile WiMAX</i>	38
3.3	Perhitungan dan Analisis Data.....	39
3.3.1	<i>Flowchart</i> perhitungan <i>Bandwidth</i>	39
3.3.2	<i>Flowchart</i> perhitungan <i>path loss</i>	40
3.3.3	<i>Flowchart</i> perhitungan <i>signal to noise ratio</i>	41
3.3.4	<i>Flowchart</i> Perhitungan kapasitas kanal.....	42
3.3.5	<i>Flowchart</i> perhitungan jarak jangkau maksimum.....	43
3.3.6	<i>Flowchart Delay End to End</i>	44
3.3.7	<i>Flowchart</i> perhitungan <i>throughput</i>	45
3.4	Pengambilan Kesimpulan dan Saran	46

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	47
4.1 Umum	47
4.2 Analisis perhitungan VoIP melalui <i>mobile</i> WiMAX	48
4.2.1 Analisis Paket Data Aplikasi VoIP	48
4.2.2 Analisis <i>Path Loss</i>	49
4.2.3 Analisis <i>Signal to noise ratio</i> (SNR)	51
4.2.4 Analisis Kapasitas Kanal	59
4.2.5 Analisis jarak jangkauan <i>base station</i> ke <i>subscriber station</i>	61
4.3 Analisis performansi VoIP melalui <i>mobile</i> WiMAX	64
4.3.1 Analisis <i>energy Bit to Noise</i>	64
4.3.2 Analisis Probabilitas <i>packet loss</i>	66
4.3.3 Analisis Probabilitas paket loss total	69
4.3.4 Analisis <i>delay end to end</i>	70
4.3.5 Analisis <i>Throughput</i>	81
BAB V PENUTUP	84
5.1 Kesimpulan	84
5.2 Saran	85
DAFTAR PUSTAKA	86
LAMPIRAN	87

DAFTAR GAMBAR

	halaman
Gambar 2.1 Format paket VoIP.....	6
Gambar 2.2 Konfigurasi jaringan WiMAX.....	8
Gambar 2.3 Prinsip kerja WiMAX.....	9
Gambar 2.4 Protokol IEEE 802.16/16e.....	10
Gambar 2.5 Hubungan radius jangkauan dengan sistem modulasi.....	12
Gambar 2.6 <i>Multipath</i> (lintasan jamak) pada sistem komunikasi <i>wireless</i>	13
Gambar 2.7 Sinyal OFDMA dilihat dari <i>domain</i> frekuensi dan waktu.....	13
Gambar 2.8 Perbandingan sinyal OFDM dengan sinyal OFDMA dilihat dari <i>domain</i> frekuensi dan waktu.....	14
Gambar 2.9 <i>Inter Carrier Interference</i> (ICI).....	14
Gambar 2.10 Efisiensi penggunaan <i>bandwidth</i> pada OFDMA.....	15
Gambar 2.11 Representasi orthogonalitas antar <i>subcarrier</i>	15
Gambar 2.12 Pembagian aliran data.....	16
Gambar 2.13 penggunaan <i>guard interval</i>	18
Gambar 2.14 Penyisipan <i>cyclic prefix</i> pada simbol OFDMA.....	19
Gambar 2.15 Representasi waktu dari OFDMA.....	19
Gambar 2.16 Sinyal pada <i>Binary Phase Shift Keying</i> (BPSK).....	21
Gambar 2.17 <i>Binary Phase Shift Keying</i> (BPSK) <i>constellation</i>	21
Gambar 2.18 Sinyal pada <i>Quadrature Phase Shift Keying</i> (QPSK).....	22
Gambar 2.19 <i>Quadrature Phase Shift Keying</i> (QPSK) <i>constellation</i>	22
Gambar 2.20 16-QAM <i>constellation</i>	23
Gambar 3.1 <i>Flowchart</i> metode analisis perhitungan.....	39
Gambar 3.2 <i>Flowchart</i> perhitungan <i>bandwidth</i>	39
Gambar 3.3 <i>Flowchart</i> perhitungan <i>path loss</i>	40
Gambar 3.4 <i>Flowchart</i> perhitungan <i>signal to noise ratio</i>	41
Gambar 3.5 <i>Flowchart</i> perhitungan kapasitas kanal.....	42
Gambar 3.6 <i>Flowchart</i> perhitungan jarak maksimum.....	43
Gambar 3.7 <i>Flowchart</i> perhitungan <i>delay end-to-end</i>	44
Gambar 3.8 <i>Flowchart</i> perhitungan <i>throughput</i>	45



Gambar 4.1 Grafik hubungan antara daya terima minimum dengan *path loss* 51

Gambar 4.2 Grafik hubungan antara laju data dengan SNR_{sistem} 59

Gambar 4.3 Grafik hubungan antara laju data dengan kapasitas kanal 61

Gambar 4.4 Grafik hubungan antara daya terima minimum dengan jarak jangkauan..... 64

Gambar 4.5 *Delay end to end* pada jaringan *mobile WiMAX* 70

Gambar 4.6 Grafik hubungan antara laju data dengan *delay end to end* 81

Gambar 4.7 Grafik hubungan antara laju data dengan *throughput* 83



DAFTAR TABEL

	halaman
Tabel 2.1 Teknik Kompresi Standar ITU-T.....	6
Tabel 2.2 Daya penerima minimum pada <i>bandwidth</i> kanal 5 MHz.....	27
Tabel 2.3 Model parameter 802.16 rev. E untuk tipe <i>Terrain</i> yang Berbeda.....	29
Tabel 4.1 Spesifikasi <i>mobile</i> WiMax 802.16 rev. E.....	47
Tabel 4.2 Hasil perhitungan <i>path loss</i>	50
Tabel 4.3 Parameter <i>data rate</i> IEEE 802.16e pada kanal 5 MHz.....	52
Tabel 4.4 Hasil analisis laju data dari <i>subcarrier</i> 512.....	53
Tabel 4.5 Hasil durasi dari <i>subcarrier</i> 512.....	53
Tabel 4.6 Hasil durasi <i>cyclic prefix</i> dari <i>subcarrier</i> 512.....	54
Tabel 4.7 Hasil durasi simbol OFDMA dari <i>subcarrier</i> 512.....	55
Tabel 4.8 Hasil <i>bandwidth</i> dari <i>subcarrier</i> 512.....	56
Tabel 4.9 Hasil <i>bandwidth</i> sistem dari <i>subcarrier</i> 512.....	56
Tabel 4.10 Hasil <i>noise</i> dari <i>subcarrier</i> 512.....	57
Tabel 4.11 Hasil <i>signal to noise ratio</i> dari <i>subcarrier</i> 512.....	58
Tabel 4.12 Hasil <i>signal to noise ratio</i> sistem dari <i>subcarrier</i> 512.....	58
Tabel 4.13 Hasil kapasitas kanal dari <i>subcarrier</i> 512.....	60
Tabel 4.14 Hasil jarak jangkauan antara <i>base station</i> dan <i>subscriber station</i>	63
Tabel 4.15 Hasil <i>energy bit to noise</i> ($\frac{E_b}{N_0}$) dari <i>subcarrier</i> 512.....	65
Tabel 4.16 Hasil probabilitas bit yang salah dari <i>subcarrier</i> 512.....	68
Tabel 4.17 Hasil probabilitas paket total yang salah dari <i>subcarrier</i> 512.....	69
Tabel 4.18 Hasil <i>delay</i> proses dari <i>subcarrier</i> 512.....	74
Tabel 4.19 Hasil <i>delay</i> propagasi dari <i>subcarrier</i> 512.....	75
Tabel 4.20 Hasil <i>delay</i> transmisi dari <i>subcarrier</i> 512.....	76
Tabel 4.21 Hasil <i>delay</i> antrian dari <i>subcarrier</i> 512.....	78
Tabel 4.22 Hasil <i>delay</i> MAN dari <i>subcarrier</i> 512.....	79
Tabel 4.23 Hasil <i>delay end to end</i> dari <i>subcarrier</i> 512.....	80
Tabel 4.24 Hasil <i>throughput</i> dari <i>subcarrier</i> 512.....	82
Tabel 4.25 Analisis <i>delay end to end</i> , <i>packet loss</i> dan <i>throughput</i> dari <i>subcarrier</i> 512.....	83



ABSTRAK

WIDHI SETYA WAHYUDHI, Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, Agustus, 2011, *Performansi VoIP (Voice over Internet Protocol) melalui mobile WiMAX*, Dosen Pembimbing : Ir. Endah Budi P., MT. dan Asri Wulandari, ST., MT.

WiMAX merupakan salah satu teknologi yang mampu memberikan layanan data dengan kecepatan tinggi dan teknologi yang efisien, dikarenakan teknologi ini cenderung ke arah *Broadband Wireless Access (BWA)* yang tidak membatasi pergerakan manusia dalam berkomunikasi. Ada beberapa varian standar BWA keluaran IEEE salah satunya adalah standar 802.16e untuk jaringan *Worldwide Interoperability for Microwave Access (WiMAX)* atau yang dikenal dengan *mobile WiMAX*.

Selain teknologi yang mampu memberikan layanan data dengan kecepatan tinggi dan teknologi yang efisien, pemanfaatan pengiriman suara melalui jaringan *internet* merupakan hal yang akan dikembangkan kedepannya. Teknologi VoIP bekerja dengan cara merubah suara menjadi format data digital tertentu yang dapat dikirimkan melalui jaringan *Internet Protocol (IP)*. Penulisan skripsi ini bertujuan untuk mengetahui performansi *VoIP (Voice over Internet Protocol)* melalui *mobile WiMAX*, hal ini dilakukan melalui beberapa perhitungan antara lain parameter kebutuhan *bandwidth* dalam VoIP, *path loss*, SNR, kapasitas kanal, dan jarak jangkau, performansi utama VoIP melalui *mobile WiMAX* meliputi *delay end to end* dan *throughput* untuk masing-masing tipe modulasi yang digunakan.

Hasil analisis didapatkan bahwa kapasitas kanal pada *mobile WiMAX* dengan menggunakan tipe modulasi yang berbeda didapatkan nilai yang lebih besar daripada kapasitas minimum yang dibutuhkan untuk melewati suara (*voice*). Kapasitas minimum yang didapatkan dari tipe modulasi QPSK-1/2 adalah 77,311 Mbps. Teknik modulasi QPSK-1/2 didapatkan *path loss* paling besar yaitu 139 dB, sedangkan teknik modulasi 64 QAM-3/4 didapatkan *path loss* paling kecil yaitu 124 dB. Untuk analisis perhitungan SNR didapatkan bahwa hasil dari *signal to noise ratio* berubah secara logaritmik terhadap variasi laju data, tipe modulasi QPSK-1/2 didapatkan nilai sebesar 45,144 KW sedangkan 64 QAM-3/4 memiliki SNR yaitu 95,205 KW.

Hasil perhitungan yang lain didapatkan bahwa jika menggunakan tipe modulasi QPSK-1/2 jarak jangkau dari *base station* ke *subscriber station* yang paling besar yaitu 1287,4 m sedangkan jika menggunakan tipe modulasi 64 QAM-3/4 didapatkan nilai sebesar 579,4257 m. pada analisis performansi utama *delay end to end* dan *throughput* didapatkan bahwa *delay end to end* terlama adalah 2,0567 ms dengan menggunakan tipe modulasi QPSK-1/2 sedangkan tipe modulasi 64 QAM-3/4 didapatkan *delay end to end* sebesar 2.0179 ms. *Delay* yang terjadi pada tiap tipe modulasi masih dapat ditoleransi pada aplikasi VoIP, karena *delay* maksimum kurang dari 150 ms. pada tipe modulasi QPSK-1/2 memiliki *throughput* paling kecil yaitu 99.9141 %, sedangkan *throughput* tertinggi dimiliki tipe modulasi 64 QAM-3/4 yaitu 99.9166 %. Sehingga *throughput* yang terjadi di tiap tipe modulasi masih dapat ditoleransi karena *throughput* masih > 90 %.

Kata Kunci : VoIP, mobile WiMAX, bandwidth, path loss, SNR, kapasitas kanal, jarak jangkau, delay end to end, throughput

DAFTAR PUSTAKA

- Andrews, Jeffrey G. 2006. *Orthogonal Frequency Division Multiple Access (OFDMA)*. United States : Pearson Education, Inc.
- Andrews, Jeffrey G., Arunabha Ghosh, Rias Muhamed. *Fundamentals of WiMAX : Understanding Broadband Wireless Networking*. 2007. United States : Pearson Education, Inc.
- Chen, Kwang-Cheng, J. Roberto B. De Marca. 2008. *Mobile WiMAX*. London : John Wiley & Sons, Inc.
- Cisco.2009.VoIP-bandwidth.<http://www.newport-network.com>.
- Ergen, Mustafa. 2009. *Mobile Broadband Including WiMAX and LTE*. United States : Springer.
- Forouzan, Behrouz A. 2000. *Data Communications and Networking 2nd edition*. McGraw-Hill International Edition.
- Hara, Shisuke, Ramjee Prasaad. 2003. *Multicarrier Technique for 4G mobile communications*. London : Artech House.
- Kumar, Amitabh. 2008. *Mobile Broadcasting with WiMAX :Principles, Technology, and Applications*. Oxford : Elsevier Inc.
- Prasad, Ramjee. 2004. *OFDM for wireless communications systems*. London : Artech House.
- Prasad, Ramjee, Muhammad Imadur Rahman, Suvra Sekhar Das, Nicola Marchetti. 2009. *Single- and Multi-Carrier MIMO Transmission for Broadband Wireless System*. London : River Publisher.
- Srikanth, Kumaran V., Manikandan C., Murugesapandian. 2007. *Orthogonal Frequency Division Multiple Access*. Anna University Press, Chennai, India.
- Sugeng, Winarno. 2007. *Membangun telepon berbasis VoIP*. Informatika, Bandung.
- Wallace, Kevin. 2009. *Delay and Networking*. United States : Springer.
- 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*.
- WiMAX Forum. 2006. *Mobile WiMAX : The Best Personal Broadband Experience*.

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perkembangan dunia telekomunikasi sekarang ini sangat pesat, hal ini sesuai dengan kebutuhan manusia akan teknologi komunikasi yang handal dalam mengirimkan data dengan kecepatan tinggi dan efisien. WiMAX merupakan salah satu teknologi yang mampu memberikan layanan data dengan kecepatan tinggi dan teknologi yang efisien, dikarenakan teknologi ini cenderung ke arah *Broadband Wireles Access* (BWA) yang tidak membatasi pergerakan manusia dalam berkomunikasi.

Standar BWA yang saat ini umum diterima dan secara luas digunakan adalah standar yang dikeluarkan oleh *Institut of Electrical and Electronics Engineering* (IEEE). Ada beberapa varian standar BWA keluaran IEEE salah satunya adalah standar 802.16 untuk jaringan *Worldwide Interoperability for Microwave Access* (WiMAX). Teknologi WiMAX merupakan evolusi dari teknologi BWA yang sebelumnya, memberikan perspektif baru dengan mengakses internet dengan cakupan area yang lebih luas dan kecepatan tinggi tanpa tergantung pada jaringan kabel atau modem. Salah satu varian 802.16 adalah 802.16e atau yang dikenal dengan *mobile WiMAX* yang merupakan pengembangan dari varian 802.16a untuk *user yang mobile*.

Selain teknologi yang mampu memberikan layanan data dengan kecepatan tinggi dan teknologi yang efisien, pemanfaatan pengiriman suara melalui jaringan internet merupakan hal yang akan dikembangkan kedepannya. Pengguna dapat memanfaatkan suatu teknologi VoIP atau yang dikenal dengan *Voice over Internet Protocol* yang merupakan suatu teknologi yang nantinya akan mewujudkan tatanan berkomunikasi yang memberikan nilai tambah pada jaringan internet yang telah ada.

Teknologi VoIP bekerja dengan cara merubah suara menjadi format data digital tertentu yang dapat dikirimkan melalui jaringan *Internet Protocol* (IP). Berbagai macam produk telah tersedia di pasaran, baik berupa *software* yang merubah suara menjadi data digital dan mengirimkannya ke tujuan, sampai dengan integrasi *hardware/software* yang mampu menyediakan sarana komunikasi suara.

Pada skripsi ini akan dibahas performansi VoIP (*Voice Over Internet Protocol*) melalui *mobile WiMAX IEEE 802.16 rev E*. Analisis Performansi ini lebih ditujukan untuk mengetahui bagaimana kinerja suatu sistem VoIP apabila dilewatkan melalui teknologi *mobile WiMAX*.

Analisis performansi VoIP melalui teknologi *mobile* WiMAX ini dilakukan dengan memperhitungkan beberapa parameter pendukung dari teknologi VoIP dan jaringan *mobile* WiMAX. Seperti analisis perhitungan kebutuhan *bandwidth* dalam VoIP, *path loss*, perhitungan *signal to noise ratio* (SNR), perhitungan kapasitas kanal, perhitungan jarak jangkau dari *base station* ke *mobile station*, sehingga performansi VoIP melalui *mobile* WiMAX dapat diketahui melalui perhitungan *delay end to end* serta perhitungan *throughput* pada *mobile* WiMAX.

1.2 Rumusan Masalah

Analisis performansi VoIP melalui *mobile* WiMAX akan disesuaikan dengan standar VoIP dan *mobile* WiMAX yang telah disepakati. Hal – hal yang akan dianalisis antara lain adalah :

1. Bagaimana kebutuhan *bandwidth* dalam VoIP, *path loss*, *signal to noise ratio* (SNR), kapasitas kanal, jarak jangkau dari *base station* ke *mobile station*, serta performansi VoIP melalui *mobile* WiMAX dengan parameter *delay end to end* dan *throughput* pada *mobile* WiMAX,
2. Bagaimana pengaruh tipe modulasi yang digunakan terhadap performansi VoIP melalui *mobile* WiMAX.

1.3 Ruang Lingkup

Berdasarkan perumusan masalah di atas maka pembahasan dibatasi pada :

1. Jenis *codec* yang digunakan adalah *audio codec* sesuai ITU G. 711,
2. Analisis performansi ini dibatasi pada teknologi *mobile* WiMAX yang disesuaikan sesuai standar *Institut of Electrical and Electronics Engineering* (IEEE) 802.16 rev. E,
3. Tipe modulasi yang digunakan adalah QPSK, 16-QAM, dan 64-QAM,
4. Teknik pentransmisiannya menggunakan teknologi *Orthogonal Frequency Division Multiple Access* (OFDMA),
5. Sistem propagasi yang digunakan adalah propagasi *outdoor* dengan daerah suburban,
6. Konfigurasi yang digunakan dibatasi oleh 2 *client* atau terdapat 2 *laptop*,
7. Analisis pada 1 *coverage* layanan *base station*,
8. Metode komunikasi dalam jaringan ini adalah *full duplex*,
9. Tidak melakukan analisis pada masalah biaya perencanaan.

1.4 Tujuan

Adapun tujuan penelitian pada skripsi ini adalah menganalisis kinerja sistem yang meliputi kebutuhan *bandwidth* dalam VoIP, *path loss*, *signal to noise ratio* (SNR), kapasitas kanal, perhitungan jarak jangkauan antara *base station* dan *subscriber station*, serta performansi VoIP melalui *mobile WiMAX* yang meliputi perhitungan *delay end to end* dan *throughput*.

1.5 Kontribusi

Adapun kontribusi yang dapat diberikan dengan penulisan skripsi ini, diantaranya adalah sebagai berikut :

- Dapat digunakan sebagai bahan pembelajaran mengenai teknologi *Broadband Wireless Access* (BWA) khususnya penerapan VoIP melalui *mobile WiMAX*,
- Masyarakat memiliki alternatif pilihan untuk menikmati layanan *Broadband Wireless Access* (BWA) dengan cakupan layanan yang lebih baik serta dapat meningkatkan kepuasan dan kenyamanan dalam penggunaan layanan BWA.

1.6 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan dan gambaran untuk setiap bab pada skripsi ini adalah sebagai berikut :

BAB I PENDAHULUAN

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

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Memuat dasar teori yang membahas dasar teori VoIP baik dari jenis *codec* yang digunakan, format paket VoIP dan beberapa parameter yang digunakan dalam perhitungan.

Memuat dasar teori yang membahas dasar teori WiMAX, namun penjelasan ini akan dipersempit pada penjelasan *mobile WiMAX* sesuai dengan standar IEEE 802.16 rev E dan beberapa parameter yang digunakan dalam perhitungan.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Memuat studi literatur mengenai VoIP dan *mobile WiMAX*, metode pengambilan data-data sekunder yang digunakan dalam skripsi, metode

analisis data, dan metode pengambilan kesimpulan dari analisis perhitungan yang akan dilakukan.

BAB IV PEMBAHASAN DAN HASIL

Melakukan analisis perhitungan terhadap performansi VoIP melalui *mobile* WiMAX 802.16 rev E.

BAB V PENUTUP

Berisi kesimpulan dan saran yang diperoleh dari analisis perhitungan yang telah dilakukan serta pemberian saran-saran.



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 VoIP (*Voice Over Internet Protocol*)

IP Telephony, *Internet Telephony*, atau yang diistilahkan dengan VoIP (*Voice Over Internet Protocol*) merupakan teknologi yang memanfaatkan IP (*Internet Protocol*) untuk menyediakan komunikasi suara secara *real-time*. VoIP adalah teknologi yang mampu melewati suara, yang berbentuk paket melalui jaringan IP. Jaringan IP sendiri merupakan jaringan komunikasi data yang berbasis *packet-switch*. Sinyal suara sebelum dipaketkan mengalami *voice coding* atau pengubahan format suara kedalam bentuk digital agar dapat dilewatkan melalui jaringan IP. Untuk membangun jaringan VoIP secara umum terdapat unsur-unsur pembentuk jaringan VoIP. [Winarno. 2007]

2.1.1 Unsur Pembentuk VoIP

Ada beberapa unsur pembentuk jaringan VoIP, yaitu : *user agent*, *proxy*, dan *codec*. Dari unsur-unsur tersebut jaringan VoIP terbentuk. Untuk memahami lebih dalam, berikut akan dipaparkan satu persatu dari unsur-unsur pembentuk VoIP tersebut [Winarno. 2007]:

2.1.1.1 *User agent*

User agent seperti layaknya telepon yang kita kenal, berfungsi untuk melakukan pemanggilan atau menerima telepon. *User agent* berupa *software* lebih populer, hal ini dikarenakan banyak *software user agent* yang dapat diperoleh secara gratis. *Laptop* yang telah tersedia fasilitas *user agent* dapat digunakan untuk proses pemanggilan atau menerima telepon.

2.1.1.2 *Proxy*

Karena VoIP akan dijalankan di internet maka perlu dibuatkan jembatan penghubung, jembatan tersebut biasa disebut *proxy*, seperti halnya *proxy-proxy* server pada umumnya, tetapi ini khusus untuk kebutuhan VoIP. Nantinya *Proxy* ini akan bertugas melakukan registrasi pada *client*, mengontrol panggilan, dan memberikan aplikasi pendukung pada *client* seperti *voice mail* dan *messaging*.

2.1.1.3 *Codec*

Pada prinsipnya pengkodean suara merupakan pengalihan kode analog menjadi kode digital agar suara dapat dikirim dalam jaringan komputer. Pengodean ini dikenal dengan istilah

codec. Berbagai jenis *codec* dikembangkan untuk memampatkan/mengompresikan suara agar dapat menggunakan *bandwidth* secara hemat tanpa mengorbankan kualitas suara.

- **Codec Audio G.711**

G.711 adalah suatu standar internasional untuk kompresi audio dengan menggunakan teknik *Pulse Code Modulation* (PCM) dalam pengiriman suara. Standar ini banyak digunakan oleh operator telekomunikasi sebagai standar dalam pengkodean suara analog menjadi digital.

Tabel 2.1 Teknik Kompresi Standar ITU-T

Teknik Kompresi	Bit Rate (kbps)	Sample/Frame Size (ms)	MOS
G.711	64	20	4,1
G.726	32	20	3,85
G.728	16	2,5	3,61
G.729	8	10	3,92
G.723. 1a	6,3	30	3,9
G.723. 1b	5,3	30	3,65

(Sumber : <http://www.newport-network.com/VoIP -Bandwidth.pdf>)

2.1.2 Format paket VoIP

Format paket VoIP terdiri atas dua bagian, yakni *header* dan *payload* (beban). *Header* terdiri atas *header Internet Protocol* (IP), *Real-time Transport Protocol* (RTP), dan *User Datagram Protocol* (UDP). Format paket VoIP dapat dilihat pada gambar 2.1 berikut :

IP Header	UDP Header	RTP Header	Voice Payload
20 Bytes	8 Bytes	12 Bytes	X Bytes

Gambar 2.1 Format paket VoIP

(Sumber : www.cisco.com)

Header IP bertugas menyimpan informasi routing untuk mengirimkan paket-paket ke tujuan. Pada tiap *header* IP disertakan tipe layanan atau *Type of service* (ToS) yang memungkinkan paket tertentu seperti paket suara yang *real time*.



Header UDP menunjukkan identitas dari paket VoIP, yaitu *connection less* artinya tidak ada jaminan paket sampai pada tujuan dan oleh karena itu UDP digunakan pada aplikasi *realtime* yang sangat peka terhadap jeda.

Seperti UDP, RTP juga tidak mendukung paket untuk mencapai ke tujuan. RTP menggunakan protokol kendali yang disebut RTCP (*Real-time Transport Control Protocol*) untuk melakukan pemantauan kualitas dan distribusi data.

2.2 Worldwide Interoperability for Microwave Access (WiMAX) 802.16 rev. E

2.2.1 Umum

Mobile WiMAX merupakan teknologi yang menyediakan *data rate* tinggi dibandingkan dengan *data rate* yang disediakan oleh teknologi seluler 3G. Selain itu, cakupan area layanan dari *mobile WiMAX* juga lebih luas dibandingkan dengan cakupan area layanan dari sistem *wireless local*. Berdasarkan standar IEEE 802.16e, *air interface* yang digunakan pada *mobile WiMAX* adalah *Orthogonal Frequency Division Multiple Access* (OFDMA). Penggunaan OFDMA bertujuan meningkatkan *multipath performance* pada lingkungan *non-line-of-sight* (NLOS). Profil *mobile WiMAX* yang pertama kali dikeluarkan oleh IEEE mencakup *channel bandwidth* 5 MHz, 7 MHz, 8,75 MHz, dan 10 MHz yang dialokasikan pada *licensed spectrum* di 2,3 GHz, 2,5 GHz, 3,3 GHz, dan 3,5 GHz. [WiMAX Forum. 2006]

2.2.2 Worldwide Interoperability for Microwave Access (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. Sistem ini memiliki standar *bandwidth* 5 MHz hingga 10 MHz. (Amitabh Kumar, 2008)

2.2.2.1 Broadband Wireless Access (BWA)

Saat ini teknologi *wireless* mulai bergerak ke arah teknologi *Broadband Wireless Access* (BWA). Teknologi ini dipersiapkan untuk layanan *multimedia* generasi keempat (4G). Teknologi *Broadband Wireless Access* (BWA) adalah suatu teknologi akses yang menjanjikan *bandwidth* yang lebar dengan kecepatan data yang tinggi. Menurut rekomendasi ITU-T no.I.113,

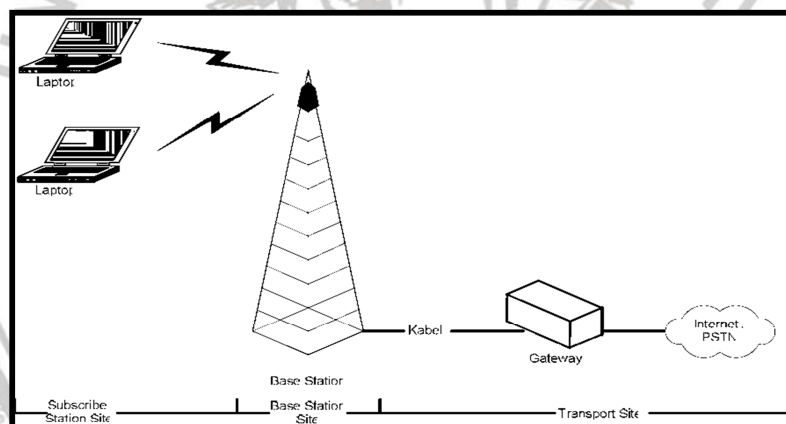
komunikasi *broadband* didefinisikan sebagai komunikasi dengan kecepatan transmisi antara 2 Mbps hingga 155 Mbps.

2.2.2.2 Worldwide Interoperability for Microwave Access (WiMAX)

Worldwide Interoperability for Microwave Access (WiMAX) merupakan standar industri yang bertugas menginterkoneksi berbagai standar teknis yang bersifat *global* menjadi satu kesatuan. WiMAX merupakan saluran komunikasi radio yang memungkinkan terjadinya jalur *internet* dua arah dari jarak beberapa kilometer. Dengan memanfaatkan gelombang radio, teknologi ini bisa dipakai dengan frekuensi berbeda, sesuai dengan kondisi dan peraturan penggunaan frekuensi di negara *user*.

2.2.2.3 Konfigurasi Jaringan WiMAX

Secara umum konfigurasi jaringan WiMAX dibagi menjadi 3 bagian yaitu *subscriber station* (SS), *base station* (BS), dan *transport site* (bagian *backend*). SS terletak di lingkungan pelanggan (bisa *fixed* atau *mobile* untuk 802.16e), sedangkan BS biasanya satu lokasi dengan jaringan operator (jaringan *internet* atau jaringan PSTN).



Gambar 2.2 Konfigurasi jaringan WiMAX.

(Sumber : Gunawan Wibisono dan Gunadi Dwi Hantoro, 2009)

Gambar 2.2 menunjukkan konfigurasi jaringan WiMAX. Dalam Gambar 2.2 digambarkan bahwa konfigurasi WiMAX terdiri dari :

- *transport site* (bagian *backend*) : bagian ini terdiri dari jaringan *internet*/PSTN. Bagian ini berfungsi untuk menghubungkan *base station* dengan *internet*,
- *base station* (BS) site : bagian ini terdiri dari *base station* (BS). Bagian ini berfungsi untuk menghubungkan *subscriber station* (SS) site dengan *transport site*,

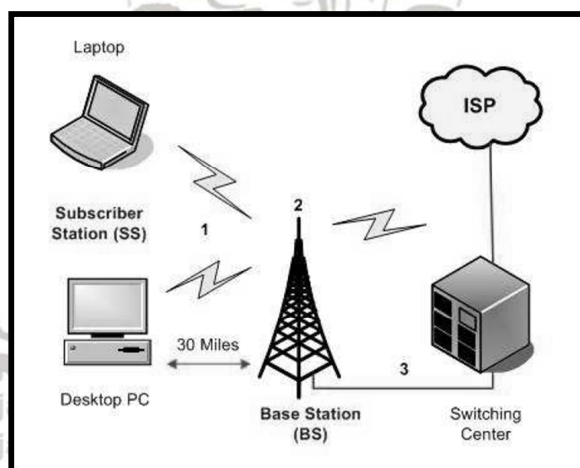
subscriber station (SS) site : bagian ini terdiri dari *Customer Premise Equipment (CPE)* atau yang lebih canggih berupa *laptop*. Bagian ini berfungsi sebagai peralatan yang digunakan oleh *user/pengguna*. Dalam sistem IEEE 802.16e terdapat dua tipe *user* yaitu *fixed* dan *mobile user*.

2.2.2.4 Prinsip Kerja WiMAX

Secara umum, WiMAX yang merupakan teknologi *broadband wireless* memiliki prinsip kerja sebagai berikut [Gunawan Wibisono, 2009] :

1. Pelanggan mengirimkan data dengan kecepatan 2 – 155 Mbps dari *subscriber station (SS)* ke *base station (BS)* melalui media gelombang radio,
2. BS akan menerima sinyal dari berbagai pelanggan dan mengirimkan pesan melalui *wireless* atau kabel ke *switching center* melalui protokol 802.16,
3. *Switching center* akan mengirimkan pesan ke *internet service provider* atau *public switched telephone network (PSTN)* melalui kabel.

Ketiga proses tersebut di atas dapat dilihat pada Gambar 2.3. Pada Gambar 2.3, *laptop* dan *personal computer (PC)* berfungsi sebagai *subscriber station (SS)*, *tower*, antenna, beserta perangkatnya berfungsi sebagai *base station (BS)* dan *switching center* sebagai pengatur pilihan koneksi ke *internet service provider (ISP)*.



Gambar 2.3 Prinsip kerja WiMAX.

(Sumber : <http://www.wimax360.com>)

2.2.2.5 Spektrum Frekuensi WiMAX

Sebagai teknologi yang berbasis pada frekuensi, kesuksesan WiMAX sangat bergantung pada ketersediaan dan kesesuaian spektrum frekuensi. WiMAX Forum menetapkan 2 *band*

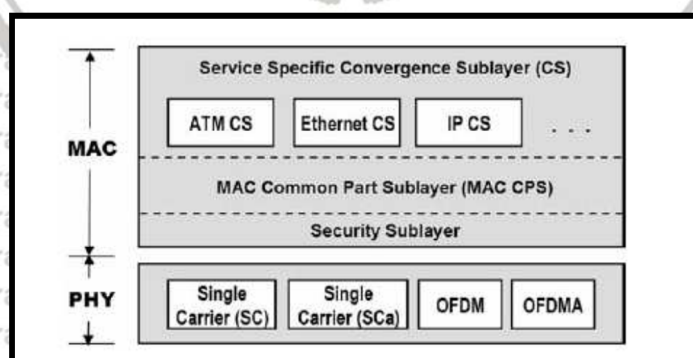
frekuensi utama pada *certification profile* untuk *fixed* WiMAX, yaitu *band* 3,5 GHz dan 5,8 GHz. Sementara untuk *mobile* WiMAX ditetapkan 4 *band* frekuensi pada sistem profil *release-1*, yaitu *band* 2,3 GHz, 2,5 GHz, 3,3 GHz, dan 3,5 GHz. [WiMAX Forum, 2006]. Untuk *mobile* WiMAX digunakan frekuensi 2,3 GHz, sesuai dengan peraturan Dirjen Pos dan Telekomunikasi tahun 2007. [Gunadi Wibisono, 2009]

2.2.2.6 Standar WiMAX

WiMAX merupakan standar *Broadband Wireless Access* (BWA) dengan kemampuan untuk menyalurkan data dengan kecepatan tinggi pada jaringan *wireless*. Banyak kemampuan lebih ditawarkan oleh teknologi WiMAX dibanding teknologi sebelumnya, seperti kemampuan yang diterapkan dalam kondisi *Non Line of Sight* (NLOS). Di IEEE terdapat *working group* yang khusus menangani dan mengembangkan WiMAX (802.16). Standar 802.16 ini difokuskan untuk mengatur spesifikasi sistem WiMAX pada *layer Medium Access Control* (MAC) dan *layer Physical* (PHY).

2.2.2.7 Protokol IEEE 802.16/16e

Fungsi-fungsi komunikasi dibagi menjadi suatu rangkaian *layer*. Masing-masing *layer* menampilkan subrangkaiian fungsi-fungsi yang masih berkaitan dan diperlukan untuk berkomunikasi dengan sistem yang lain. Karakteristik standar 802.16/16e ditentukan oleh spesifikasi teknis dari *layer Physical* (PHY) dan *Medium Access Control* (MAC). Perbedaan karakteristik kedua *layer* ini akan membedakan varian-variananya. *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 2.4 menunjukkan protokol IEEE 802.16/16e. [Kwang-Cheng Chen, 2008]



Gambar 2.4 Protokol IEEE 802.16/16e.

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

2.2.2.7.1 Physical Layer (PHY)

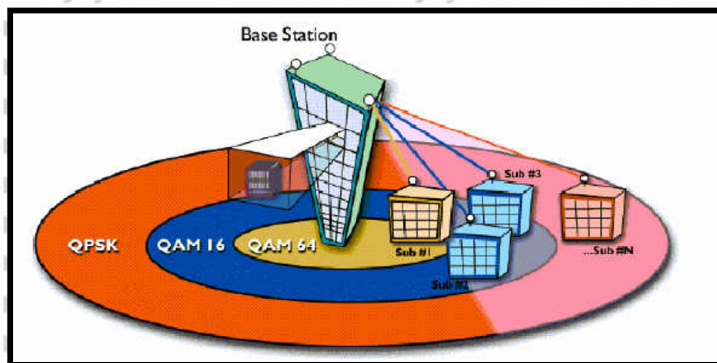
Berdasarkan Gambar 2.4, terdapat 4 pilihan standar *air interface* yang digunakan dalam *physical layer* IEEE 802.16/16e dengan masing-masing standar memiliki spesifikasi yang berbeda diantaranya adalah :

- *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.

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

- **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 sinyal 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]

2.2.2.7.2 Kelebihan dan Kelemahan WiMAX 802.16e

Ada beberapa kelebihan dan kelemahan yang dimiliki oleh WiMAX 802.16e, diantaranya adalah sebagai berikut [Gunawan Wibisono, 2009] :

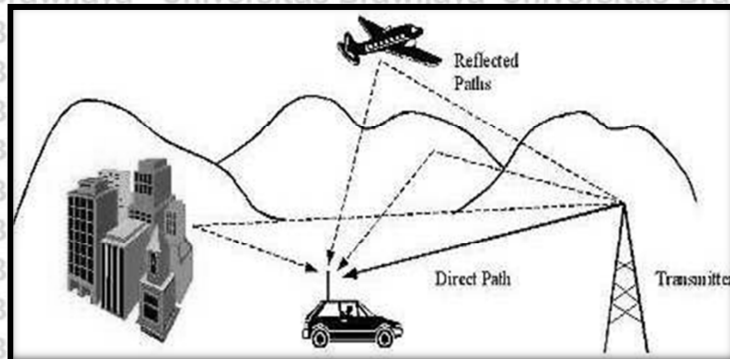
a. Kelebihan

- dapat melayani *user* baik *fixed user* maupun *mobile user*,
- arsitektur yang lebih sederhana, dibandingkan dengan teknologi akses lainnya seperti CDMA dan GSM,
- jaringan telah berbasis IP, WiMAX mudah diintegrasikan dengan jaringan berbasis IP tanpa memerlukan *layer adaptation* lagi, dan
- mudah dikembangkan.

b. Kelemahan

Selain kelebihan yang dimiliki oleh WiMAX 802.16e, WiMAX 802.16e juga memiliki kelemahan di dalam sistemnya, diantaranya yaitu timbulnya *fading* yang diakibatkan adanya penghalang pada saat sebuah sinyal dikirimkan. Sehingga sinyal tersebut terpantulkan oleh penghalang. Pada saat sinyal terpantulkan, maka akan terbentuk sinyal-sinyal pantulan. Pada saat sinyal utama mencapai *receiver*, maka sinyal pantulan akan juga berusaha mencapai *receiver*. Ketika keduanya berada pada posisi yang sama, maka keduanya akan saling menguatkan atau saling melemahkan. Gambar 2.6 menggambarkan terjadinya proses perambatan lintasan jamak (*multipath*) yang disebabkan oleh pantulan-pantulan dari struktur

bangunan gedung atau medan (*terrain*) yang tidak rata antara antenna pemancar dengan penerima. Hal inilah yang akan menyebabkan terjadinya *multipath fading*.

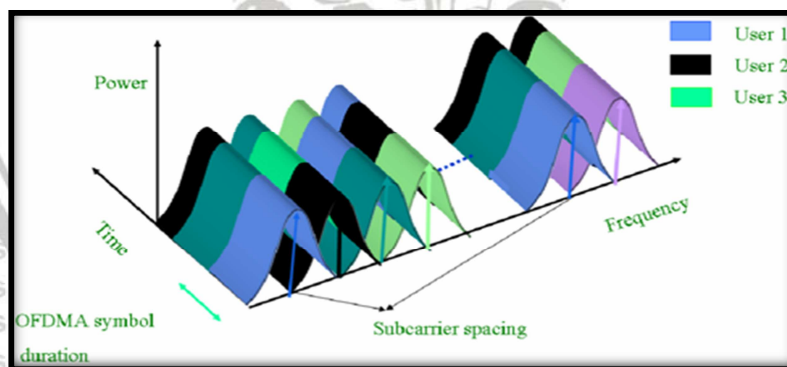


Gambar 2.6 Multipath (lintasan jamak) pada sistem komunikasi wireless.

(Sumber : Shabbar Ali Khan, 2005)

2.2.2.8 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 *subcarrier* yang berbeda secara dinamis (FDMA) dan pada *time slot* yang berbeda pula (TDMA). Pengalokasian *user* pada *subcarrier* dan *time slot* yang berbeda dapat dilihat pada Gambar 2.7. [Srikanth, 2007]

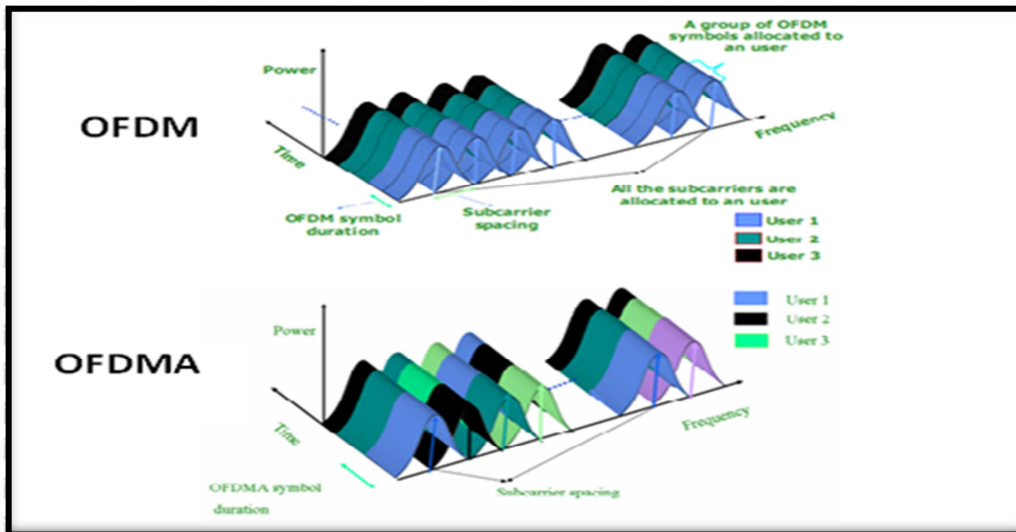


Gambar 2.7 Sinyal OFDMA dilihat dari domain frekuensi dan waktu.

(Sumber : Srikanth S., 2007)

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 *subcarrier* diperbolehkan diduduki oleh satu atau beberapa *user* yang memiliki simbol OFDMA yang berbeda. Sedangkan pada

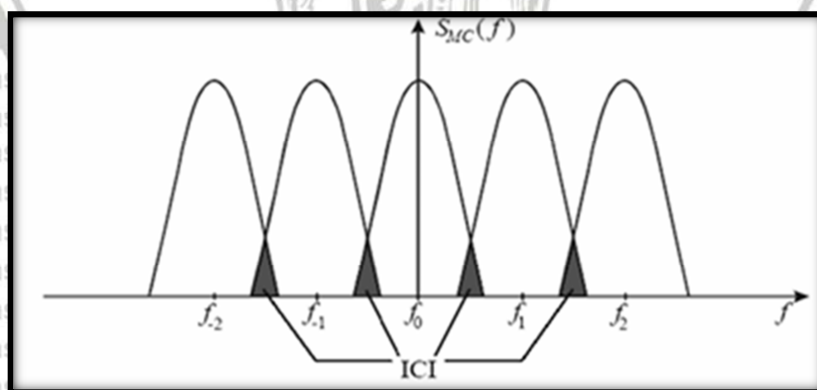
OFDM dalam satu *subcarrier* hanya diperbolehkan diduduki oleh *user* yang memiliki simbol OFDM yang sama. Perbedaan antara OFDMA dan OFDM ditunjukkan pada Gambar 2.8. [Srikanth, 2007]



Gambar 2.8 Perbandingan sinyal OFDM dengan sinyal OFDMA dilihat dari domain frekuensi dan waktu.

(Sumber : Srikanth S., 2007)

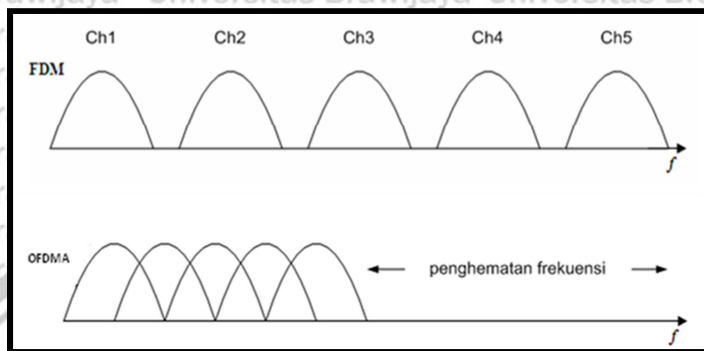
OFDMA juga memiliki prinsip kerja yang sama dengan OFDM yaitu mengirimkan banyak pesan pada satu kanal transmisi. OFDMA juga dapat mengirimkan pesan tanpa terjadi *inter-carrier interference* (ICI) dan *inter-symbol interference* (ISI). Hal ini dikarenakan adanya proses penambahan *cyclic prefix* (CP) pada simbol OFDMA.



Gambar 2.9 Inter-Carrier Interference (ICI).

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

OFDMA juga menggunakan sinyal *orthogonal*, dimana *null sideband* dari salah satu *subcarrier* bertumpukan dengan *main lobe frequency* dari *subcarrier* yang selanjutnya sehingga *overlapping* dari frekuensi *carrier* tidak mempengaruhi sinyal. Dengan demikian akan menghilangkan adanya *band guard*, sehingga penggunaan *bandwidth* lebih efisien. Gambar 2.10 menunjukkan bahwa teknologi OFDMA mampu menekan penggunaan *bandwidth*.

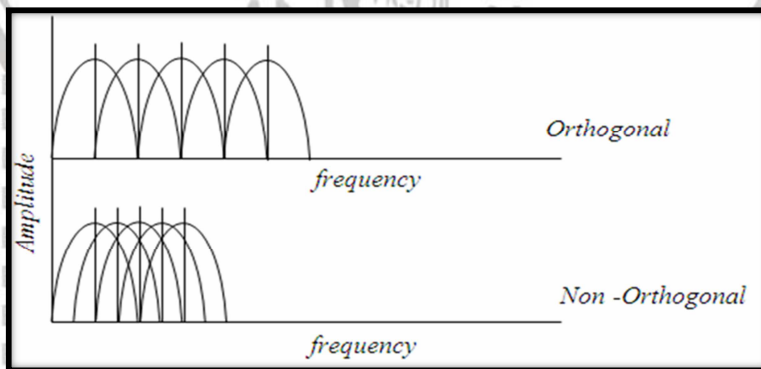


Gambar 2.10 Efisiensi penggunaan *bandwidth* pada OFDMA.

(Sumber : Ramjee Prasaad, 2004)

2.2.2.8.1 Definisi *Orthogonal*

Teknologi OFDMA menggunakan sinyal *orthogonal*, *orthogonal* merupakan keadaan apabila *null sideband* dari salah satu *subcarrier* bertumpukan dengan *main lobe frequency* dari *subcarrier* 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 *subcarrier* dapat dilihat pada Gambar 2.11.



Gambar 2.11 Representasi *orthogonalitas* antar *subcarrier*.

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

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

Jarak antar *subcarrier* (Δf) pada spektrum sinyal dapat dinyatakan dengan persamaan berikut [Hara & Prasad, 2003] :

$$\Delta f = \frac{1}{T_{sub} - T_{cp}} \quad (2-1)$$

dengan :

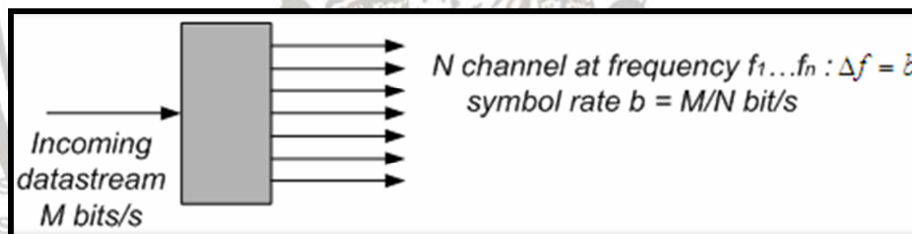
Δf = selang antar frekuensi tiap *subcarrier* (Hz)

T_{sub} = durasi simbol masing-masing *subcarrier* (s)

T_{cp} = durasi *cyclic prefix* (s)

2.2.2.8.2 Pembagian Aliran Data pada OFDMA

Prinsip dasar dari sistem OFDMA ini adalah membagi sebuah M laju data yang tinggi (*single high-rate bit stream*) menjadi N laju data rendah. Seperti yang terlihat pada Gambar 2.12 berikut ini.



Gambar 2.12 Pembagian aliran data.

(Sumber : <http://www.cogitamus.it>)

Pada sistem OFDMA, laju transmisi total yang tersedia dibagi kedalam beberapa *subcarrier* agar dapat mentransmiskikan data dengan laju data rendah. Laju transmisi untuk masing-masing *subcarrier* dari laju transmisi total yang tersedia dapat dinyatakan dengan persamaan 2.2 berikut [Tufvesson, 1998] :

$$R_{sub} = \frac{R_{tot}}{N} \quad (2.2)$$

dengan :

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



R_{tot} = laju tranmsi total (bps)

N = jumlah *subcarrier*

Dan durasi simbol untuk suatu modulasi pada masing-masing *subcarrier* dinyatakan

dengan persamaan 2.3 berikut [Tufvesson, 1998]:

$$T_{sub} = \frac{\log_2 \cdot M}{R_{sub}} = \frac{N \cdot \log_2 \cdot M}{R_{tot}} \quad (2.3)$$

dengan :

T_{sub} = durasi simbol masing-masing *subcarrier* (s)

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

R_{tot} = laju tranmsi total (bps)

N = jumlah *subcarrier*

M = jumlah kemungkinan sinyal

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

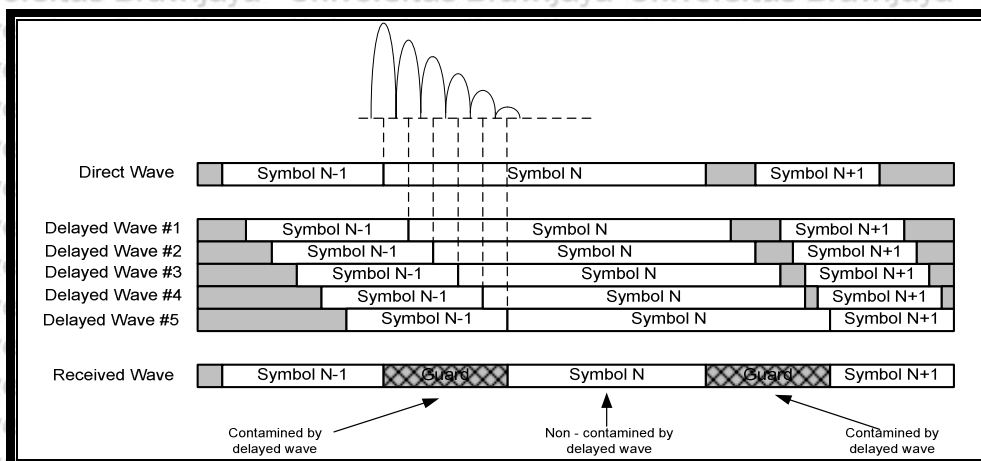
untuk modulasi 16-QAM nilai $M = 2^4 = 16$

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

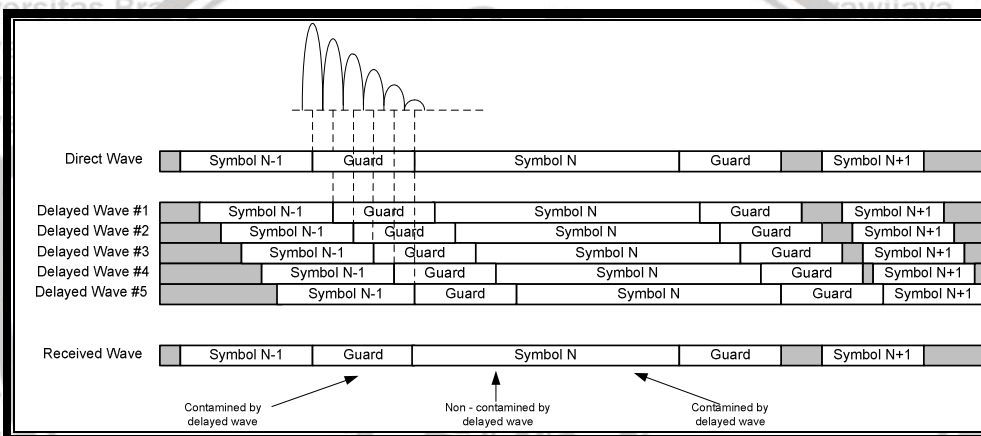
2.2.2.8.3 Guard Interval dan Cyclic Prefix

Pada OFDMA, sinyal didesain sedemikian rupa agar *orthogonal*, sehingga bila tidak ada distorsi pada jalur komunikasi yang menyebabkan ISI (*intersymbol interference*) dan ICI (*intercarrier interference*), maka setiap *subchannel* akan bisa dipisahkan stasiun penerima dengan menggunakan FFT.

Tetapi pada kenyataannya tidak semudah itu, pada komunikasi *wireless* ada masalah yang terpenting yaitu *delay spread*. Dengan adanya *delay spread* menyebabkan pembatasan spektrum dari sinyal OFDMA tidak tepat, sehingga terjadi distorsi linear yang mengakibatkan energi pada tiap-tiap *subchannel* menyebar ke *subchannel* di sekitarnya, dan pada akhirnya ini akan menyebabkan interferensi antar simbol (ISI). Selain itu, ISI dapat pula terjadi dengan meningkatnya *bandwidth carrier* dan laju simbol *subcarrier*. Cara mengatasi ISI adalah dengan menyisipkan *guard interval* (interval penghalang) secara periodik pada tiap simbol OFDMA. Bila panjang *guard interval* melebihi *multipath delay*, maka ISI dapat dihilangkan. Gambar 2.13 a menunjukkan simbol OFDMA tanpa *guard interval*, sedangkan gambar 2.13 b menunjukkan penyisipan *guard interval* pada simbol OFDMA.



a



b

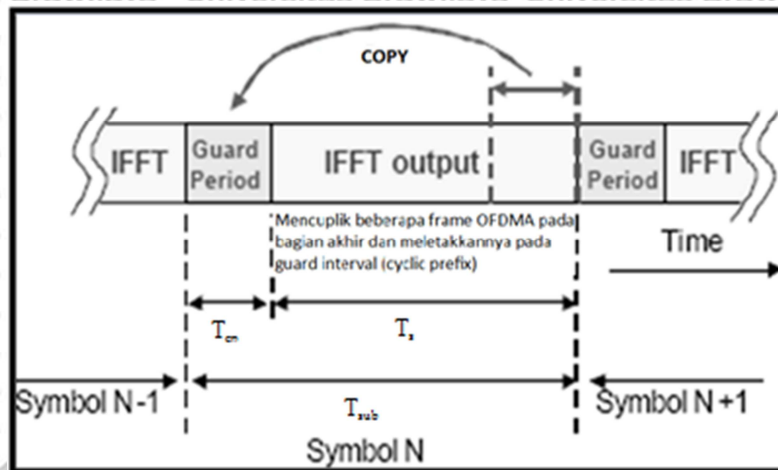
Gambar 2.13 Penggunaan *guard interval*.

(Sumber : <http://www.cogitamus.it>)

Akan tetapi penggunaan *guard interval* tidak dapat mencegah terjadinya *Interchannel Interference* (ICI) sehingga orthogonalitas antar *subcarrier* tidak mampu dijaga. Untuk mengatasi masalah ini, maka harus dilakukan penambahan ekstensi siklus dengan cara mencuplik beberapa *frame* OFDMA pada bagian akhir dan meletakkannya dalam *guard interval* atau disebut dengan *cyclic prefix*. Alasan *guard interval* terdiri dari kopi dari akhir simbol OFDMA adalah agar *receiver* nantinya mengintegrasikan masing-masing *multipath* melalui angka integer dari siklus sinusoid ketika proses demodulasi OFDMA dengan FFT. Dengan penambahan *cyclic prefix* maka masalah interferensi (ISI dan ICI) yang terjadi pada komunikasi *wireless* dapat diatasi. Proses penambahan *cyclic prefix* dapat dilihat pada Gambar 2.14. ISI dan ICI dapat

dicegah jika panjang *cyclic prefix* melebihi panjang *delay spread* maksimum ($T_{cp} \geq 2\tau$).

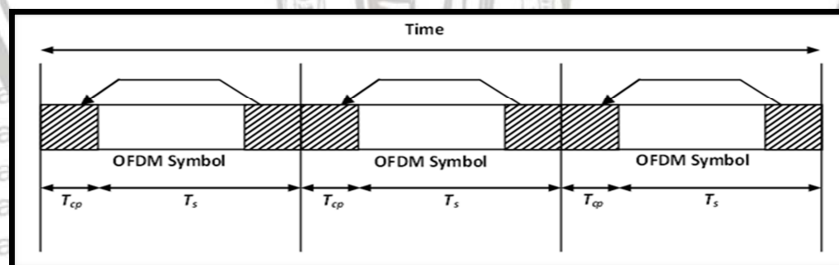
[Amitabh Kumar, 2008]



Gambar 2.14 Penyisipan *cyclic prefix* pada simbol OFDMA.

(Sumber : <http://www.cogitamus.it>)

Proses penambahan *cyclic prefix* (T_{cp}) dilakukan pada pemancar terhadap simbol OFDMA. Pada penerima, *cyclic prefix* (T_{cp}) akan dipisahkan dari simbol OFDMA. Akibat penambahan *cyclic prefix* ini maka total dari durasi simbol OFDMA untuk masing-masing *subcarrier* adalah durasi simbol OFDMA tanpa *cyclic prefix* ditambah durasi *cyclic prefix*, sehingga total durasi simbol OFDMA adalah $T_{sub} = T_s + T_{cp}$. Representasi waktu dari total satu simbol OFDMA dapat digambarkan pada Gambar 2.15 berikut.



Gambar 2.15 Representasi waktu dari OFDMA

(Sumber : Zhang Di, 2004)

Bandwidth antar *subcarrier* setelah penambahan *cyclic prefix* sama dengan *invers* dari durasi simbol tanpa *cyclic prefix*. Secara matematis *bandwidth subcarrier* dapat dituliskan dengan [Hara, 2003] :

$$\Delta f = \frac{1}{T_s} = \frac{1}{T_{sub} - T_{cp}} \quad (2-4)$$

dan *bandwidth* sistem dari sejumlah *subcarrier* yang digunakan adalah :

$$\begin{aligned}
 B_{sistem} &= \frac{2}{T_{sub}} + \frac{N-1}{(1-\alpha_{cp}) \cdot T_{sub}} \\
 B_{sistem} &= \frac{2(1-\alpha_{cp}) + N-1}{(1-\alpha_{cp}) \cdot T_{sub}} \\
 B_{sistem} &= \frac{2(1-\alpha_{cp}) + N-1}{(1-\alpha_{cp}) \cdot \frac{R_{tot}}{N \cdot \log_2 M}} \\
 B_{sistem} &= \frac{R_{tot} [2(1-\alpha_{cp}) + N-1]}{(1-\alpha_{cp}) \cdot N \cdot \log_2 M}
 \end{aligned} \tag{2.5}$$

dengan :

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

T_s = durasi simbol OFDMA (s)

T_{sub} = durasi simbol masing-masing *subcarrier* (s)

T_{cp} = durasi *cyclic prefix* (s)

R_{tot} = laju bit total yang tersedia (bps)

M = jumlah kemungkinan sinyal

N = jumlah *subcarrier*

α_{cp} = faktor *cyclic prefix*

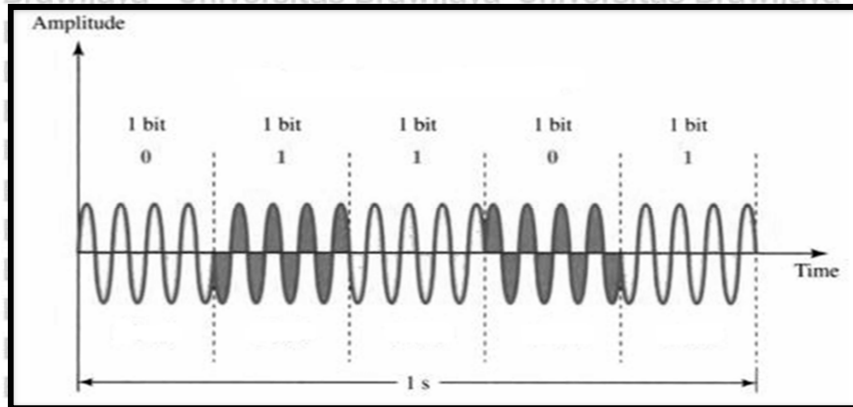
2.2.2.8.4 Modulator dan Demodulator Baseband

Modulator bertugas mengkodekan informasi dari sebuah pesan menjadi simbol yang cocok untuk pengiriman. Karena pada sistem ini 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 *Phase Shift Keying* (PSK) dan *Quadrature Amplitude Modulation* (QAM).

a) *Phase Shift Keying*

Pada *Phase Shift Keying* (PSK), *phase* sinyal *carrier* divariasikan untuk merepresentasikan biner 1 dan 0. Amplitudo dan frekuensi sinyal *carrier*-nya konstan, sedangkan perubahan *phase* sinyal *carrier*-nya berubah sesuai dengan perubahan amplitudo sinyal informasinya. Misalnya, jika dimulai dengan *phase* 0° untuk

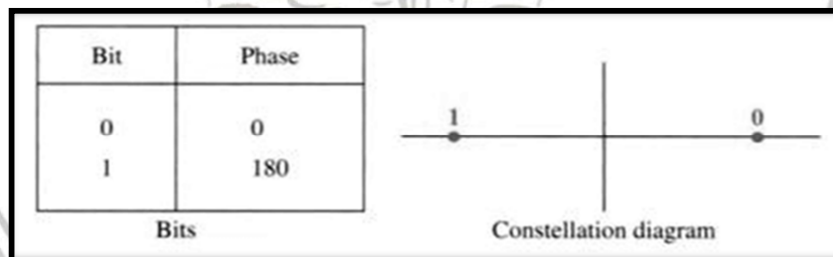
merepresentasikan biner 0, kemudian berubah menjadi *phase* 180° yang merepresentasikan biner 1. Gambar 2.16 memperlihatkan konsep dari sinyal BPSK.



Gambar 2.16 Sinyal pada *Binary Phase Shift Keying* (BPSK).

(Sumber : Behrouz A. Forouzan, 2000)

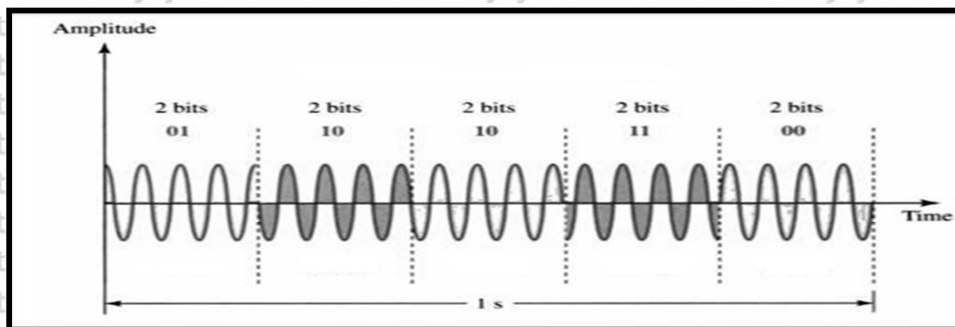
Gambar 2.16 biasa disebut juga dengan 2-PSK atau *Binary PSK* (BPSK) karena terdapat dua perbedaan *phase* yang digunakan (0° dan 180°). Sedangkan pada Gambar 2.17 menjelaskan hubungan antara *phase* menjadi bit pada BPSK. Gambar 2.17 juga disebut dengan *constellation* atau *phase state diagram* yang menunjukkan hubungan yang sama dengan mengilustrasikan *phase*-nya. [Behrouz A. Forouzan, 2000]



Gambar 2.17 *Binary Phase Shift Keying* (BPSK) *constellation*.

(Sumber : Behrouz A. Forouzan, 2000)

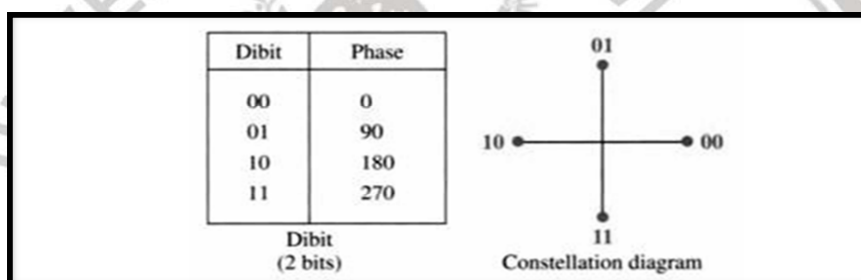
Selain BPSK, dikenal pula teknik 4-PSK atau *Quadrature Phase Shift Keying* (QPSK). QPSK dapat mentransmisikan data dua kali lebih cepat dibandingkan dengan BPSK. Hal ini dikarenakan terdapat dua bit dalam tiap simbolnya. Misalnya, *phase* 0° merepresentasikan bit 00, *phase* 90° merepresentasikan bit 01, *phase* 180° merepresentasikan bit 10, dan *phase* 270° merepresentasikan bit 11. Pasangan bit-bit yang merepresentasikan masing-masing *phase* disebut juga dengan *dibit*. Gambar 2.18 memperlihatkan konsep dari sinyal QPSK.



Gambar 2.18 Sinyal pada *Quadrature Phase Shift Keying* (QPSK).

(Sumber : Behrouz A. Forouzan, 2000)

Sedangkan pada Gambar 2.19 di bawah menjelaskan hubungan antara *phase* dengan bit pada QPSK. Gambar 2.19 juga disebut dengan *constellation* atau *phase state diagram* yang menunjukkan hubungan yang sama dengan mengilustrasikan *phase*-nya. [Behrouz A. Forouzan, 2000]



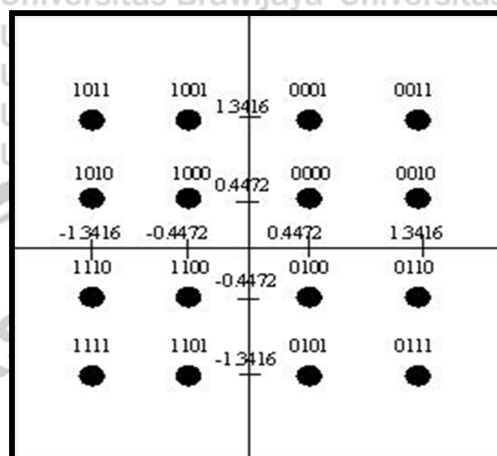
Gambar 2.19 *Quadrature Phase Shift Keying* (QPSK) *constellation*.

(Sumber : Behrouz A. Forouzan, 2000)

b) Quadrature Amplitude Modulation (QAM)

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

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



Gambar 2.20 16-QAM *constellation*.

(Sumber : Behrouz A. Forouzan, 2000)

Gambar 2.20 menjelaskan hubungan antara amplitudo dan *phase* dengan bit pada 16-QAM. Gambar 2.20 juga disebut dengan *constellation* yang menunjukkan hubungan yang sama dengan mengilustrasikan amplitudo dan *phase*-nya. [Behrouz A. Forouzan, 2000]

2.2.2.9 Propagasi *Outdoor* dan *Indoor*

Pada saat pentransmisian, gelombang radio merambat melalui media udara dan mengalami berbagai proses pemantulan, difraksi, refraksi dan *scattering*. Hal ini disebabkan karena gelombang radio melewati daerah yang memiliki kontur permukaan tidak rata. Kontur daerah yang akan dilewati gelombang radio akan sangat mempengaruhi perhitungan rugi-rugi propagasi. Area untuk propagasi gelombang radio dibagi menjadi dua jenis, yaitu propagasi *outdoor* dan propagasi *indoor*.

2.2.2.9.1 Propagasi *Outdoor*

Cakupan area untuk propagasi *outdoor* sangat luas dan memiliki tingkat interferensi yang sangat tinggi. Hal ini disebabkan karena propagasi gelombang pada ruang terbuka akan melewati

penghalang yang lebih banyak, seperti gedung, rumah, pepohonan, gunung, bukit dan sebagainya, serta terpengaruh oleh cuaca. Klasifikasi lingkungan suatu lintasan gelombang radio berdasarkan halangan dan tingkat kepadatan halangan dibagi menjadi tiga jenis, yaitu:

a. Daerah urban

Ciri-ciri daerah urban diantaranya yaitu:

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

b. Daerah sub – urban

Ciri-ciri daerah sub – urban antara lain yaitu:

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

c. Daerah rural

Ciri-ciri daerah rural antara lain yaitu:

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

2.2.2.9.2 Propagasi Indoor

Propagasi dalam ruangan (*indoor*) memiliki mekanisme yang sama seperti pada propagasi *outdoor*, yaitu pantulan, difraksi, dan hamburan, tetapi kondisinya bervariasi. Yang

membedakan model propagasi *indoor* dengan model propagasi komunikasi bergerak biasa yaitu cakupan daerahnya dan variasi lingkungan yang lebih besar seiring dengan makin kecilnya jarak antara *transmitter* dan *receiver*. Propagasi *indoor* sangat dipengaruhi oleh hal-hal spesifik pada bangunan, seperti konstruksi material dan tipe bangunan. Model propagasi yang digunakan untuk menghitung rugi-rugi propagasi *indoor* antara lain yaitu:

a. Rugi-rugi propagasi dalam satu lantai

Faktor yang mempengaruhi rugi-rugi propagasi dalam satu lantai adalah partisi dari lantai tersebut, yang dibedakan atas *hard partition* (sekat permanen) dan *soft partition* (sekat yang dapat dipindah-pindah).

b. Rugi-rugi antar-lantai

Faktor yang mempengaruhi rugi-rugi propagasi antar-lantai adalah dimensi, jenis material lantai dan keadaan sekeliling dari suatu gedung.

2.3 Performansi VoIP melalui *Mobile WiMAX IEEE 802.16 rev. E*

Menurut ITU-T E. 800, QoS adalah : “Sekumpulan efek performansi yang menentukan derajat kepuasan pengguna terhadap *service* yang diperlukan oleh jaringan”. Sedangkan dari sudut pandang jaringan telekomunikasi QoS adalah : “kemampuan suatu jaringan untuk menyediakan layanan yang lebih baik pada trafik data tertentu pada berbagai jenis platform teknologi” [Onno W. Purbo, 2001].

2.3.1 Perhitungan *Bandwidth*

Bandwidth adalah kecepatan maksimum yang dapat digunakan untuk melakukan transmisi data antar komputer pada jaringan IP dan internet. Dalam VoIP, *bandwidth* merupakan suatu hal yang harus diperhitungkan agar mendapatkan kualitas suara yang baik [Winarno, 2007].

Bandwidth yang diperlukan saat berkomunikasi suara tergantung pada *codec* yang digunakan. Untuk menghitung *bandwidth* yang dibutuhkan, maka sangat penting untuk mengetahui model susunan protokol IP. Untuk VoIP, protokol yang terkait diantaranya : RTP, UDP, IP. Besarnya paket tersebut ditunjukkan oleh gambar 2.1.

Untuk mencari nilai *payload* maka digunakan persamaan:

$$P_{LA} = B_{\text{codec}} \times \text{frame rate} \quad (2.6)$$

setelah diketahui besar *payload* paket data pada audio, maka banyaknya bit yang terisi dalam paket VoIP dapat dihitung dengan persamaan :

$$P_{A-size} = \text{header}_{\text{UDP/RTP/IP}} + P_{LA} \quad (2.7)$$

Sedangkan jumlah paket audio yang dihasilkan tiap detik dihitung dengan persamaan:

$$P_A = \frac{B_{\text{codec}}}{P_{LA}} \quad (2.8)$$

Sehingga *bandwidth* audio dapat dihitung dengan persamaan :

$$B_A = P_{A-size} \times P_A \quad (2.9)$$

Karena satu kanal *voice* pada VoIP digunakan untuk dua arah transmisi (pada satu pembicaraan telepon ada dua arah transmisi), maka *bandwidth* satu kanal *voice* adalah *bandwidth* pada masing-masing arah transmisi. Pemakaian *bandwidth* yang kecil merupakan salah satu kunci sukses penerapan VoIP.

2.3.2 Perhitungan Path Loss

Gelombang elektromagnetik yang dipancarkan dari suatu pemancar ke penerima akan merambat melewati berbagai halangan sehingga terjadi rugi-rugi yang disebabkan oleh berbagai redaman. Untuk menganalisis besarnya pengaruh redaman sinyal terhadap kondisi tersebut maka digunakan sebuah model propagasi *outdoor* pada standard IEEE.802.16 rev E dengan mencari besarnya rugi-rugi saluran di lintasan propagasi.

Path loss mencakup semua pelemahan yang diperkirakan akan dialami sinyal ketika berjalan dari *base station* ke *subscriber station*. *Path loss* yang terjadi pada sinyal yang diterima dapat ditentukan melalui suatu model propagasi tertentu. Dengan daya penerima minimum yang disesuaikan dengan Peraturan Dirjen Pos dan Telekomunikasi maka *path loss* referensi dapat dihitung dengan persamaan [V. Erceg, 2001]:

$$P_L = P_t + G_t + G_r - P_r \quad (2.10)$$

Dengan :

P_L = *Path loss*/rugi-rugi propagasi (dB)

P_t = daya pancar (dBm)

G_t = gain antenna pemancar (dBi)

G_r = gain antenna penerima (dBi)

P_r = daya terima (dBm)

Tabel 2.2 Daya penerima minimum pada *bandwidth* kanal 5 MHz

Jenis Modulasi	Batas Daya Terima Minimum
QPSK-1/2	-88 dBm
QPSK-3/4	-86 dBm
16QAM-1/2	-81 dBm
64QAM-3/4	-79 dBm
16QAM-1/2	-74 dBm
64QAM-3/4	-73 dBm

(Sumber : Peraturan Dirjen Pos dan Telekomunikasi, 2008)

2.3.3 Perhitungan SNR

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] :

$$SNR_{(dB)} = P_r (dBm) - N_o (dBm) \quad (2.11)$$

dengan :

SNR = *signal to noise ratio* (dB)

P_r = daya yang diterima (dBm)

N_o = daya *noise* saluran transmisi (dBm)

Pada analisis performansi VoIP melalui *mobile* WiMAX ini, daya yang diterima disesuaikan dengan daya terima minimum sesuai dengan Peraturan Dirjen Pos dan Telekomunikasi, 2008.

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

$$N_{o(dBm)} = 10 \log k \cdot T + 10 \log B_{\text{system}} + NF \quad (2.12)$$

dengan :

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* (11,2 dB)

B_{sistem} = bandwidth sistem (Hz)

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

$$SNR_{sistem} = (1 - \alpha_{CP}) SNR \quad (2.13)$$

dengan :

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

SNR = signal to noise ratio (dB)

α_{CP} = faktor *cyclic prefix* (1/32)

2.3.4 Perhitungan kapasitas kanal

Dalam teorema Shannon, besarnya kapasitas kanal diperoleh dari persamaan berikut [Wilson, 1996] :

$$C = B_{kanal} \cdot \log_2 (1 + SNR_{sistem}) \quad (2.14)$$

dengan :

C = kapasitas kanal sistem (bps)

B_{kanal} = bandwidth kanal (Hz)

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

2.3.5 Perhitungan jarak jangkauan

Pada propagasi gelombang radio, semakin jauh jarak antara *base station* dan *subscriber station* akan mengakibatkan daya sinyal yang diterima oleh penerima semakin kecil. Hal ini disebabkan adanya redaman saat pentransmisian sinyal dari *base station* ke *subscriber station* maupun sebaliknya, baik pada kondisi *line of sight* (LOS) maupun *non-line of sight* (NLOS).

WiMAX 802.16e bekerja pada kondisi NLOS, maka jarak jangkauan antara *base station* dan *mobile station* dapat ditentukan dengan persamaan [Kwang-Cheng Chen, 2008] :

$$PL = A + 10\gamma \log_{10} \left(\frac{d}{d_o} \right) + s + \Delta PL_f + \Delta PL_n \quad (2.15)$$

dengan :

PL = rugi-rugi propagasi (dB)

A = *pathloss* referensi (dB)

γ = eksponen *pathloss*

d = jarak *base station* ke *subscriber station* (m)

d_0 = jarak referensi *pathloss* (100 m)

s = efek *shadow* (dB)

ΔPL_f = faktor koreksi terhadap frekuensi kerja yang digunakan

ΔPL_h = faktor koreksi terhadap tinggi antena penerima

dengan *pathloss* referensi (A) dirumuskan sebagai berikut :

$$A = 20 \log_{10} \left(\frac{4\pi \cdot f \cdot d}{c} \right) \tag{2.16}$$

dengan :

A = *pathloss* referensi (dB)

f = frekuensi operasi (Hz)

d = jarak *base station* ke *subscriber station* (m)

c = kecepatan gelombang radio di udara (m/s)

dengan eksponen *pathloss* (γ) dirumuskan sebagai berikut :

$$\gamma = a - b \cdot h_b + \frac{c}{h_b} \tag{2.17}$$

dengan :

γ = eksponen *pathloss*

a, b, c = konstanta yang tergantung pada tipe *terrain*

h_b = tinggi antena *base station* (m)

Besarnya nilai a, b, c dan s adalah konstanta berdasarkan daerah yang akan dilayani, yaitu berdasarkan tipe daerah/ bangunan yang ada di daerah tersebut. Adapun nilai a, b, c dan s dapat dilihat dalam Tabel 2.3.

Tabel 2.3 Model parameter 802.16 rev. E untuk tipe *Terrain* yang Berbeda

Parameter	Tipe	Tipe	Tipe
	Urban	Suburban	Rural
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)



Untuk faktor koreksi frekuensi pada *mobile* WiMAX dinyatakan dalam persamaan berikut :

$$\Delta PL_f = 61 \log_{10} \left(\frac{f}{2 \times 10^9} \right) \quad (2.18)$$

dengan :

f = frekuensi operasi sistem (Hz)

Sedangkan untuk faktor koreksi tinggi antenna *subscriber station* pada *mobile* WiMAX dinyatakan dalam persamaan berikut :

$$\Delta PL_h = -10,8 \log_{10} \left(\frac{h}{2} \right), \text{ untuk tipe } terrain \text{ a dan b} \quad (2.19)$$

$$\Delta PL_h = -20 \log_{10} \left(\frac{h}{2} \right), \text{ untuk tipe } terrain \text{ c} \quad (2.20)$$

dengan :

h = tinggi antenna penerima (m)

2.3.6 Perhitungan *delay end to end* dan *throughput*

2.3.6.1 Perhitungan *delay end to end*

Pada aplikasi VoIP yang bersifat *full duplex*, maka *delay* dihitung dari penerima ke sumber sampai ke penerima lain. *Delay* keseluruhan dalam jaringan yang menerapkan komunikasi suara tidak boleh melebihi 150 ms. *Delay* adalah waktu yang dibutuhkan untuk mengirimkan paket data dari sumber sampai ke tujuan. *Delay end-to-end* pada jaringan IP merupakan penjumlahan *delay-delay* yang ada dalam perjalanan paket dari sumber ke tujuan [Wallace, 2009].

Delay end-to-end dapat dituliskan sebagai berikut:

$$\diamond t_{end\ to\ end} = t_{codec} + t_{MAN} \quad (2.21)$$

Dengan :

$$\diamond t_{end\ to\ end} = Delay\ end\ to\ end\ (ms)$$

$$\diamond t_{codec} = Delay\ codec\ (ms)$$

$$\diamond t_{MAN} = Delay\ MAN\ (ms)$$

❖ *Delay codec*

Delay ini terjadi pada sisi encoder terdiri dari waktu untuk mengakumulasi pencuplikan suara ke dalam *frame* suara, waktu untuk mengkompresi paket suara, waktu untuk memuat *frame* suara ke dalam paket dan mentransfer paket tersebut ke jaringan *transport* dan *delay* hardware yang bersifat tetap. Atau waktu yang dibutuhkan untuk mengkompresi satu blok sample PCM.

Delay CODEC pada aplikasi VoIP dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

$$t_{\text{CODEC}}(ms) = t_{\text{encoding}}(ms) + t_{\text{decoding}}(ms) \quad (2.22)$$

Dengan :

$$t_{\text{CODEC}}(ms) = \text{Delay CODEC aplikasi VoIP}(ms)$$

❖ *Delay pada MAN*

Merupakan besarnya *delay* yang diperlukan untuk mengirimkan data dari sisi *subscriber* sumber ke *subscriber* lain pada jaringan *mobile* WiMAX. *Delay* MAN dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

$$t_{\text{MAN}} = t_{\text{proses}} + t_{\text{prop}} + t_{\text{trans}} + t_w \quad (2.23)$$

Dengan:

$$\begin{aligned} \blacksquare t_{\text{MAN}} &= \text{Delay total pada MAN}(ms) \\ \blacksquare t_{\text{proses}} &= \text{Delay proses}(ms) \\ \blacksquare t_{\text{prop}} &= \text{Delay propagasi}(ms) \\ \blacksquare t_{\text{trans}} &= \text{Delay transmisi}(ms) \\ \blacksquare t_w &= \text{Delay antrian}(ms) \end{aligned}$$

❖ *Delay proses*

Delay proses adalah waktu yang dibutuhkan untuk memproses paket data dan untuk menentukan ke mana data tersebut akan diteruskan. *Delay* proses berupa *delay* enkapsulasi dan *delay* dekapulasi.

$$W_{\text{message}} = W_{\text{data}} + \text{Header}_{\text{RTP}}$$

$$W_{\text{segmen}} = W_{\text{message}} + \text{Header}_{\text{UDP}} \quad (2.24)$$

Dengan :

W_{segmen} = panjang segmen pada layer 4 (*byte*)

$Header_{\text{RTP}}$ = panjang *header* RTP (12 *byte*)

$Header_{\text{UDP}}$ = panjang *header* UDP (8 *byte*)

Dari *layer* 4 atau *layer transport*, segmen kemudian dikirim ke *layer* 3 atau *layer network* untuk dienkapsulasi menjadi datagram IP. Apabila panjang segmen pada *layer* di atasnya melebihi MTU IP yaitu 1500 *byte*, maka segmen perlu untuk difragmentasi sebelum dienkapsulasi. Kemudian datagram IP dienkapsulasi dengan *header* IP, sehingga panjang datagram IP sebagai berikut.

$$W_{\text{datagram}} = W_{\text{segmen}} + Header_{\text{IP}} \quad (2.25)$$

Dengan :

W_{segmen} = panjang segmen TCP (*byte*)

W_{datagram} = panjang datagram IP (*byte*)

$Header_{\text{IP}}$ = panjang *header* IP (20 *byte*)

Kemudian datagram IP dienkapsulasi dengan *header* pada *layer* 2 pada skripsi ini menggunakan Ethernet sebagai *layer* pada *datalink*.

$$W_{\text{frame}} = W_{\text{datagram}} + Header_{\text{ethernet}} \quad (2.26)$$

Dengan:

W_{frame} = panjang frame Ethernet (*byte*)

W_{datagram} = panjang datagram IP (*byte*)

$Header_{\text{ethernet}}$ = panjang *header* Ethernet (14 *byte*)

Dari *Ethernet*, *frame Ethernet* dikirimkan ke *layer* MAC WiMAX dan mengalami penambahan *header* MAC. Maka W_{frame} total dapat dicari dengan persamaan :

$$W_{\text{frame total}} = W_{\text{frame}} + Header_{\text{MAC}}$$

Dengan :

$Header_{\text{MAC}}$ = panjang *header* pada MAC (6 *byte*)

Sedangkan *delay* enkapsulasi adalah:

$$t_{\text{enc}} = \frac{W_{\text{frame total}}}{c} \times 8 \quad (2.27)$$

Dengan :

$$t_{enc} = \text{delay enkapsulasi (ms)}$$

$W_{frame\ total}$ = panjang frame (byte)

C = kecepatan transmisi kanal (bps)

Sedangkan *delay* dekapsulasi dirumuskan :

$$t_{dec} = \frac{W_{frame\ total}}{C} \times 8 \tag{2.28}$$

Dengan :

$$t_{dec} = \text{delay dekapsulasi (ms)}$$

$W_{frame\ total}$ = panjang frame Ethernet (byte)

C = kecepatan transmisi kanal (bps)

Sehingga *delay* proses dapat dituliskan sebagai berikut

$$t_{proc} = t_{enc} + t_{dec} \tag{2.29}$$

Dengan :

$$t_{proc} = \text{delay proses (ms)}$$

$$t_{enc} = \text{delay enkapsulasi (ms)}$$

$$t_{dec} = \text{delay dekapsulasi (ms)}$$

❖ *Delay* propagasi

Delay propagasi adalah jumlah waktu yang dibutuhkan oleh gelombang radio untuk berpropagasi pada media transmisi. *Delay* propagasi gelombang radio dapat ditulis dengan persamaan :

$$t_{prop} = \frac{d_{MAX}}{v} \tag{2.30}$$

Dengan :

$$t_{prop} = \text{delay propagasi (ms)}$$

d_{MAX} = jarak jangkauan *base station* dan *subscriber station* (m)

v = kecepatan sinyal pada media wireless (m/s)



❖ *Delay transmisi*

Delay transmisi adalah waktu yang dibutuhkan untuk meletakkan semua data pada media transmisi, dipengaruhi oleh ukuran paket dan kapasitas media transmisi.

Delay transmisi dirumuskan pada persamaan:

$$t_{trans} = \frac{W_{frame\ total}}{C} \times 8 \quad (2.31)$$

Dengan :

t_{trans} = *delay transmisi (ms)*

$W_{frame\ total}$ = panjang total frame yang dikirimkan (*byte*)

C = kecepatan transmisi kanal (*bps*)

❖ *Delay antrian*

Delay antrian adalah waktu yang dibutuhkan data selama berada dalam antrian untuk ditransmisikan. *Delay* ini disebabkan oleh waktu proses yang diperlukan oleh router di dalam menangani paket di sepanjang jaringan. Pada analisis aplikasi VoIP melalui *mobile WiMAX*, model antrian yang digunakan adalah M/G/1 dengan disiplin antrian FIFO. Model antrian M/G/1 dapat ditulis dengan persamaan:

$$\begin{aligned} \mu &= \frac{C}{W_{frame\ total}} \\ \lambda_w &= \mu \times \rho \\ t_w &= \frac{1}{\mu} + \frac{\lambda_w}{\mu^2(1-\rho)} \end{aligned} \quad (2.32)$$

Dengan :

t_w = *delay antrian (ms)*

X = waktu rata-rata pelayanan (*ms*)

C = kapasitas kanal (*bps*)

λ_w = kecepatan kedatangan (paket/detik)

μ = kecepatan pelayanan (paket/detik)

ρ = factor utilitas sistem nirkabel

2.3.6.2 energy bit to noise ($\frac{E_b}{N_0}$)

Nilai *energy bit to noise* ($\frac{E_b}{N_0}$) digunakan untuk menilai kualitas sinyal yang dikirim oleh pemancar. Nilai *noise* telah dihitung dalam perhitungan sebelumnya, maka *energy bit to noise* ($\frac{E_b}{N_0}$) untuk QPSK-1/2 dapat dihitung dengan persamaan dan diperoleh :

$$\left(\frac{E_b}{N_0}\right) = (P_t)_{dBm} + (G_t)_{dBi} - (P_L)_{dB} - (N_0)_{dBm} + (R)_{dB} \quad (2.33)$$

Dengan :

P_L = Path loss/rugi-rugi propagasi (dB)

P_t = daya pancar (dBm)

G_t = gain antenna pemancar (dBi)

R = laju data (dB)

N_0 = daya *noise* saluran transmisi (dBm)

2.3.6.3 Probabilitas packet loss

Analisis probabilitas *packet loss* ini merupakan analisis probabilitas bit salah (*error bit probability*) P_{be} pada penerima besarnya dipengaruhi oleh perbandingan *energy bit* terhadap *noise* ($\frac{E_b}{N_0}$). Analisis dilakukan pada 5 tipe modulasi *mobile WiMAX rev E* meliputi QPSK $\frac{3}{4}$, 16 QAM $\frac{1}{2}$, 16 QAM $\frac{3}{4}$, 64 QAM $\frac{1}{2}$, dan 64 QAM $\frac{3}{4}$ yang diimplementasikan pada layanan NLOS.

Probabilitas *packet loss* aplikasi VoIP dengan menggunakan persamaan dan *header*_{UDP/RTP/IP} yaitu :

$$Q(x) = \frac{1}{2} \operatorname{erfc} \left(\frac{x}{\sqrt{2}} \right) \quad (2.34)$$

$$\rho_{UDP/RTP/IP} = P_{size} x \rho_b \quad (2.35)$$

Untuk melakukan perhitungan Probabilitas bit salah pada teknik modulasi QPSK-1/2 diperlukan parameter ($\frac{E_b}{N_0}$). Maka kemungkinan kesalahan bit yang terjadi adalah [Rappaport, 2002] :

$$P_{be} = Q \left(\sqrt{2 \frac{E_b}{N_0}} \right) \quad (2.36)$$

Pada teknik modulasi 16 QAM, kemungkinan kesalahan bit yang terjadi dapat dihitung sesuai dengan persamaan adalah [Rappaport, 2002] :

$$P_{be} = \frac{4}{K} \left(1 - \frac{1}{\sqrt{M}}\right) Q \left(\sqrt{\frac{3K E_b}{M-1 N_0}} \right) \quad (2.37)$$

Probabilitas *packet loss* total merupakan banyaknya probabilitas paket yang diterima dalam keadaan salah di penerima. Probabilitas *packet loss* total aplikasi VoIP pada suatu jaringan ditentukan berdasarkan pada probabilitas *packet loss* pada jaringan tersebut serta probabilitas *packet loss* aplikasi VoIP yang berbasis protokol UDP/RTP/IP ditunjukkan pada persamaan [Pritchard, et.al.1993]

Maka probabilitas *packet loss* total pada berbagai tipe modulasi dapat dihitung dengan persamaan [Pritchard, 1993] :

$$\rho_{total} = 1 - [(1 - \rho_{network})(1 - \rho_{UDP/RTP/IP})] \quad (2.38)$$

2.3.6.4 Throughput

Throughput merupakan salah satu parameter yang menunjukkan kinerja dari suatu komunikasi data, yaitu menunjukkan jumlah data yang diterima dengan benar pada penerima setelah melewati media transmisi pada data *link layer* dari *client to client*. *Throughput* ditentukan dengan persamaan [Schwartz, Mischa. 1987] :

$$\lambda = \frac{(1-\rho)}{t_{trans}[1+(\alpha-1)\rho]} \quad (2.39)$$

Dimana :

$$t_{out} = 2t_{prop} + 2t_{trans}$$

$$\alpha = \left(1 + \frac{2t_{prop}+2t_{trans}}{t_{trans}}\right) \quad (2.40)$$

Keterangan :

λ = *Throughput* (paket/s)

ρ = probabilitas paket loss yang diterima

α = konstanta propagasi

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Kajian yang digunakan dalam skripsi ini adalah kajian yang bersifat analisis, yaitu analisis terhadap performansi *Voice over Internet Protocol (VoIP)* melalui *mobile WiMAX*, yang mengacu pada studi literatur. Tujuan yang ingin dicapai dalam penulisan skripsi ini, yaitu mengetahui pengaruh tipe modulasi pada VoIP melalui *mobile WiMAX*. Analisis performansi ini dilakukan dengan memperhitungkan beberapa parameter, seperti analisis perhitungan kebutuhan *bandwidth* dalam VoIP, *path loss*, perhitungan *signal to noise ratio (SNR)*, perhitungan kapasitas kanal, perhitungan jarak jangkauan antara *base station* dan *subscriber station*, perhitungan *delay end to end* serta perhitungan *throughput* pada *mobile WiMAX*. Adapun metodologi yang digunakan pada skripsi ini meliputi :

1. Studi Literatur
2. Pengambilan Data
3. Perhitungan dan Analisis Data
4. Pengambilan Kesimpulan

3.1 Studi Literatur

Studi literatur dilakukan untuk mempelajari dan memahami konsep yang terkait dengan performansi VoIP melalui *mobile WiMAX*. Studi literatur yang dilakukan adalah mengenai karakteristik, parameter, serta teori pengantar lain yang menunjang dalam penulisan skripsi ini.

3.2 Pengambilan data

Pengambilan data dilakukan untuk memperoleh data-data yang diperlukan dalam menyelesaikan skripsi ini. Data-data yang diperlukan pada skripsi ini berupa data sekunder yang bersumber dari buku referensi, jurnal, skripsi, internet, dan forum-forum resmi. Adapun data sekunder yang digunakan dalam pembahasan skripsi ini berdasarkan data mengenai *Voice over Internet Protocol (VoIP)* dan *mobile WiMAX*.

Pada VoIP digunakan data-data yang menunjang perhitungan meliputi *audio codec* yang digunakan dan format paket VoIP. Sedangkan pada *mobile WiMAX* dibutuhkan data-data yang menunjang antara lain frekuensi kerja, *bandwidth* kanal, tipe modulasi, jumlah *subcarrier*, batas

daya penerima minimum, konfigurasi jaringan, durasi *cyclic prefix*, teknik pentransmisi serta klasifikasi yang digunakan dalam analisis performansi VoIP melalui *mobile WiMAX*.

3.2.1 Spesifikasi VoIP

Dalam analisis performansi VoIP melalui *mobile WiMAX*, digunakan beberapa spesifikasi dari aplikasi VoIP, antara lain :

- *Audio codec* yang digunakan adalah G.711 dengan *bit rate* 64 Kbps, dan *frame rate* 20 ms.
- Format paket VoIP dengan penambahan *header* RTP, UDP dan IP.

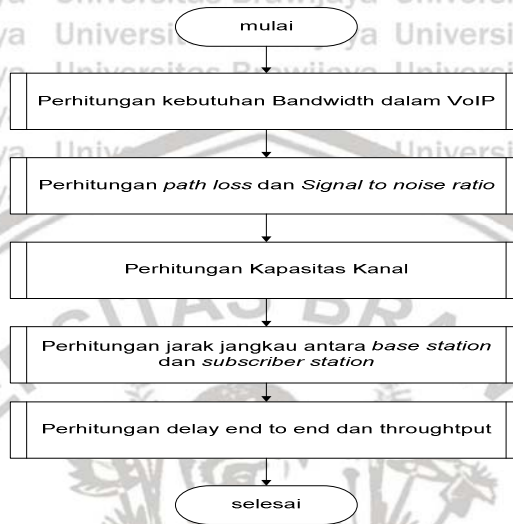
3.2.2 Spesifikasi *mobile WiMAX*

Dalam analisis performansi VoIP melalui *mobile WiMAX*, digunakan beberapa spesifikasi dari *mobile WiMAX* yang telah disesuaikan dengan rekomendasi yang dikeluarkan secara internasional yaitu IEEE dengan spesifikasi 802.16 rev E, antara lain :

- Frekuensi kerja yang digunakan adalah 2,3 GHz
- *Bandwidth* kanal adalah 5 MHz
- Tipe modulasi yang digunakan pada *mobile WiMAX* antara lain, QPSK, 16-QAM, dan 64-QAM.
- Jumlah *subcarrier* yang digunakan adalah 512
- Batas daya terima minimum yang disesuaikan dengan standar DirjenPosTel tahun 2008.
- Konfigurasi yang digunakan dibatasi oleh 2 *client* atau terdapat 2 *laptop*.
- Analisis pada 1 *coverage* layanan *base station*.
- Durasi *cyclic prefix* yang digunakan untuk mencegah terjadinya *Interchannel Interference* (ICI) dan *Intersymbol Interference* (ISI) adalah 1/32.
- Teknik pentransmisiannya menggunakan teknologi *Orthogonal Frequency Division Multiple Access* (OFDMA)
- Nilai parameter yang akan dianalisis meliputi perhitungan kebutuhan *bandwidth* dalam VoIP, *path loss*, perhitungan *signal to noise ratio* (SNR), perhitungan kapasitas kanal, perhitungan jarak jangkauan antara *base station* dan *subscriber station*, perhitungan *delay end to end* serta perhitungan *throughput* pada *mobile WiMAX*.
- Klasifikasi yang digunakan dalam analisis performansi ini dibatasi pada jenis daerah sub-urban.

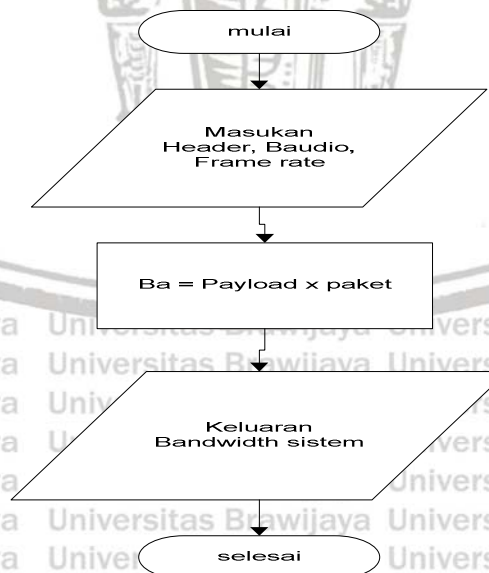
3.3 Perhitungan dan analisis data

Analisis data berupa perhitungan matematis sesuai dengan persamaan dari teori-teori yang telah diperoleh dari data di atas, kemudian dihitung sejauh mana jaringan tersebut mampu memberikan pelayanan untuk aplikasi VoIP. Analisis perhitungan yang dilakukan meliputi:



Gambar 3.1 Flowchart metode analisis perhitungan
(Sumber : Perancangan, 2011)

3.3.1 Flowchart perhitungan Bandwidth dalam VoIP



Gambar 3.2 Flowchart perhitungan bandwidth
(Sumber : Perhitungan, 2011)



Dengan :

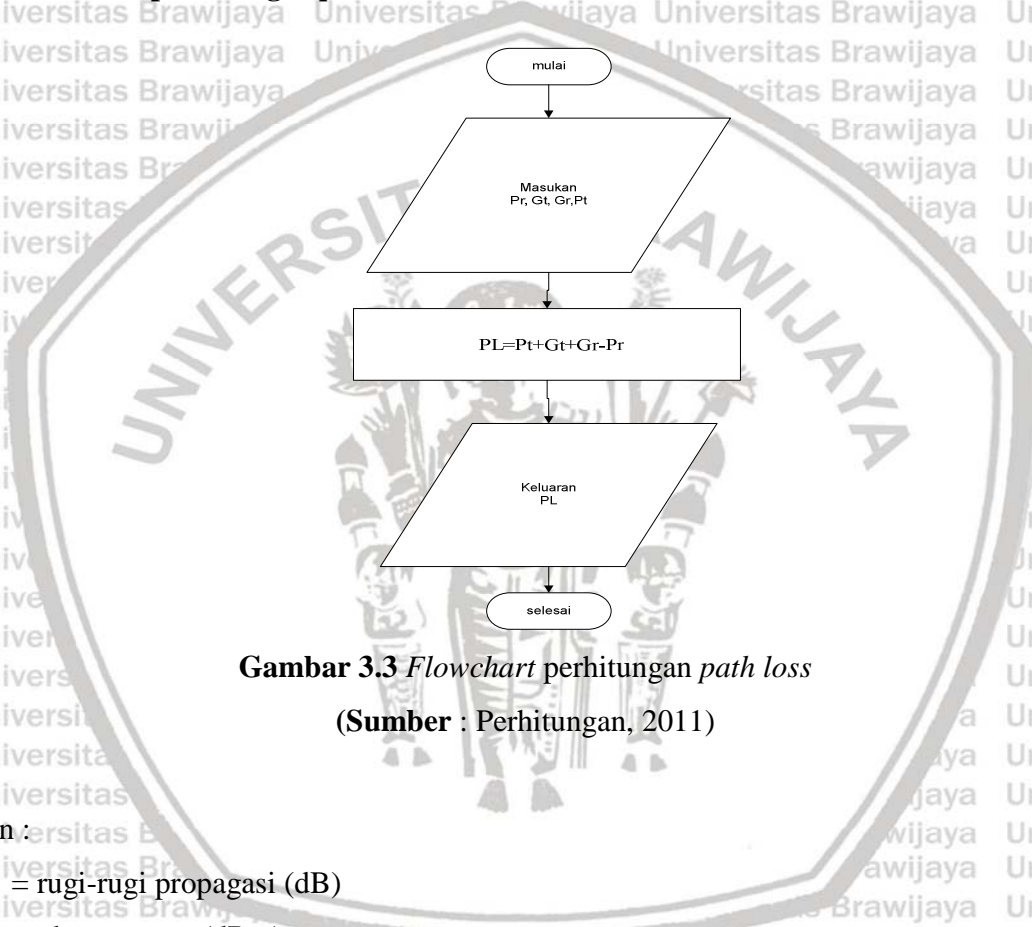
B_{sistem} = Bandwidth sistem VoIP

B_{codec} = Bandwith audio codec G. 711 ($64 \times 10^3 \text{ bps}$)

frame rate = frame rate audio codec G. 711 ($20 \times 10^{-3} \text{ s}$)

$header_{\text{UDP/RTP/IP}}$ = Header format paket VoIP

3.3.2 Flowchart perhitungan path loss



Gambar 3.3 Flowchart perhitungan path loss
(Sumber : Perhitungan, 2011)

Dengan :

P_L = rugi-rugi propagasi (dB)

P_t = daya pancar (dBm)

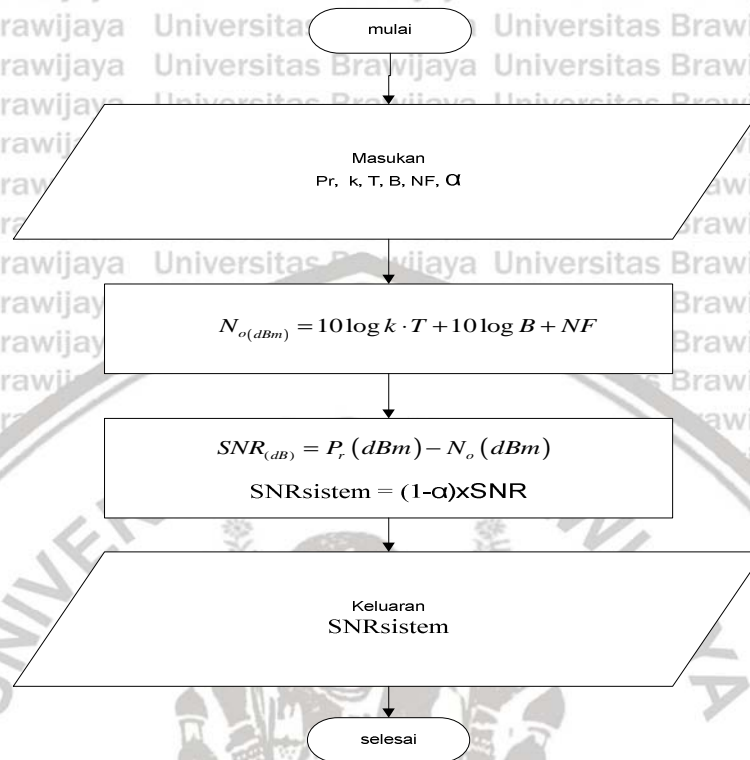
G_t = gain antenna pemancar (dBi)

G_r = gain antenna penerima (dBi)

P_r = daya yang diterima (dBm)



3.3.3 *Flowchart* perhitungan *signal to noise ratio* (SNR_{system})



Gambar 3.4 *Flowchart* *signal to noise ratio*
(Sumber : Perhitungan, 2011)

Dengan :

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

P_r = daya yang diterima (dBm)

N_o = daya *noise* saluran transmisi (dBm)

k = konstanta Boltzman

NF = *Noise figure* (dB)

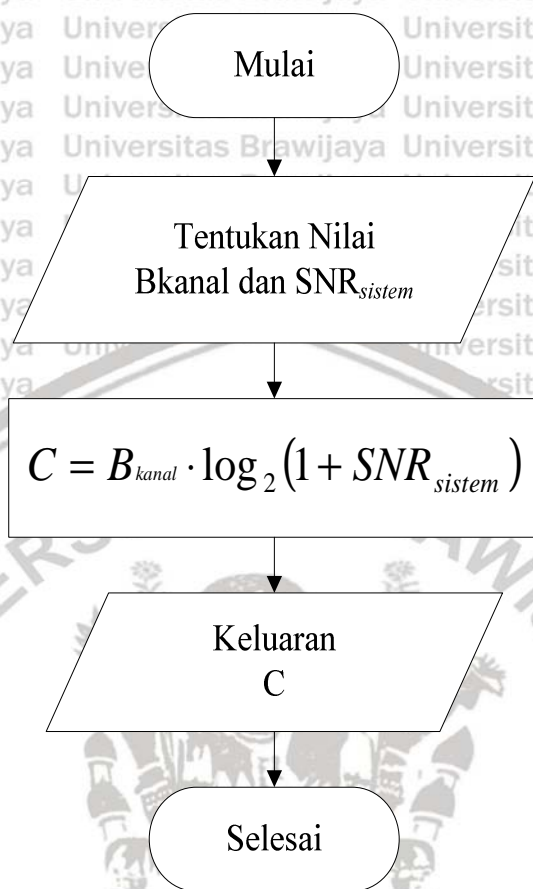
T = suhu *absolute* (K)

α = *cyclic prefix*

B = *bandwidth* sistem (MHz)



3.3.4 Flowchart Perhitungan kapasitas kanal



Gambar 3.5 Flowchart perhitungan kapasitas kanal
(Sumber : Perhitungan, 2011)

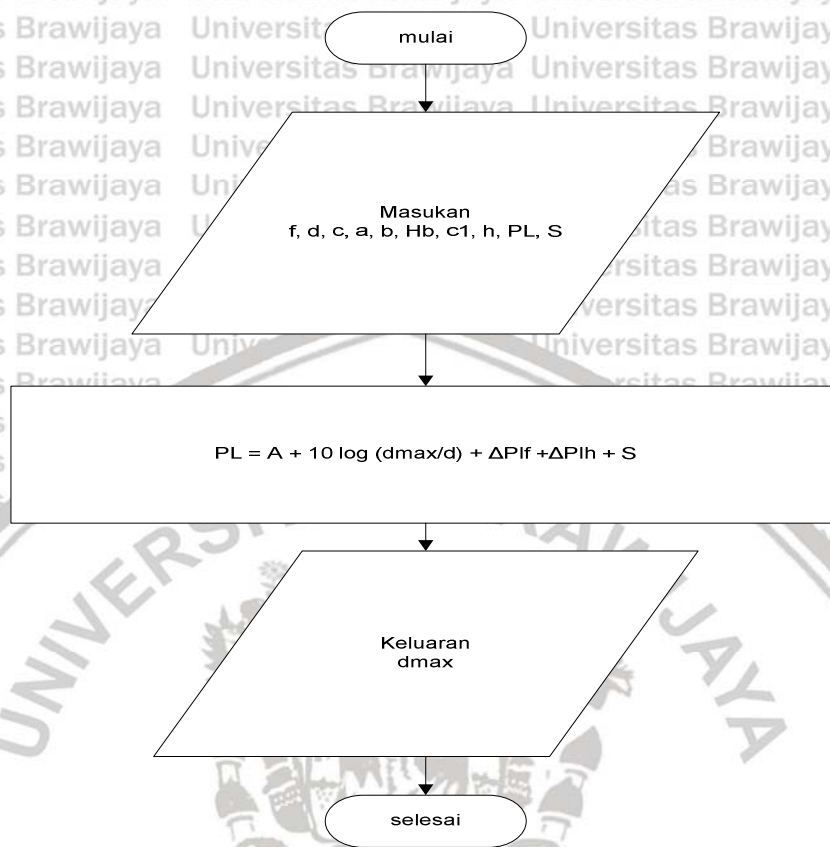
Dengan :

C = kapasitas kanal sistem (bps)

B_{kanal} = bandwidth kanal (Hz)

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

3.3.5 **Flowchart** perhitungan jarak jangkauan maksimum



Gambar 3.6 *Flowchart* perhitungan jarak maksimum
(Sumber : Perhitungan, 2011)

Dengan :

PL = rugi-rugi propagasi (dB)

d_{max} = jarak pemancar ke penerima (m)

d = jarak referensi *pathloss* (100 m)

s = efek *shadow* (dB)

ΔPL_f = faktor koreksi terhadap frekuensi kerja yang digunakan

ΔPL_h = faktor koreksi terhadap tinggi antenna penerima

f = frekuensi operasi (Hz)

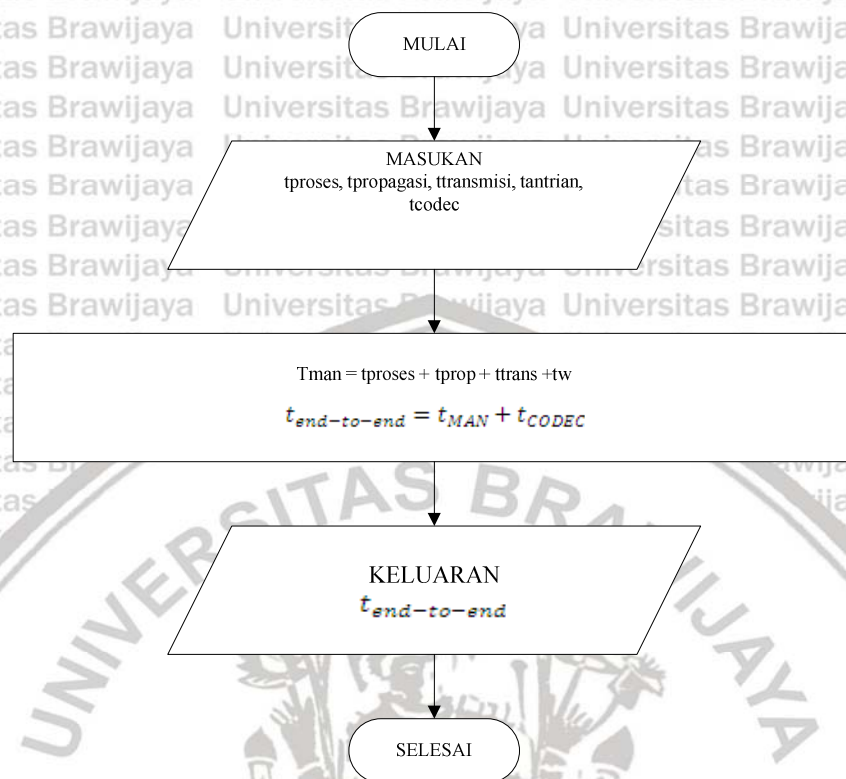
c = kecepatan gelombang radio di udara (m/s)

a, b, c = konstanta yang tergantung pada tipe *terrain*

h_b = tinggi antenna *base station* (m)

h = tinggi antenna penerima (m)

3.3.6 Flowchart Delay End to End



Gambar 3.7 Flowchart perhitungan delay end-to-end
(Sumber : Perhitungan, 2011)

Dengan :

$t_{end\ to\ end}$ = Delay end to end (ms)

t_{codec} = Delay codec (ms)

t_{MAN} = Delay MAN (ms)

t_{proses} = Delay proses (ms)

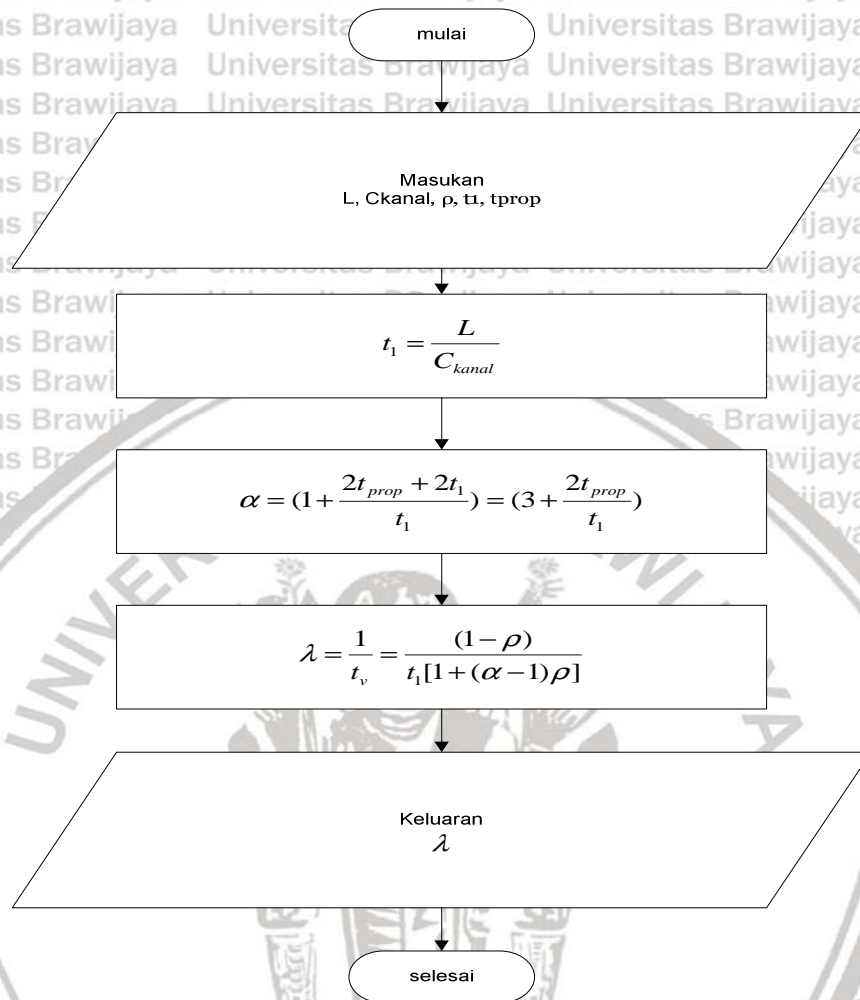
t_{prop} = Delay propagasi (ms)

t_{trans} = Delay transmisi (ms)

t_w = Delay antrian (ms)



3.3.7 Flowchart perhitungan throughput



Gambar 3.8 Flowchart perhitungan throughput
(Sumber : Perhitungan, 2011)

Dengan :

λ = Throughput (paket/s)

ρ = probabilitas paket loss yang diterima

α = kontanta propagasi

L = ukuran paket yang dikirimkan (byte)

C = Kapasitas kanal tiap tipe modulasi (Mbps)

t_1 = Delay transmisi (ms)

t_{prop} = Delay Propagasi (ms)



3.4 Metodologi pengambilan kesimpulan dan saran

Pada tahapan ini dilakukan pengambilan kesimpulan berdasarkan dari teori, hasil perhitungan serta analisis. Dan juga dilakukan pemberian saran yang dimaksudkan kepada pembaca yang akan melakukan studi tentang skripsi ini, ataupun sebagai pendukung dari penelitiannya.



BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Umum

Analisis Performansi VoIP (*Voice over Internet Protocol*) melalui *mobile WiMAX* yang dilakukan pada bab ini berdasarkan pada teori dan persamaan yang terdapat pada bab II. Performansi VoIP (*Voice over Internet Protocol*) melalui *mobile WiMAX* didapatkan melalui beberapa perhitungan meliputi kebutuhan *bandwidth* dalam aplikasi VoIP, *path loss*, *signal to noise ratio* (SNR), kapasitas kanal, jarak jangkauan antara *base station* dan *subscriber station* sehingga mendapatkan perhitungan performansi VoIP dengan parameter *delay end to end* dan *throughput* pada *mobile WiMAX*.

Data yang digunakan pada analisis performansi ini adalah :

- Pada Aplikasi VoIP digunakan *audio codec* : G.711 dengan *bit rate* 64 Kbps dan *frame rate* 20 ms.
- Spesifikasi sistem 802.16 rev E yang digunakan dalam analisis :

Tabel 4.1 Spesifikasi *mobile WiMax* 802.16 rev E

Parameter	Value
<i>Operating Frequency</i>	2300 MHz
<i>Duplex</i>	TDD
<i>Channel Bandwidth</i>	5 MHz
<i>Modulation Techniques</i>	QPSK, 16-QAM, 64-QAM
<i>BS Height</i>	32 meters
<i>Mobile Terminal Height</i>	1,5 meters
<i>BS Maximum Amplifier Power</i>	35 dBm
<i>BS Antena Gain</i>	16 dBi
<i>MS Antena Gain</i>	0 dBi

Parameter	Value
Mobile Terminal Maximum PA power	23 dBm
Operating Temperature	0°C - 40°C

(Sumber : WiMAX Forum, 2006)

4.2. Analisis perhitungan VoIP melalui Mobile WiMAX

Pada Analisis performansi VoIP melalui *mobile* WiMAX akan dihitung beberapa parameter yang akan digunakan untuk proses perhitungan parameter performansi VoIP melalui *mobile* WiMAX. Parameter-parameter perhitungan ini antara lain, meliputi perhitungan kebutuhan *bandwidth* dalam VoIP, *path loss*, *signal to noise ratio* (SNR), kapasitas kanal, serta jarak jangkau antara *base staion* dan *subscriber station*.

4.2.1 Analisis Paket Data Aplikasi VoIP

Tiap paket VoIP terdiri dari dua bagian, yaitu *header* dan *payload* (beban). *Header* terdiri dari *header* UDP, *header* RTP dan *header* IP. Aplikasi VoIP yang dikirimkan *user* akan diubah ke dalam format RTP/UDP dengan menambahkan *header* RTP 12 *byte* dan *header* UDP sebesar 8 *byte*. *Header* UDP menunjukkan identitas dari paket VoIP, yaitu *connection less* artinya tidak ada jaminan paket sampai pada tujuan, oleh karena itu UDP digunakan pada aplikasi *realtime* yang sangat peka pada jeda.

RTP berjalan diatas protokol UDP sehingga tidak menjamin paket sampai tujuan, akan tetapi RTP menggunakan RTCP (*Real Time Transport Control Protocol*) untuk melakukan pemantauan kualitas dan distribusi data. Untuk proses pemilihan jalur atau routing dilakukan pada layer IP (*Internet Protocol*) dimana data yang dikirim diberi nomor urut sesuai dengan karakteristik data yang dikirim.

Pada aplikasi VoIP bentuk paket yang dihasilkan dapat dilihat pada gambar 2.1.

Untuk analisis performansi VoIP melalui *mobile* WiMAX digunakan *audio codec* G.711 dengan *bandwidth* 64 Kbps dan *frame rate* 20 ms. Untuk mencari nilai *payload* maka digunakan persamaan 2.6 :

$$P_{LA} = B_{\text{codec}} \times \text{frame rate}$$

$$P_{LA} = 64 \times 10^3 \text{ bps} \times 20 \times 10^{-3} \text{ s} = 1280 \text{ bit}$$

Maka *Payload* VoIP = 1280 bit = 160 byte

Setelah diketahui besar *payload* paket data pada audio maka banyaknya *bit* yang terisi dalam paket VoIP dapat dihitung dengan persamaan 2.7 :

$$P_{A-size} = \text{header}_{\text{UDP/RTP/IP}} + P_{LA}$$

$$P_{A-size} = 320 \text{ bit} + 1280 \text{ bit} = 1600 \text{ bit}$$

Sedangkan jumlah paket audio yang dihasilkan tiap detik dihitung dengan persamaan 2.8 :

$$P_A = \frac{B_{\text{codec}}}{P_{LA}}$$

$$P_A = \frac{64 \times 10^3}{1280} = 50 \text{ packet per second}$$

Sehingga *bandwidth* audio dapat dihitung dengan persamaan 2.9 :

$$B_A = P_{A-size} \times P_A$$

$$B_A = 1600 \times 50$$

$$B_A = 80000 \text{ bit per second}$$

$$B_A = 80 \text{ Kbps}$$

Jadi untuk kebutuhan komunikasi dua arah dibutuhkan *double bandwidth*, artinya minimal harus menggunakan kanal 80 Kbps ke *internet backbone*. Maka untuk kebutuhan *bandwidth* untuk 1 kanal dengan transmisi *full duplex* (kapasitas *bandwidth* yang diperlukan) adalah 80 Kbps x 2 = 160 Kbps.

4.2.2 Analisis Path Loss

Gelombang elektromagnetik yang dipancarkan dari suatu pemancar ke penerima akan merambat melewati berbagai halangan sehingga terjadi rugi-rugi yang disebabkan oleh berbagai redaman. Untuk menganalisis besarnya pengaruh redaman sinyal terhadap kondisi tersebut maka digunakan sebuah model propagasi *outdoor* pada standard IEEE.802.16 rev E dengan mencari besarnya rugi-rugi saluran di lintasan propagasi.

Path loss mencakup semua pelemahan yang diperkirakan akan dialami sinyal ketika berjalan dari *base station* ke *subscriber station*. *Path loss* yang terjadi pada sinyal yang diterima dapat ditentukan melalui suatu model propagasi

tertentu. Dengan daya penerima minimum yang disesuaikan dengan Peraturan Dirjen Pos dan Telekomunikasi pada tabel 2.2, maka *path loss* referensi dapat dihitung dengan persamaan 2.10:

$$P_L = P_t + G_t + G_r - P_r$$

$$P_L = 35 + 16 + 0 - (-88)$$

$$P_L = 139 \text{ dB}$$

Jadi dengan daya penerima minimum QPSK-1/2 sebesar -88 dB, dengan daya maksimum BS 35 dBm, penguatan antenna BS 16 dBi maka didapatkan *path loss* sebesar 139 dB. Dengan melakukan perhitungan pada tipe modulasi yang lain pada kondisi yang sama akan didapatkan *path loss* saluran yang dilihat dalam tabel 4.2

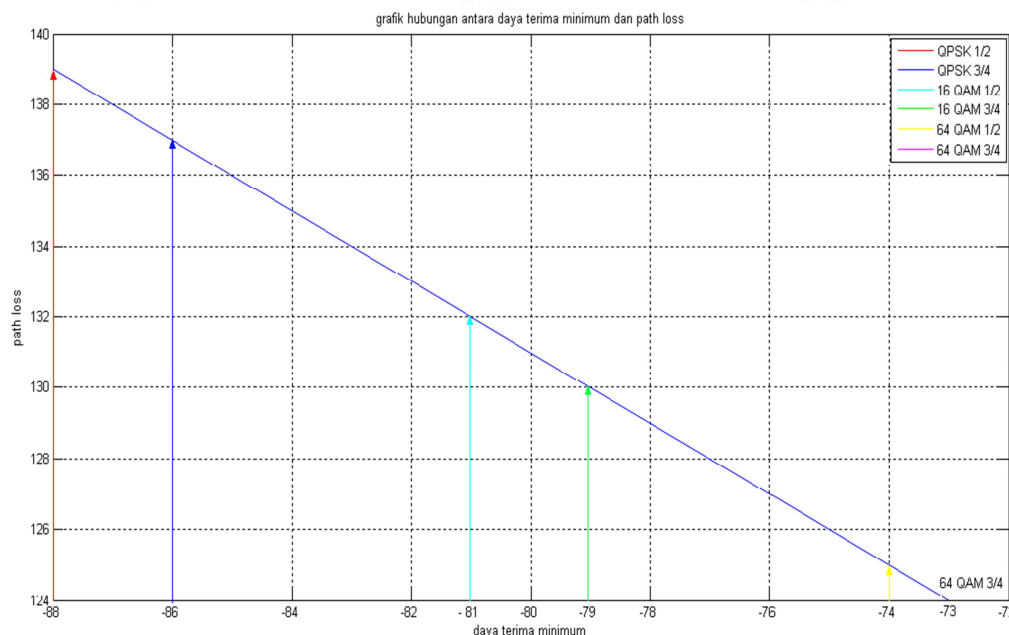
Tabel 4.2 Hasil perhitungan *path loss*

MODULASI	BATAS DAYA TERIMA MINIMUM (dBm)	PATH LOSS (dB)
QPSK-1/2	-88	139
QPSK-3/4	-86	137
16 QAM-1/2	-81	132
16 QAM-3/4	-79	130
64 QAM-1/2	-74	125
64 QAM-3/4	-73	124

(Sumber : Perhitungan)

Untuk menganalisis *path loss* pada *mobile* WiMAX diperlukan variabel pendukung yang disesuaikan dengan daya penerima minimum sesuai dengan peraturan Dirjen Pos dan Telekomunikasi tahun 2008. Dapat dilihat dari tabel 4.2 dan dari gambar 4.1 terlihat bahwa semakin kecil daya terima minimum yang digunakan maka *path loss* yang terjadi semakin besar, begitu juga sebaliknya semakin besar daya terima minimum yang digunakan maka *path loss* yang terjadi semakin kecil. Teknik modulasi QPSK-1/2 yang memiliki batas daya terima minimum paling kecil yaitu -88 dB didapatkan *path loss* paling besar yaitu 139 dB, sedangkan teknik modulasi 64 QAM-3/4 yang memiliki batas daya terima

minimum paling besar yaitu -73 dB didapatkan *path loss* paling kecil yaitu 124 dB. Pengaruh tipe modulasi yang memiliki batas daya terima minimum yang disesuaikan dengan standar terhadap *path loss* ditunjukkan pada gambar 4.1.



Gambar 4.1 Grafik hubungan antara daya terima minimum dengan *path loss*
(Sumber : Analisis)

4.2.3 Analisis Signal to noise ratio (SNR)

Parameter yang digunakan untuk menganalisis performansi SNR sistem *mobile* WiMAX dengan penerapan OFDMA adalah menggunakan standar IEEE 802.16e. Sesuai dengan yang telah dijelaskan di Bab II, bahwa *mobile* WiMAX dengan spesifikasi IEEE 802.16e dapat menggunakan teknik modulasi QPSK, 16-QAM, dan 64-QAM. Untuk teknik modulasi QPSK, jumlah *bit* dalam 1 simbol adalah 2 *bit*. Untuk teknik modulasi 16-QAM, jumlah *bit* dalam 1 simbol adalah 4 *bit*. Sedangkan untuk teknik modulasi 64-QAM, jumlah *bit* dalam 1 simbol adalah 6 *bit* (seperti pada Tabel 4.3). Jumlah *subcarrier* yang akan digunakan dalam analisis ini adalah 512.

Tabel 4.3 Parameter *data rate* IEEE 802.16e pada kanal 5 MHz

Modulation	Data Rate (Mbps) at 5 MHz Channel	Coded Bits per Subcarrier
QPSK	3,17	2
	4,75	
16-QAM	6,34	4
	9,5	
64-QAM	9,5	6
	14,26	

(Sumber : WiMAX Forum, 2006)

Sebelum melakukan perhitungan *signal to noise ratio* (SNR), perlu menghitung beberapa parameter yang meliputi laju data *subcarrier*, durasi *subcarrier*, durasi *cylic prefix subcarrier*, durasi *symbol OFDMA subcarrier* dan *bandwidth* sistem.

Pada analisis performansi VoIP melalui *mobile* WiMAX, teknik pentransmisian yang digunakan adalah OFDMA, dimana dalam teknik pentransmisian OFDMA total laju data akan dibagi sesuai dengan jumlah *subcarrier* yang digunakan. Dalam analisis ini total laju data akan dibagi dengan jumlah *subcarrier* 512, yang akan dialirkan secara paralel dengan nilai laju data yang lebih rendah.

Dengan menggunakan teknik modulasi QPSK, laju data pada kanal 5 MHz yang digunakan adalah 3,17 Mbps dan jumlah *subcarrier* 512, maka diperoleh laju data untuk masing-masing *subcarrier* yang dihitung dengan menggunakan persamaan 2.2 sebesar :

$$R_{sub} = \frac{R_{tot}}{N}$$

$$R_{sub} = \frac{3,17 \text{ Mbps}}{512} = 0,0062 \text{ Mbps}$$

Dengan cara yang sama diperoleh nilai laju data pada kanal 5 MHz untuk berbagai jenis tipe modulasi yang lain, seperti QPSK $\frac{3}{4}$, 16-QAM $\frac{1}{2}$, 16-QAM $\frac{3}{4}$, 64-QAM $\frac{1}{2}$, dan 64-QAM $\frac{3}{4}$. Hasil analisis tersebut ditunjukkan pada tabel 4.4 berikut :



Tabel 4.4 Hasil analisis laju data dari *subcarrier* 512

Tipe Modulasi	Laju Data (Mbps) pada Kanal 5 MHz	R_{sub} (Mbps)
QPSK $\frac{1}{2}$	3,17	0,0062
QPSK $\frac{3}{4}$	4,75	0,0093
16 QAM-1/2	6,34	0,0124
16 QAM-3/4	9,5	0,0186
64 QAM-1/2	9,5	0,0186
64 QAM-3/4	14,26	0,0279

(Sumber : Hasil perhitungan)

Dari persamaan 2.3, durasi *subcarrier* 512 dengan nilai M pada QPSK adalah $2^2 = 4$, adalah :

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

$$T_{sub} = \frac{2}{0,0062 \times 10^6} = 323,0284 \mu s$$

Dengan cara yang sama diperoleh durasi *subcarrier* 512 pada kanal 5 MHz untuk berbagai jenis tipe modulasi yang lain, seperti QPSK $\frac{3}{4}$, 16 QAM $\frac{1}{2}$, 16 QAM $\frac{3}{4}$, 64 QAM $\frac{1}{2}$, dan 64 QAM $\frac{3}{4}$. Hasil analisis tersebut ditunjukkan pada tabel 4.5 berikut :

Tabel 4.5 Hasil durasi dari *subcarrier* 512

Tipe Modulasi	Laju Data (Mbps) pada Kanal 5 MHz	T_{sub} (μs)
QPSK $\frac{1}{2}$	3,17	323,0284
QPSK $\frac{3}{4}$	4,75	215,5789
16 QAM-1/2	6,34	323,0284
16 QAM-3/4	9,5	215,5789
64 QAM-1/2	9,5	323,3684
64 QAM-3/4	14,26	215,4278

(Sumber : Hasil perhitungan)

Dengan mengambil nilai *cyclic prefix* yang paling kecil yaitu $1/32$ untuk mengurangi *Intersymbol Interference* (ISI) dan *Interchannel Interference* (ICI), maka durasi *cyclic prefix* dapat diketahui yaitu:

$$T_{cp} = \frac{1}{32} \times T_{sub}$$

$$T_{cp} = \frac{1}{32} \times (323,0284 \times 10^{-6}) = 10,0946 \mu s$$

Dengan cara yang sama diperoleh durasi *cyclic prefix subcarrier* 512 pada kanal 5 MHz untuk berbagai jenis tipe modulasi yang lain, seperti QPSK $3/4$, 16 QAM $1/2$, 16 QAM $3/4$, 64 QAM $1/2$, dan 64 QAM $3/4$. Hasil analisis tersebut ditunjukkan pada tabel 4.6 berikut :

Tabel 4.6 Hasil durasi *cyclic prefix* dari *subcarrier* 512

Tipe Modulasi	Laju Data (Mbps) pada Kanal 5 MHz	T_{cp} (μs)
QPSK $1/2$	3,17	10,0496
QPSK $3/4$	4,75	6,7368
16 QAM-1/2	6,34	10,0946
16 QAM-3/4	9,5	6,7368
64 QAM-1/2	9,5	10,1053
64 QAM-3/4	14,26	6,7321

(Sumber : Hasil perhitungan)

Sehingga durasi simbol OFDMA menjadi :

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

$$T_s = (323,0284 - 10,0496) \times 10^{-6} = 312,9338 \mu s$$

Dengan cara yang sama diperoleh durasi simbol OFDMA *subcarrier* 512 pada kanal 5 MHz untuk berbagai jenis tipe modulasi yang lain, seperti QPSK $3/4$, 16 QAM $1/2$, 16 QAM $3/4$, 64 QAM $1/2$, dan 64 QAM $3/4$. Hasil analisis tersebut ditunjukkan pada tabel 4.7 berikut :

Tabel 4.7 Hasil durasi simbol OFDMA dari *subcarrier* 512

Type Modulasi	Laju Data (Mbps) pada Kanal 5 MHz	T_s (μs)
QPSK $\frac{1}{2}$	3,17	312,9338
QPSK $\frac{3}{4}$	4,75	208,8421
16 QAM-1/2	6,34	312,9338
16 QAM-3/4	9,5	208,8421
64 QAM-1/2	9,5	313,2632
64 QAM-3/4	14,26	208,6957

(Sumber : Hasil Perhitungan)

Berdasarkan data yang didapatkan dari WiMAX Forum, durasi simbol pada sistem *mobile* WiMAX tidak boleh kurang dari $91,4 \mu s$. Oleh karena itu, berdasarkan hasil perhitungan durasi simbol OFDMA yang dapat dilihat pada Tabel 4.7. batas minimum jumlah *subcarrier* 512 telah memenuhi standar WiMAX Forum.

Dari durasi simbol OFDMA (T_s) tersebut nantinya akan digunakan untuk mengetahui *bandwidth subcarrier*. Sehingga dari persamaan 2.4, *bandwidth subcarrier* dengan durasi simbol OFDMA $T_s = 312,9338 \mu s$ untuk jumlah *subcarrier* 512 adalah :

$$\Delta f = \frac{1}{T_s}$$

$$\Delta f = \frac{1}{312,9338 \times 10^{-6}} = 0,0032 \text{ MHz}$$

Dengan cara yang sama diperoleh *bandwidth subcarrier* 512 pada kanal 5 MHz untuk berbagai jenis tipe modulasi yang lain, seperti QPSK $\frac{3}{4}$, 16 QAM 1/2, 16 QAM 3/4, 64 QAM $\frac{1}{2}$, dan 64 QAM $\frac{3}{4}$. Hasil analisis tersebut ditunjukkan pada tabel 4.8 berikut :

Tabel 4.8 Hasil *bandwidth* dari *subcarrier* 512

Tipe Modulasi	Laju Data (Mbps) pada Kanal 5 MHz	B (MHz)
QPSK 1/2	3,17	0,0032
QPSK 3/4	4,75	0,0048
16 QAM-1/2	6,34	0,0032
16 QAM-3/4	9,5	0,0048
64 QAM-1/2	9,5	0,0032
64 QAM-3/4	14,26	0,0048

(Sumber : Hasil Perhitungan)

Dengan durasi CP sebesar 1/32% maka diperoleh faktor CP sebesar 1/32. Sehingga dengan menggunakan persamaan 2.5, diperoleh *bandwidth* sistem untuk jumlah *subcarrier* 512 dan durasi *subcarrier* $T_{sub} = 323.0284 \mu s$ sebesar :

$$B_{sistem} = \frac{2}{T_{sub}} + \frac{N-1}{(1-\alpha_{cp})T_{sub}}$$

$$B_{sistem} = \frac{2}{323,284 \times 10^{-6}} + \frac{N-1}{(1-\frac{1}{32})323,0284 \times 10^{-6}} = 1,6391 MHz$$

Dengan cara yang sama diperoleh *bandwidth* sistem *subcarrier* 512 pada kanal 5 MHz untuk berbagai jenis tipe modulasi yang lain, seperti QPSK 3/4, 16 QAM 1/2, 16 QAM 3/4, 64 QAM 1/2, dan 64 QAM 3/4. Hasil analisis tersebut ditunjukkan pada tabel 4.9 berikut :

Tabel 4.9 Hasil *bandwidth* sistem dari *subcarrier* 512

Tipe Modulasi	laju data (Mbps) pada kanal 5 MHz	B_{sistem} (MHz)
QPSK 1/2	3,17	1,6391
QPSK 3/4	4,75	2,4561
16 QAM-1/2	6,34	1,6391
16 QAM-3/4	9,5	2,4561
64 QAM-1/2	9,5	1,6374
64 QAM-3/4	14,26	2,4578

(Sumber : Hasil Perhitungan)



Perhitungan nilai SNR dilakukan pada kanal *wireless* yang terdiri dari kanal AWGN dan kanal *fading*. Untuk menganalisis SNR diperlukan perhitungan nilai rugi-rugi propagasi ruang bebas yang telah dianalisis diatas.

Noise AWGN untuk laju data 3,17 Mbps dan jumlah *subcarrier* 512, dengan *bandwidth* sistem sebesar $B_{sistem} = 1,6391$ MHz. Sehingga dapat dihitung besarnya daya noise pada kanal AWGN dengan menggunakan persamaan 2.12, sebesar :

$$N_o = 10 \log k.T + 10 \log B_{sistem} + NF$$

$$N_o = 10 \log(1,38 \times 10^{-23} \times 300) + 10 \log(1,6391 \times 10^6) + 7$$

$$N_o = -134,6839 \text{ dBm}$$

Dengan cara yang sama diperoleh *noise subcarrier* 512 pada kanal 5 MHz untuk berbagai jenis tipe modulasi yang lain, seperti QPSK $\frac{3}{4}$, 16 QAM $\frac{1}{2}$, 16 QAM $\frac{3}{4}$, 64 QAM $\frac{1}{2}$, dan 64 QAM $\frac{3}{4}$. Hasil analisis tersebut ditunjukkan pada tabel 4.10 berikut :

Tabel 4.10 Hasil *noise* dari *subcarrier* 512

Tipe Modulasi	Laju Data (Mbps) pada Kanal 5 MHz	N_o (dBm)
QPSK $\frac{1}{2}$	3,17	-134,6839
QPSK $\frac{3}{4}$	4,75	-132,9275
16 QAM-1/2	6,34	-134,6839
16 QAM-3/4	9,5	-132,9275
64 QAM-1/2	9,5	-134,6884
64 QAM-3/4	14,26	-132,9245

(Sumber : Hasil Perhitungan)

Sehingga diperoleh *signal-to-noise ratio* dengan menggunakan persamaan 2.11 :

$$SNR = P_r - N_o$$

$$SNR = -88 - (-134,6839)$$

$$SNR = 46,6839 \text{ dB}$$

Dengan cara yang sama diperoleh *signal to noise ratio subcarrier* 512 pada kanal 5 MHz untuk berbagai jenis tipe modulasi yang lain, seperti QPSK $\frac{3}{4}$, 16 QAM $\frac{1}{2}$, 16 QAM $\frac{3}{4}$, 64 QAM $\frac{1}{2}$, dan 64 QAM $\frac{3}{4}$. Hasil analisis tersebut ditunjukkan pada tabel 4.11 berikut :

Tabel 4.11 Hasil *signal to noise ratio* dari *subcarrier* 512

Tipe Modulasi	Laju Data (Mbps) pada Kanal 5 MHz	P_r (dB)	SNR (dB)	SNR (Watt)
QPSK $\frac{1}{2}$	3,17	-88	46,6839	$4,66 \times 10^4$
QPSK $\frac{3}{4}$	4,75	-86	46,9275	$4,9289 \times 10^4$
16 QAM-1/2	6,34	-81	53,6839	$2,3355 \times 10^5$
16 QAM-3/4	9,5	-79	53,9275	$2,4703 \times 10^5$
64 QAM-1/2	9,5	-74	60,6884	$1,1718 \times 10^6$
64 QAM-3/4	14,26	-73	59,9245	$9,8276 \times 10^5$

(Sumber : Hasil Perhitungan)

Sehingga diperoleh SNR_{sistem} dengan persamaan 2.13, berikut :

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

$$SNR_{sistem} = \left(1 - \frac{1}{32}\right) 9,298 \times 10^4$$

$$SNR_{sistem} = 4,5144 \times 10^4$$

Dengan cara yang sama diperoleh *signal to noise ratio* sistem dengan *subcarrier* 512 pada kanal 5 MHz untuk berbagai jenis tipe modulasi yang lain, seperti QPSK $\frac{3}{4}$, 16 QAM 1/2, 16 QAM 3/4, 64 QAM $\frac{1}{2}$, dan 64 QAM $\frac{3}{4}$. Hasil analisis tersebut ditunjukkan pada tabel 4.12 berikut :

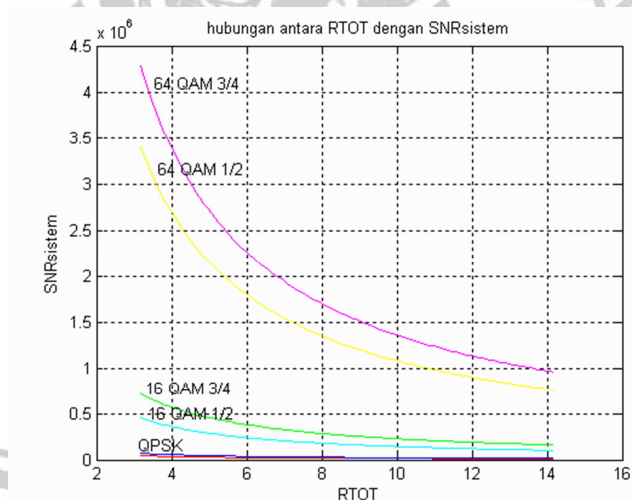
Tabel 4.12 Hasil *signal to noise ratio* sistem dari *subcarrier* 512

Tipe Modulasi	Laju Data (Mbps) pada Kanal 5 MHz	P_r (dB)	SNR_{sistem}
QPSK $\frac{1}{2}$	3,17	-88	$4,5144 \times 10^4$
QPSK $\frac{3}{4}$	4,75	-86	$4,7749 \times 10^4$
16 QAM-1/2	6,34	-81	$2,2626 \times 10^5$
16 QAM-3/4	9,5	-79	$2,3931 \times 10^5$
64 QAM-1/2	9,5	-74	$9,8276 \times 10^5$
64 QAM-3/4	14,26	-73	$1,1718 \times 10^6$

(Sumber : Hasil Perhitungan)



Pada gambar 4.2 dapat dilihat pengaruh variasi laju data dengan *signal to noise ratio* terhadap beberapa tipe modulasi. Penggunaan tipe modulasi yang berbeda dengan laju data yang berbeda dan batas daya terima minimum yang disesuaikan dengan peraturan Dirjen Pos dan Telekomunikasi tahun 2008, dapat dilihat dari gambar 4.2 dinyatakan bahwa hasil dari *signal to noise ratio* berubah secara logaritmik terhadap variasi laju data, dimana analisis pertama menunjukkan semakin besar laju data maka *signal to noise ratio* mengalami kecenderungan semakin kecil. Analisis kedua menunjukkan semakin kecil laju data yang digunakan pada QPSK-1/2 pada saat memiliki laju data sesuai standar IEEE 802.16e sebesar 3,17 Mbps maka SNR yang terjadi kecil jika dibandingkan dengan tipe modulasi yang lain pada laju data yang sama yaitu 45,144 KW, begitu juga sebaliknya semakin besar laju data yang digunakan yaitu 64 QAM-3/4 yang memiliki laju data sesuai standar IEEE 802.16e sebesar 14,26 Mbps maka SNR yang terjadi besar yaitu 117,18 KW jika dibandingkan dengan tipe modulasi lain pada laju data yang sama.



Gambar 4.2 Grafik hubungan antara laju data dengan SNR_{sistem}
(Sumber : Analisis)

4.2.4 Analisis Kapasitas Kanal

Dalam analisis kapasitas kanal dibutuhkan parameter SNR_{sistem} yang telah dihitung sebelumnya. Pada perhitungan kapasitas kanal ini menggunakan teorema

Shannon yang terdapat pada persamaan 2.14. Sehingga kapasitas kanal sistem untuk jumlah subcarrier 512 dengan $SNR_{sistem} = 9,0074 \times 10^4$ adalah sebagai berikut :

$$C = B_{kanal} \cdot \log_2(1 + SNR_{sistem})$$

$$C = 5 \times 10^6 \cdot \log_2(1 + 9,0074 \times 10^4)$$

$$C = 82,294 \text{ Mbps}$$

Dengan cara yang sama diperoleh kapasitas kanal dengan *subcarrier* 512 pada kanal 5 MHz untuk berbagai jenis tipe modulasi yang lain, seperti QPSK $\frac{3}{4}$, 16 QAM $\frac{1}{2}$, 16 QAM $\frac{3}{4}$, 64 QAM $\frac{1}{2}$, dan 64 QAM $\frac{3}{4}$. Hasil analisis tersebut ditunjukkan pada tabel 4.13 berikut.

Tabel 4.13 Hasil kapasitas kanal dari *subcarrier* 512

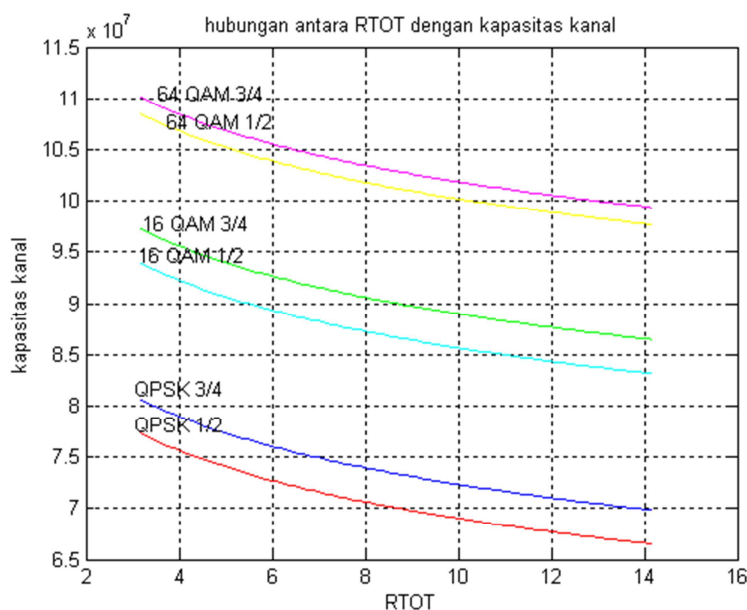
Tipe Modulasi	Laju Data (Mbps) pada Kanal 5 MHz	C (Mbps)
QPSK $\frac{1}{2}$	3,17	77,311
QPSK $\frac{3}{4}$	4,75	77,716
16 QAM-1/2	6,34	88,938
16 QAM-3/4	9,5	89,34
64 QAM-1/2	9,5	99,303
64 QAM-3/4	14,26	100,57

(Sumber : Hasil Perhitungan)

Hasil kapasitas kanal berubah secara logaritmik terhadap perubahan jumlah laju data yang disesuaikan dengan standar yang ada. Penggunaan tipe modulasi yang berbeda dengan laju data yang berbeda, seperti terlihat pada gambar 4.3 dapat dianalisis bahwa semakin besar laju data maka kapasitas kanal mengalami kecenderungan semakin kecil. Dari gambar tersebut terlihat bahwa semakin kecil laju data yang digunakan yaitu pada QPSK-1/2 yang memiliki laju data sesuai standar IEEE 802.16e sebesar 3,17 Mbps maka kapasitas kanal yang terjadi kecil yaitu 77,311 Mbps jika dibandingkan dengan tipe modulasi lain pada laju data yang sama, begitu juga sebaliknya semakin besar laju data yang digunakan yaitu pada 64 QAM-3/4 yang memiliki laju data sesuai standar IEEE 802.16e sebesar 14,26 Mbps maka kapasitas kanal yang terjadi semakin besar

yaitu 100,57 Mbps jika dibandingkan dengan tipe modulasi lain pada laju data yang sama.

Hasil perhitungan kapasitas kanal di tiap tipe modulasi dengan laju data yang telah disesuaikan dengan IEEE 802.16e dapat dilihat pada tabel 4.13. Pada gambar 4.3 menunjukkan hubungan antara variasi laju data yang digunakan dengan kapasitas kanal di setiap tipe modulasi.



Gambar 4.3 Grafik hubungan antara laju data dengan kapasitas kanal
(Sumber : Analisis)

4.2.5 Analisis jarak jangkauan base station ke subscriber station

Pada analisis performansi VoIP melalui mobile WiMAX diperlukan model propagasi, dimana model propagasi ini akan menentukan jarak cakupan dari base station ke subscriber station. Dengan jarak referensi free space d_0 yang digunakan pada standar IEEE 802.16 rev E adalah 100 m, maka jarak jangkauan base station ke subscriber station dapat dihitung dengan menggunakan persamaan 2.16 :

$$\lambda = 0,13043 \text{ m}$$

Maka *path loss* referensi :

$$A = 20 \log \left(\frac{4\pi 100}{0,03043} \right)$$

$$A = 20 \log 96,296$$

$$A = 20 \times 3,9836$$

$$A = 79,672 \text{ dB}$$

Pada Analisis performansi ini, sinyal diasumsikan pada lingkungan NLOS, posisi *base station* dalam keadaan tetap (tidak bergerak) dan posisi *subscriber station* dalam keadaan bergerak pada daerah suburban. Maka kriteria yang digunakan dalam kondisi *path loss* ini adalah sesuai dengan kondisi *path loss* menengah atau tipe suburban.

Eksponen *path loss* pada kondisi daerah suburban untuk kategori B dengan menggunakan tabel dapat dihitung dengan persamaan 2.17 :

$$\gamma = a - (b \cdot h_0) + \frac{c}{h_b}$$

$$\gamma = 4 - (0,0065 \cdot 32) + \left(\frac{17,1}{32} \right)$$

$$\gamma = 4,3264$$

Koreksi frekuensi pada frekuensi kerja 2,3 GHz dapat dihitung dengan persamaan

2.18 :

$$\Delta PL_f = 6 \log \left(\frac{f}{2 \times 10^9} \right)$$

$$\Delta PL_f = 6 \log \left(\frac{2,3 \times 10^9}{2 \times 10^9} \right)$$

$$\Delta PL_f = 0,3642 \text{ dB}$$

Koreksi tinggi antenna dapat dihitung dengan persamaan 2.19:

$$\Delta PL_h = -10,8 \log \left(\frac{h}{2} \right)$$

$$\Delta PL_h = -10,8 \log \left(\frac{1,5}{2} \right)$$

$$\Delta PL_h = 1,3493 \text{ dB}$$

Dengan nilai *path loss* yang telah dihitung pada perhitungan *path-loss* sebelumnya, maka jarak jangkau (jarak maksimum antara *base station* dan *subscriber station*) dapat dihitung dengan persamaan 2.15 :

$$PL = A + 10\gamma \log\left(\frac{d}{d_0}\right) + s + \Delta PL_f + \Delta PL_h$$

$$PL = 79,672 + 10 \times 4,3264 \log\left(\frac{d}{100}\right) + 0,3642 + 1,3493 + 9,6$$

$$PL = 79,672 + 43,264 \log\left(\frac{d}{100}\right) + 0,3642 + 1,3493 + 9,6$$

$$PL = 90,9855 + 43,264 \log\left(\frac{d}{100}\right)$$

Nilai *Path loss* untuk teknik modulasi QPSK-1/2 yang telah dihitung:

$$139 = 90,9855 + 43,264 \log\left(\frac{d}{100}\right)$$

$$30,0146 = 43,264 \log\left(\frac{d}{100}\right)$$

$$d = 1287,4 \text{ m}$$

Dengan cara yang sama diperoleh jarak jangkau (jarak antara *base station* dan *subscriber station*) dengan *subcarrier* 512 pada kanal 5 MHz untuk berbagai jenis tipe modulasi yang lain, seperti QPSK 3/4, 16 QAM 1/2, 16 QAM 3/4, 64 QAM 1/2, dan 64 QAM 3/4. Hasil analisis tersebut ditunjukkan pada tabel 4.14 berikut.

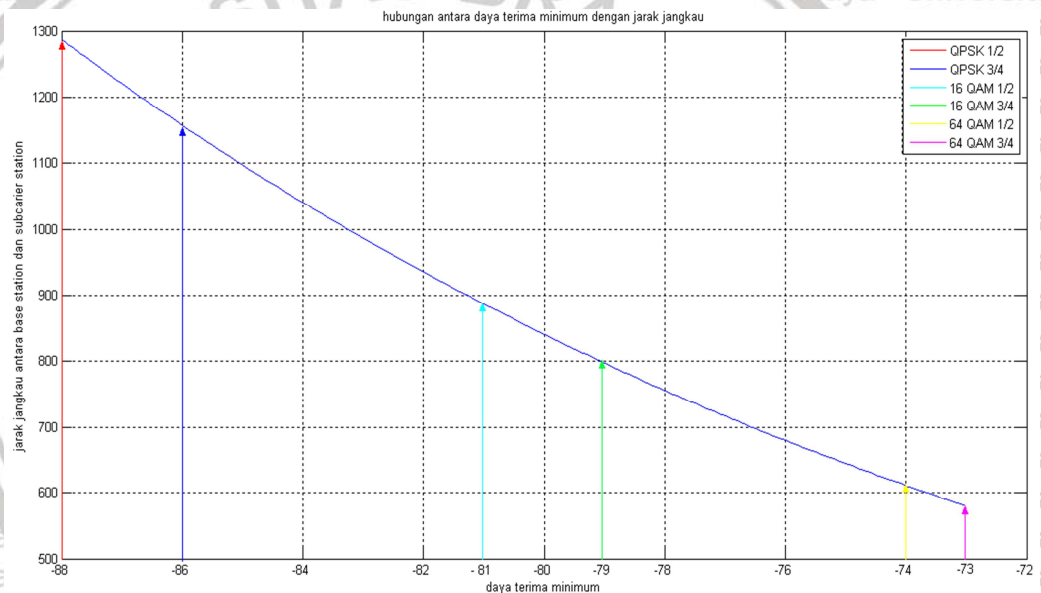
Tabel 4.14 Hasil jarak jangkau jarak antara *base station* dan *subscriber station* untuk *subcarrier* 512

Type Modulasi	Batas Daya Terima Minimum (dBm)	jarak jangkau (m)
QPSK 1/2	-88	1287,4000
QPSK 3/4	-86	1157,4000
16 QAM-1/2	-81	886,9724
16 QAM-3/4	-79	797,4106
64 QAM-1/2	-74	611,0994
64 QAM-3/4	-73	579,4257

(Sumber : Hasil Perhitungan)



Penggunaan tipe modulasi yang berbeda dengan batas daya terima minimum yang disesuaikan dengan peraturan Dirjen Pos dan Telekomunikasi tahun 2008, dapat dilihat dari tabel 4.14 dan gambar 4.4, gambar tersebut menunjukkan bahwa semakin kecil daya terima minimum yang digunakan maka jarak jangkau antara *base station* dan *subscriber station* yang terjadi semakin besar. Begitu juga sebaliknya semakin besar daya terima minimum yang digunakan maka jarak jangkau antara *base station* dan *subscriber station* yang terjadi semakin kecil. Tipe Modulasi QPSK 1/2 yang memiliki daya terima minimum -88 dB didapatkan jarak jangkau paling besar yaitu 1287,4 m, sebaliknya Tipe Modulasi 64 QAM 3/4 yang memiliki daya terima minimum -73 dB didapatkan jarak jangkau paling kecil yaitu 579,4257 m.



Gambar 4.4 Grafik hubungan antara daya terima minimum dengan jarak jangkau

(Sumber : Analisis)

4.3. Analisis performansi VoIP melalui *mobile WiMAX*

4.3.1 Analisis *energy Bit to Noise*

Nilai *energy bit to noise* digunakan untuk menilai kualitas sinyal yang dikirim oleh pemancar.

Dengan :

- *Noise figure* dari perangkat sebesar 7 dB

- P_t , Daya maksimum BS sebesar 35 dBm
- G_t , Penguatan antena BS sebesar 16 dBi
- R yaitu *bit rate* pada modulasi QPSK, 16 QAM dan 64 QAM. Untuk QPSK-1/2 sebesar 3.17 Mbps. Untuk $R_{(dB)} = 10 \log R_{tot}$
- T_{sistem} adalah temperature sistem yang digunakan sebesar $300^{\circ}K$

Nilai *noise* telah dihitung dalam perhitungan sebelumnya, maka *energy bit to noise* ($\frac{E_b}{N_0}$) untuk QPSK-1/2 dapat dihitung dengan persamaan 2.33 dan diperoleh :

$$\left(\frac{E_b}{N_0}\right) = (P_t)_{dBm} + (G_t)_{dB} - (PL)_{dB} - (N_0)_{dB} + (R)_{dB}$$

$$\left(\frac{E_b}{N_0}\right) = 35 + 16 - (139) - 134,6839 + 65,0106$$

$$\left(\frac{E_b}{N_0}\right) = 111,6945 \text{ dB}$$

Dengan cara yang sama diperoleh nilai *energy bit to noise* ($\frac{E_b}{N_0}$) dengan *subcarrier* 512 pada kanal 5 MHz untuk berbagai jenis tipe modulasi yang lain, seperti QPSK $\frac{3}{4}$, 16 QAM $\frac{1}{2}$, 16 QAM $\frac{3}{4}$, 64 QAM $\frac{1}{2}$, dan 64 QAM $\frac{3}{4}$. Hasil analisis tersebut ditunjukkan pada tabel 4.15 berikut.

Tabel 4.15 Hasil *energy bit to noise* ($\frac{E_b}{N_0}$) dari *subcarrier* 512

Tipe Modulasi	Laju Data (Mbps) pada Kanal 5 MHz	$\left(\frac{E_b}{N_0}\right)_{dB}$
QPSK $\frac{1}{2}$	3,17	111,6945
QPSK $\frac{3}{4}$	4,75	113,6945
16 QAM-1/2	6,34	121,7048
16 QAM-3/4	9,5	123,7048
64 QAM-1/2	9,5	130,4657
64 QAM-3/4	14,26	131,4657

(Sumber : Hasil Perhitungan)



4.3.2 Analisis Probabilitas *packet loss*

Analisis Probabilitas paket salah ini merupakan analisis probabilitas *bit* salah (*error bit probability*) P_{be} pada penerima besarnya dipengaruhi oleh perbandingan *energy bit* terhadap *noise* ($\frac{E_b}{N_0}$). Analisis dilakukan pada 3 tipe modulasi *mobile* WiMAX rev E meliputi QPSK, 16 QAM, dan 64 QAM yang diimplementasikan pada layanan NLOS.

Probabilitas *packet loss* aplikasi VoIP dengan menggunakan persamaan 2.35 dan $header_{UDP/RTP/IP}$ sebesar 40 byte (UDP 8 byte, header RTP 12 byte, header IP 20 byte) dengan besar *payload* audio sebesar 160 byte yaitu :

$$\rho_{UDP/RTP/IP} = P_{size} \times \rho_b$$

$$\rho_{UDP/RTP/IP} = (40 + 160) \times 8 \times 10^{-7}$$

$$\rho_{UDP/RTP/IP} = 1,6 \times 10^{-4}$$

4.3.2.1 Probabilitas *bit* salah pada teknik modulasi QPSK

Untuk melakukan perhitungan Probabilitas *bit* salah pada teknik modulasi QPSK-1/2 yaitu dengan data *rate* 3,17 Mbps, diperlukan parameter ($\frac{E_b}{N_0}$). Maka kemungkinan kesalahan *bit* yang terjadi adalah :

$$P_{be} = Q\left(\sqrt{2 \frac{E_b}{N_0}}\right)$$

$$P_{be} = Q\left(\sqrt{2 \times 111,6945}\right)$$

$$P_{be} = Q(14,4398)$$

Dengan nilai (x) adalah (14,4398) maka dimasukkan ke persamaan 2.34 dan diperoleh :

$$Q(x) = \frac{1}{2} \operatorname{erfc}\left(\frac{x}{\sqrt{2}}\right)$$

$$Q(14,4398) = \frac{1}{2} \operatorname{erfc}\left(\frac{14,4398}{\sqrt{2}}\right)$$

Dengan menggunakan program matlab nilai $\operatorname{erfc}\left(\frac{14,4398}{\sqrt{2}}\right)$ didapatkan $2,9066 \times 10^{-47}$ maka probabilitas *bit* yang salah adalah $P_{be} = 1,4533 \times 10^{-47}$

4.3.2.2 Probabilitas *bit* salah pada teknik modulasi 16 QAM

Pada teknik modulasi 16 QAM yaitu dengan data *rate* 6,34 Mbps

dengan nilai $\left(\frac{E_b}{N_0}\right)$ sebesar 121,7048. maka kemungkinan kesalahan *bit*

yang terjadi sesuai dengan persamaan 2.37 adalah :

$$P_{be} = \frac{4}{K} \left(1 - \frac{1}{\sqrt{M}}\right) Q \left(\sqrt{\frac{3K E_b}{M - 1 N_0}} \right)$$

Dengan :

$$M = 16 ;$$

$$K = \log_2 M = \log_2 16 = 4$$

$$P_{be} = \frac{4}{4} \left(1 - \frac{1}{\sqrt{16}}\right) Q \left(\sqrt{\frac{3 \times 4}{16 - 1} \times 114,2643} \right)$$

$$P_{be} = \left(1 - \frac{1}{4}\right) Q(9,5609)$$

Dengan nilai (x) adalah (9,5609) maka dimasukkan ke persamaan 2.34

dan diperoleh :

$$Q(x) = \frac{1}{2} \operatorname{erfc} \left(\frac{x}{\sqrt{2}} \right)$$

$$Q(9,5609) = \frac{1}{2} \operatorname{erfc} \left(\frac{9,5609}{\sqrt{2}} \right)$$

Dengan menggunakan program matlab nilai $\operatorname{erfc} \left(\frac{9,5609}{\sqrt{2}} \right)$

didapatkan $11,6698 \times 10^{-22}$ maka $Q(9,5609)$ adalah $P_{be} = 5,8349 \times 10^{-22}$.

Maka probabilitas *bit* yang salah adalah $P_{be} = \left(1 - \frac{1}{4}\right) 5,8349 \times 10^{-22} = 4,3762 \times 10^{-22}$

4.3.2.3 Probabilitas *bit* salah pada teknik modulasi 64 QAM

Pada teknik modulasi 64 QAM yaitu dengan data *rate* 9,5 Mbps

dengan nilai $\left(\frac{E_b}{N_0}\right)$ sebesar 123,0252. maka kemungkinan kesalahan *bit*

yang terjadi sesuai dengan persamaan 2.37 adalah :

$$P_{be} = \frac{4}{K} \left(1 - \frac{1}{\sqrt{M}}\right) Q \left(\sqrt{\frac{3K}{M-1} \frac{E_b}{N_0}} \right)$$

Dengan :

$$M = 64 ;$$

$$K = \log_2 M = \log_2 64 = 6$$

$$P_{be} = \frac{4}{6} \left(1 - \frac{1}{\sqrt{64}}\right) Q \left(\sqrt{\frac{3 \times 6}{64-1} \times 123,0252} \right)$$

$$P_{be} = \frac{4}{6} \times \left(1 - \frac{1}{8}\right) Q(5,9287)$$

Dengan nilai (x) adalah (9,5609) maka dimasukkan ke persamaan 2.34 dan diperoleh :

$$Q(x) = \frac{1}{2} \operatorname{erfc} \left(\frac{x}{\sqrt{2}} \right)$$

$$Q(5,9287) = \frac{1}{2} \operatorname{erfc} \left(\frac{5,9287}{\sqrt{2}} \right)$$

Dengan menggunakan program matlab nilai $\operatorname{erfc} \left(\frac{5,9287}{\sqrt{2}} \right)$ didapatkan $3,0526 \times 10^{-9}$

Maka $Q(9,5609)$ adalah $P_{be} = 1,5263 \times 10^{-9}$.

Maka probabilitas bit yang salah adalah $P_{be} = \frac{4}{6} \times \left(1 - \frac{1}{8}\right) 1,5263 \times 10^{-9} = 8,9032 \times 10^{-9}$

Dengan cara yang sama diperoleh nilai probabilitas bit yang salah dengan subcarrier 512 pada kanal 5 MHz untuk berbagai jenis tipe modulasi yang lain, seperti QPSK $\frac{3}{4}$, 16 QAM $\frac{1}{2}$, 16 QAM $\frac{3}{4}$, 64 QAM $\frac{1}{2}$, dan 64 QAM $\frac{3}{4}$. Hasil analisis tersebut ditunjukkan pada tabel 4.16 berikut.

Tabel 4.16 Hasil probabilitas bit yang salah dari subcarrier 512

Tipe Modulasi	Laju Data (Mbps) pada Kanal 5 MHz	probabilitas bit yang salah
QPSK $\frac{1}{2}$	3,17	$1,4533 \times 10^{-47}$
QPSK $\frac{3}{4}$	4,75	$1,9480 \times 10^{-48}$

Tipe Modulasi	Laju Data (Mbps) pada Kanal 5 MHz	Probabilitas Bit yang Salah
16 QAM-1/2	6,34	$4,3762 \times 10^{-22}$
16 QAM-3/4	9,5	$2,5990 \times 10^{-22}$
64 QAM-1/2	9,5	$8,9032 \times 10^{-9}$
64 QAM-3/4	14,26	$7,5883 \times 10^{-10}$

(Sumber : Hasil perhitungan)

4.3.3 Probabilitas paket loss total

Probabilitas *packet loss* total merupakan banyaknya probabilitas paket yang diterima dalam keadaan salah di penerima. Probabilitas *packet loss* total aplikasi VoIP pada suatu jaringan ditentukan berdasarkan pada probabilitas *packet loss* pada jaringan tersebut serta probabilitas *packet loss* aplikasi VoIP yang berbasis protokol UDP/RTP/IP ditunjukkan pada persamaan [Pritchard, et.al.1993:339]

Maka probabilitas *packet loss* total pada teknik modulasi QPSK-1/2 yaitu dengan data rate 3.17 Mbps ditunjukkan pada persamaan 2.38 yaitu:

$$\rho_{total} = 1 - [(1 - \rho_{network})(1 - \rho_{UDP/RTP/IP})]$$

$$\rho_{total} = 1 - [(1 - 1,4533 \times 10^{-47})(1 - 1,6 \times 10^{-4})]$$

$$\rho_{total} = 1,6 \times 10^{-4}$$

Dengan cara yang sama diperoleh nilai probabilitas paket total yang salah dengan *subcarrier* 512 pada kanal 5 MHz untuk berbagai jenis tipe modulasi yang lain, seperti QPSK $\frac{3}{4}$, 16 QAM $\frac{1}{2}$, 16 QAM $\frac{3}{4}$, 64 QAM $\frac{1}{2}$, dan 64 QAM $\frac{3}{4}$.

Hasil analisis tersebut ditunjukkan pada tabel 4.17 berikut :

Tabel 4.17 Hasil probabilitas paket total yang salah dari *subcarrier* 512

Tipe Modulasi	Laju Data (Mbps) pada Kanal 5 MHz	Probabilitas Paket Total yang Salah
QPSK $\frac{1}{2}$	3,17	$1,6 \times 10^{-4}$
QPSK $\frac{3}{4}$	4,75	$1,6 \times 10^{-4}$
16 QAM-1/2	6,34	$1,6 \times 10^{-4}$
16 QAM-3/4	9,5	$1,6 \times 10^{-4}$

Tipe Modulasi	Laju Data (Mbps) pada Kanal 5 MHz	Probabilitas Paket Total yang Salah
64 QAM-1/2	9,5	$1,6 \times 10^{-4}$
64 QAM-3/4	14,26	$1,6 \times 10^{-4}$

(Sumber : Hasil Perhitungan)

4.3.4 Analisis delay end to end

Pada aplikasi VoIP yang bersifat *full duplex*, maka *delay* dihitung dari penerima ke sumber sampai ke penerima yang lain. Untuk analisis jaringan *mobile WiMAX* yang digunakan, maka perhitungan dilakukan untuk mengetahui *delay end to end* aplikasi VoIP melalui *mobile WiMAX* dengan persamaan 2.21:

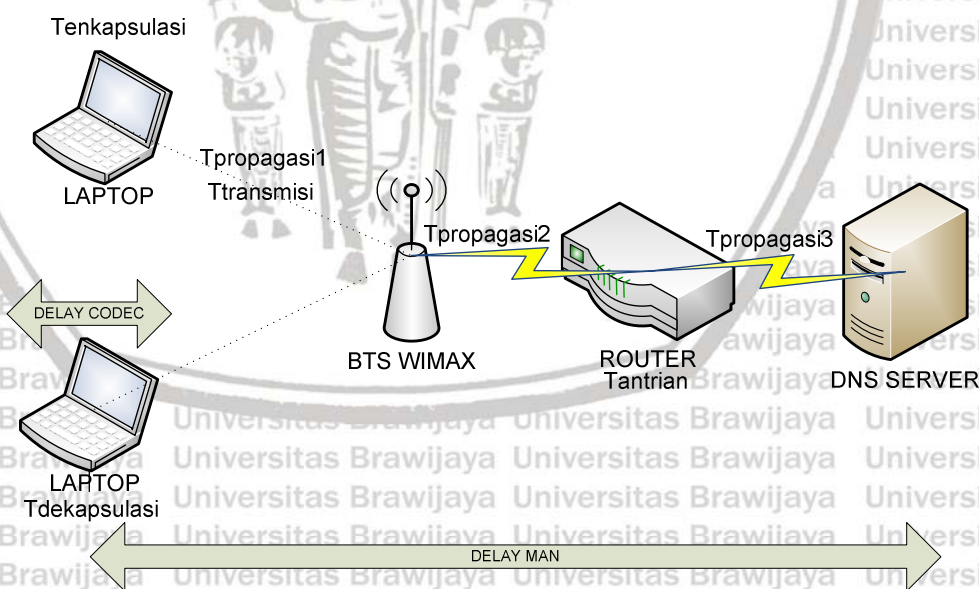
$$t_{end\ to\ end} = t_{codec} + t_{MAN}$$

Dengan :

$$t_{end\ to\ end} = Delay\ end\ to\ end$$

$$t_{codec} = Delay\ codec$$

$$t_{MAN} = Delay\ MAN$$



Gambar 4.5 Delay end to end pada jaringan mobile WiMAX

(Sumber : Analisis)

4.3.4.1 Delay codec

Delay ini terjadi pada sisi *encoder* terdiri dari waktu untuk mengakumulasi sample suara ke dalam *frame* suara, waktu untuk mengkompresi paket suara, waktu untuk memuat *frame* suara ke dalam paket dan mentransfer paket tersebut ke jaringan *transport* dan *delay hardware* yang bersifat tetap. *Delay* pada *codec* audio G.711 sebesar 0,75 ms, sehingga *delay codec* ini dapat dihitung dengan persamaan 2.22 :

$$t_{\text{codec}} = 2xt_{\text{audio}}$$

$$t_{\text{codec}} = 2x0,75\text{ms}$$

$$t_{\text{codec}} = 1,5 \text{ ms}$$

4.3.4.2 Delay MAN

Delay pada MAN merupakan besarnya *delay* yang diperlukan untuk mengirimkan data dari sisi *subscriber station* ke *base station* WiMAX. *Delay* pada MAN dapat dihitung dengan persamaan 2.23 sebagai berikut:

$$t_{\text{MAN}} = t_{\text{proses}} + t_{\text{prop}} + t_{\text{trans}} + t_w$$

Dengan:

$$t_{\text{MAN}} = \text{Delay total pada MAN (ms)}$$

$$t_{\text{proses}} = \text{Delay proses (ms)}$$

$$t_{\text{prop}} = \text{Delay propagasi (ms)}$$

$$t_{\text{trans}} = \text{Delay transmisi (ms)}$$

$$t_w = \text{Delay antrian (ms)}$$

4.3.4.2.1 Delay Proses

Delay proses adalah waktu yang dibutuhkan untuk memproses paket data dan untuk menentukan kemana data tersebut akan diteruskan. *Delay* proses berupa *delay* enkapsulasi dan *delay* dekapsulasi. *Delay* enkapsulasi dan *delay* dekapsulasi data melalui jaringan *mobile* WiMAX untuk masing-masing layer dengan menambahkan *header* dan perubahan format data.

Ketika data VoIP (*payload audio*) dikirim dari sumber melewati layer aplikasi menuju layer *transport*, data akan diubah menjadi segmen. Message data ketika melewati *transport* data akan mengalami penambahan *header* RTP dan *header* UDP, sehingga dapat dihitung dengan persamaan 2.24:

$$W_{message} = W_{data} + Header_{RTP}$$

$$W_{message} = 160 \text{ Byte} + 12 \text{ Byte}$$

$$W_{message} = 172 \text{ Byte}$$

Dari layer *transport* segmen ditambahkan dengan *header* UDP karena menggunakan aplikasi yang bersifat *real time*. Karena panjang segmen data tidak melebihi *MSS* UDP yaitu 1460 *Byte*, maka segmen tidak difragmentasi.

$$W_{segmen} = W_{message} + Header_{UDP}$$

$$W_{message} = 172 \text{ Byte} + 8 \text{ Byte}$$

$$W_{message} = 180 \text{ Byte}$$

Dari layer *transport* data dibawa menuju layer *network*, yaitu IP untuk diubah menjadi datagram dengan penambahan *header* IP.

Dengan menggunakan persamaan 2.25 diperoleh :

$$W_{datagram} = W_{segmen} + Header_{IP}$$

$$W_{datagram} = 180 \text{ Byte} + 20 \text{ Byte}$$

$$W_{datagram} = 200 \text{ Byte}$$

Pada segmen datagram tidak melebihi *MTU* Ethernet, maka datagram IP tidak difragmentasi. Dengan menggunakan persamaan 2.26 maka *frame-frame* tadi dienkapsulasi dengan rumus:

$$W_{frame} = W_{datagram} + Header_{ethernet}$$

$$W_{frame} = 200 \text{ Byte} + 18 \text{ Byte}$$

$$W_{frame} = 218 \text{ Byte}$$

Dari *ethernet* digunakan medium kabel *twisted pair* 100BaseT dari *base station* menuju *subscriber station*, *frame Ethernet* dikirimkan ke

layer MAC WiMAX dan mengalami penambahan *header* MAC. Maka

$W_{\text{frame total}}$ total dapat dicari, yaitu:

$$W_{\text{frame total}} = W_{\text{frame}} + \text{Header}_{\text{MAC}}$$

$$W_{\text{frame total}} = 218 \text{ Byte} + 6 \text{ Byte}$$

$$W_{\text{frame total}} = 224 \text{ Byte}$$

Maka *delay* enkapsulasi pada QPSK-1/2 dengan *bit rate* 3,17 dapat dicari dengan persamaan 2.27 berikut:

$$t_{e1} = \frac{W_{\text{frame total}}}{C_{\text{ethernet}}} \times 8$$

$$t_{e1} = \frac{224}{10 \times 10^6} \times 8$$

$$t_{e1} = 0,1792 \text{ ms}$$

$$t_{e2} = \frac{W_{\text{frame total}}}{C_{\text{WiMAX}}} \times 8$$

$$t_{e2} = \frac{224}{82,294 \times 10^6} \times 8$$

$$t_{e2} = 0,0232 \text{ ms}$$

Maka *delay* dekapsulasi pada QPSK-1/2 dengan *bit rate* 3,17 dapat dicari dengan persamaan 2.28 berikut:

$$t_{d1} = \frac{W_{\text{frame total}}}{C_{\text{ethernet}}} \times 8$$

$$t_{d1} = \frac{224}{10 \times 10^6} \times 8$$

$$t_{d1} = 0,1792 \text{ ms}$$

$$t_{d2} = \frac{W_{\text{frame total}}}{C_{\text{WiMAX}}} \times 8$$

$$t_{d2} = \frac{224}{82,294 \times 10^6} \times 8$$

$$t_{d2} = 0,0232 \text{ ms}$$

Maka didapatkan *delay* proses :

$$t_{\text{proses}} = t_{d1} + t_{d2} + t_{e1} + t_{e2}$$

$$t_{\text{proses}} = 0,1792 + 0,0232 + 0,1792 + 0,0232$$

$$t_{\text{proses}} = 0,4048 \text{ ms}$$

Dengan cara yang sama diperoleh nilai *delay* proses dengan *subcarrier* 512 pada kanal 5 MHz untuk berbagai jenis tipe modulasi yang lain, seperti QPSK $\frac{3}{4}$, 16 QAM $\frac{1}{2}$, 16 QAM $\frac{3}{4}$, 64 QAM $\frac{1}{2}$, dan 64 QAM $\frac{3}{4}$. Hasil analisis tersebut ditunjukkan pada tabel 4.18 berikut.

Tabel 4.18 Hasil *delay* proses dari *subcarrier* 512

Tipe Modulasi	Laju Data (Mbps) pada Kanal 5 MHz	<i>delay</i> Proses (ms)
QPSK $\frac{1}{2}$	3,17	0,4048
QPSK $\frac{3}{4}$	4,75	0,4044
16 QAM-1/2	6,34	0,3987
16 QAM-3/4	9,5	0,3985
64 QAM-1/2	9,5	0,3941
64 QAM-3/4	14,26	0,3940

(Sumber : Hasil Perhitungan)

4.3.4.2.2 *Delay* propagasi

Delay propagasi adalah jumlah waktu yang dibutuhkan oleh gelombang radio untuk berpropagasi pada media transmisi. Dengan menggunakan teknik modulasi QPSK-1/2 dengan jarak terjauh 1287,4 m, maka besar *delay* propagasi pada medium udara dari *subscriber station* menuju *base station* dapat dihitung dengan persamaan 2.30 :

$$t_{propagasi1} = \frac{dmaks}{v}$$

$$t_{propagasi1} = 1287,4 / 3 \times 10^8$$

$$t_{propagasi1} = 0,0043 \text{ ms}$$

Waktu propagasi pada medium kabel *twisted pair* 100BaseT dari *base station* menuju *router* adalah :

$$t_{propagasi2} = \frac{dmaks1}{v1}$$

$$t_{propagasi2} = \frac{100}{10 \times 10^6}$$

$$t_{propagasi2} = 0,01 \text{ ms}$$

Waktu propagasi pada medium kabel *twisted pair* 100BaseT dari router menuju jaringan internet adalah :

$$t_{propagasi3} = \frac{dmaks2}{v1}$$

$$t_{propagasi3} = \frac{100}{10 \times 10^6}$$

$$t_{propagasi3} = 0,01 \text{ ms}$$

$$t_{Propagasi \text{ total}} = 0,0486 \text{ ms}$$

Dengan cara yang sama diperoleh nilai *delay* propagasi dengan *subcarrier* 512 pada kanal 5 MHz untuk berbagai jenis tipe modulasi yang lain, seperti QPSK $\frac{3}{4}$, 16 QAM $\frac{1}{2}$, 16 QAM $\frac{3}{4}$, 64 QAM $\frac{1}{2}$, dan 64 QAM $\frac{3}{4}$. Hasil analisis tersebut ditunjukkan pada tabel 4.19 berikut.

Tabel 4.19 Hasil *delay* propagasi dari *subcarrier* 512

Tipe Modulasi	Laju Data (Mbps) pada Kanal 5 MHz	<i>delay</i> Propagasi (ms)
QPSK $\frac{1}{2}$	3,17	0,0486
QPSK $\frac{3}{4}$	4,75	0,0477
16 QAM-1/2	6,34	0,0459
16 QAM-3/4	9,5	0,0453
64 QAM-1/2	9,5	0,0441
64 QAM-3/4	14,26	0,0439

(Sumber : Hasil Perhitungan)

4.3.4.2.3 *Delay* transmisi

Delay transmisi adalah waktu yang dibutuhkan untuk meletakkan semua data pada media transmisi, dipengaruhi oleh ukuran paket dan kapasitas media transmisi. *Delay* ini hanya terjadi sekali saja



di sumber informasi. Besar *delay* transmisi sesuai dengan persamaan

2.31:

$$t_{transmisi} = \frac{W_{frame\ total}}{C_{WIMAX}} \times 8$$

$$t_{transmisi} = \frac{224}{82,294 \times 10^6} \times 8$$

$$t_{transmisi} = 0,0232\ ms$$

$$t_{transmisi\ total} = t_{transmisi} \times 2$$

$$t_{transmisi\ total} = 0,0464\ ms$$

Dengan cara yang sama diperoleh nilai *delay* transmisi dengan *subcarrier* 512 pada kanal 5 MHz untuk berbagai jenis tipe modulasi yang lain, seperti QPSK $\frac{3}{4}$, 16 QAM $\frac{1}{2}$, 16 QAM $\frac{3}{4}$, 64 QAM $\frac{1}{2}$, dan 64 QAM $\frac{3}{4}$. Hasil analisis tersebut ditunjukkan pada tabel 4.20 berikut.

Tabel 4.20 Hasil *delay* transmisi dari *subcarrier* 512

Tipe Modulasi	Laju Data (Mbps) pada Kanal 5 MHz	Delay transmisi (ms)
QPSK $\frac{1}{2}$	3,17	0,0464
QPSK $\frac{3}{4}$	4,75	0,0460
16 QAM-1/2	6,34	0,0403
16 QAM-3/4	9,5	0,0401
64 QAM-1/2	9,5	0,0357
64 QAM-3/4	14,26	0,0350

(Sumber : Hasil Perhitungan)

4.3.4.2.4 Delay antrian

Delay antrian adalah waktu yang dibutuhkan data selama berada dalam antrian untuk ditransmisikan. *Delay* ini disebabkan oleh waktu proses yang diperlukan oleh *router* di dalam menangani paket di sepanjang jaringan.

Pada analisis aplikasi VoIP melalui *mobile* WiMAX, model antrian yang digunakan adalah M/G/1 dengan disiplin antrian FIFO.

Model antrian M/G/1 dapat ditulis dengan persamaan 2.32:

$$t_w = \frac{1}{\mu} + \frac{\lambda_w}{\mu^2(1-\rho)}$$

Dengan :

t_w = *delay* antrian (*ms*)

X = waktu rata-rata pelayanan (*ms*)

C = kapasitas kanal (*bps*)

λ_w = kecepatan kedatangan (paket/detik)

μ = kecepatan pelayanan (paket/detik)

ρ = faktor utilitas sistem nirkabel

Faktor utilitas yang digunakan adalah 0.9 dengan model antrian M/G/1, maka *delay* antrian dapat dihitung dengan persamaan 2.32:

$$\mu = \frac{C}{L}$$

$$\mu = \frac{82,294 \text{ Mbps}}{224} \times 8$$

$$\mu = 3,6094 \times 10^5 \text{ paket/detik}$$

Kecepatan kedatangan paket pada BS adalah :

$$\lambda_w = \mu x \rho$$

$$\lambda_w = 3,6094 \times 10^5 \times 0,9$$

$$\lambda_w = 3,2485 \times 10^5$$

Sehingga :

$$t_w = \frac{1}{\mu} + \frac{\lambda_w}{\mu^2(1-\rho)}$$

$$t_w = \frac{1}{3,6094 \times 10^5} + \frac{3,2485 \times 10^5}{3,6094 \times 10^5 \times 10^5 (1-0,9)}$$

$$t_w = 0,0579 \text{ ms}$$

Dengan cara yang sama diperoleh nilai *delay* antrian dengan *subcarrier* 512 pada kanal 5 MHz untuk berbagai jenis tipe modulasi yang lain, seperti QPSK $\frac{3}{4}$, 16 QAM $\frac{1}{2}$, 16 QAM $\frac{3}{4}$, 64 QAM $\frac{1}{2}$,

dan 64 QAM $\frac{3}{4}$. Hasil analisis tersebut ditunjukkan pada tabel 4.21 berikut.

Tabel 4.21 Hasil *delay* antrian dari *subcarrier* 512

Tipe Modulasi	Laju Data (Mbps) pada Kanal 5 MHz	<i>delay</i> antrian (ms)
QPSK $\frac{1}{2}$	3,17	0,0579
QPSK $\frac{3}{4}$	4,75	0,0574
16 QAM-1/2	6,34	0,0503
16 QAM-3/4	9,5	0,0502
64 QAM-1/2	9,5	0,0446
64 QAM-3/4	14,26	0,0440

(Sumber : Hasil perhitungan)



Maka *delay* MAN aplikasi VoIP melalui *mobile* WiMAX ditunjukkan pada tabel 4.22 di bawah :

Tabel 4.22 Hasil *delay* MAN dari *subcarrier* 512

Tipe Modulasi	Laju Data (Mbps) pada Kanal 5 MHz	Delay proses (ms)	Delay propagasi (ms)	Delay Transmisi (ms)	delay antrian (ms)	Delay MAN (ms)
QPSK 1/2	3,17	0,4048	0,0486	0,0464	0,0579	0,5576
QPSK 3/4	4,75	0,4044	0,0477	0,0460	0,0574	0,5558
16 QAM-1/2	6,34	0,3987	0,0459	0,0403	0,0503	0,5352
16 QAM-3/4	9,5	0,3985	0,0453	0,0401	0,0502	0,5342
64 QAM-1/2	9,5	0,3941	0,0441	0,0357	0,0446	0,5184
64 QAM-3/4	14,26	0,3940	0,0439	0,0350	0,0440	0,5179

(Sumber : Hasil perhitungan)

Maka besar *delay end to end* aplikasi VoIP melalui *mobile WiMAX* ditunjukkan pada tabel 4.23 berikut:

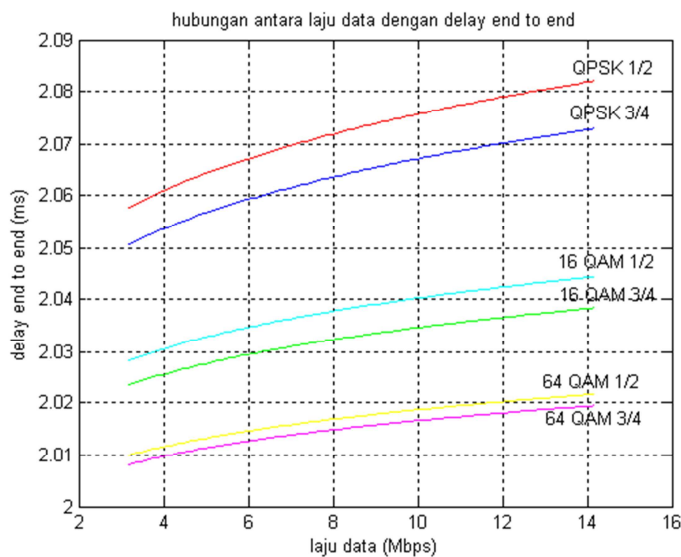
Tabel 4.23 Hasil *delay end to end* dari *subcarrier 512*

Tipe Modulasi	Laju Data (Mbps) pada Kanal 5 MHz	Delay codec (ms)	Delay MAN (ms)	Delay end to end (ms)
QPSK $\frac{1}{2}$	3,17	1,5	0,5576	2,0567
QPSK $\frac{3}{4}$	4,75	1,5	0,5558	2,0558
16 QAM-1/2	6,34	1,5	0,5352	2,0352
16 QAM-3/4	9,5	1,5	0,5342	2,0342
64 QAM-1/2	9,5	1,5	0,5184	2,0184
64 QAM-3/4	14,26	1,5	0,5179	2,0179

(Sumber : Hasil perhitungan)

Penggunaan tipe modulasi yang berbeda dengan laju data berbeda, dapat dilihat dari gambar 4.6 dapat dianalisis bahwa semakin besar laju data yang digunakan maka *delay end to end* mengalami perubahan logaritmik semakin besar. Selain itu dapat dianalisis pula bahwa semakin kecil laju data yang digunakan yaitu pada QPSK-1/2 yang memiliki laju data sesuai standar IEEE 802.16e sebesar 3,17 Mbps maka *delay end to end* yang terjadi semakin besar yaitu 2,0567 ms jika dibandingkan dengan tipe modulasi lain pada laju data yang sama. Begitu juga sebaliknya semakin besar laju data yang digunakan yaitu pada 64 QAM-3/4 yang memiliki laju data sesuai standar IEEE 802.16e sebesar 14,26 Mbps maka *delay end to end* yang terjadi semakin kecil yaitu 2,0179 ms jika dibandingkan dengan tipe modulasi lain pada laju data yang sama.

Hasil perhitungan *delay end to end* di tiap tipe modulasi dengan laju data yang telah disesuaikan dengan IEEE 802.16e dapat dilihat pada tabel 4.23. Pada gambar 4.6 menunjukkan hubungan antara variasi laju data yang digunakan dengan *delay end to end* di setiap tipe modulasi.



Gambar 4.6 Grafik hubungan antara laju data dengan delay end to end

(Sumber : Analisis)

4.3.5 Analisis Throughput

Dalam analisis *throughput* pada VoIP melalui *mobile WiMAX*, adalah *throughput WirelessMAN* dari *base station* ke komputer/laptop di sisi penerima. Waktu transmisi paket data pada QPSK-1/2 dengan *bit rate* 3.17 Mbps dapat dihitung dengan persamaan 2.31:

$$t_{transmisi} = \frac{W_{frame\ total}}{C_{WIMAX}} \times 8$$

$$t_{transmisi} = \frac{228}{82,294 \times 10^6} \times 8$$

$$t_{transmisi} = 0,0464\ ms$$

Konstanta propagasi dengan menggunakan QPSK-1/2 dihitung dengan persamaan

2.40:

$$\alpha = \left(3 + \frac{2xt_{prop} + 2t_{trans}}{t_{trans}} \right)$$

$$\alpha = \left(3 + \frac{2 \times 0,0486 + 2 \times 0,0464}{0,122164} \right)$$

$$\alpha = 5,3703$$

Dengan nilai probabilitas yang telah dicari di persamaan sebelumnya, maka nilai *throughput* dapat diketahui dengan persamaan 2.39 berikut:

$$\lambda = \frac{(1 + \rho)}{t_{transmisi}[1 + (\alpha - 1)\rho]}$$

$$\lambda = 43,105 \text{ paket/detik}$$

Dengan cara yang sama diperoleh nilai *throughput* dengan *subcarrier* 512 pada kanal 5 MHz untuk berbagai jenis tipe modulasi yang lain, seperti QPSK $\frac{3}{4}$, 16 QAM $\frac{1}{2}$, 16 QAM $\frac{3}{4}$, 64 QAM $\frac{1}{2}$, dan 64 QAM $\frac{3}{4}$. Hasil analisis tersebut ditunjukkan pada tabel 4.24 berikut.

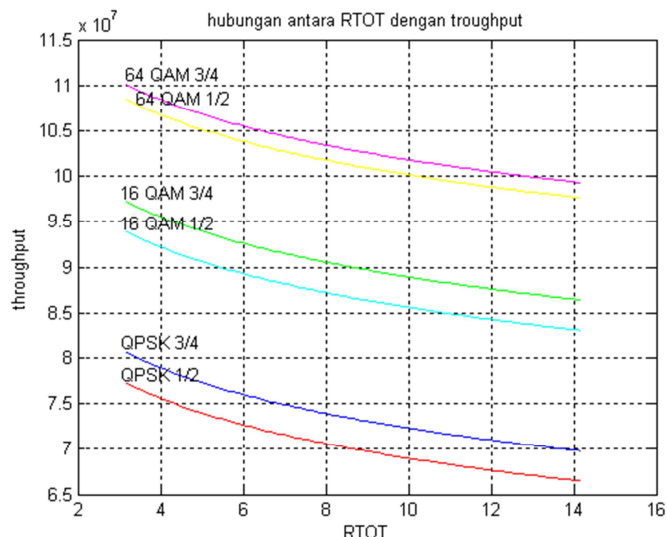
Tabel 4.24 Hasil *throughput* dari *subcarrier* 512

Tipe Modulasi	Laju Data (Mbps) pada Kanal 5 MHz	Throughput (paket/detik)	Throughput (Mbps)
QPSK $\frac{1}{2}$	3,17	43105	77,245
QPSK $\frac{3}{4}$	4,75	43400	77,772
16 QAM-1/2	6,34	49570	88,829
16 QAM-3/4	9,5	49785	89,215
64 QAM-1/2	9,5	56046	100,44
64 QAM-3/4	14,26	56244	99,294

(Sumber : Hasil Perhitungan)

Pada analisis *throughput* VoIP melalui *mobile* WiMAX yang dilakukan adalah *throughput* *WirelesMAN* dari *base station* ke komputer/laptop di sisi penerima. Penggunaan tipe modulasi yang berbeda dengan laju data berbeda, dapat dilihat dari gambar 4.7 dari gambar tersebut dapat dianalisis bahwa semakin besar laju data yang digunakan maka *throughput* memiliki kecenderungan berubah secara logaritmik menjadi semakin kecil. Pada gambar 4.7 juga dapat dianalisis bahwa semakin kecil laju data yang digunakan yaitu pada QPSK-1/2 dimana memiliki laju data sesuai standar IEEE 802.16e sebesar 3,17 Mbps maka *throughput* yang terjadi semakin kecil yaitu 77,245 Mbps jika dibandingkan dengan tipe modulasi lain pada laju data yang sama. Begitu juga semakin besar laju data yang digunakan yaitu pada 64 QAM-3/4 pada saat memiliki laju data sesuai standar IEEE 802.16e sebesar 14,26 Mbps maka *throughput* yang terjadi semakin besar yaitu 99,294 Mbps, kondisi ini terjadi jika dibandingkan dengan tipe modulasi lain pada laju data yang sama

Hasil perhitungan *throughput* di tiap tipe modulasi dengan laju data yang telah disesuaikan dengan IEEE 802.16e dapat dilihat pada tabel 4.24. Pada gambar 4.7 menunjukkan hubungan antara variasi laju data yang digunakan dengan *throughput* di setiap tipe modulasi.



Gambar 4.7 Grafik hubungan antara laju data dengan *throughput*
(Sumber : Analisis)

Pada tabel 4.25 menunjukkan bahwa pada tipe modulasi yang berbeda didapatkan *delay end to end* dan *throughput* yang bervariasi. Namun dari nilai-nilai tersebut masih dalam batas yang masih dapat ditoleransi.

Tabel 4.25 Analisis *delay end to end*, *packet loss* dan *throughput* dari subcarrier 512

Type Modulasi	laju data (Mbps) pada kanal 5 MHz	Delay end to end (<150 ms)	Throughput (> 90 %)
QPSK 1/2	3,17	2,0567	99,9141
QPSK 3/4	4,75	2,0558	99,9147
16 QAM-1/2	6,34	2,0352	99,9154
16 QAM-3/4	9,5	2,0342	99,9158
64 QAM-1/2	9,5	2,0184	99,9164
64 QAM-3/4	14,26	2,0179	99,9166

(Sumber : Hasil Perhitungan)

BAB V

PENUTUP

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis dan simulasi perhitungan dengan menggunakan program matlab, maka didapatkan beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. *Bandwidth (full duplex)* yang digunakan pada aplikasi VoIP dengan dengan *bit rate audio* 64 Kbps adalah 160 Kbps.
2. Tipe modulasi QPSK-1/2 dengan daya terima minimum paling kecil memiliki *path loss* tertinggi yaitu 139 dB, sedangkan 64 QAM-3/4 dengan daya terima minimum paling besar memiliki *path loss* terendah yaitu 124 dB.
3. Kapasitas kanal pada *mobile* WiMAX dengan menggunakan tipe modulasi yang berbeda didapatkan nilai yang lebih besar daripada kapasitas minimum yang dibutuhkan untuk melewati suara (*voice*). Kapasitas kanal minimum didapatkan dari tipe modulasi QPSK-1/2 yang memiliki laju data terendah didapatkan sebesar 77,311 Mbps.
4. Penggunaan tipe modulasi yang berbeda pada *mobile* WiMAX didapatkan bahwa tipe modulasi QPSK-1/2 dengan laju data rendah memiliki SNR yang kecil yaitu 45,144 KW, sedangkan tipe modulasi 64 QAM-3/4 dengan laju data tinggi memiliki SNR yang paling tinggi yaitu 95,205 KW jika dibandingkan dengan tipe modulasi lain pada laju data yang sama.
5. Penggunaan tipe modulasi QPSK-1/2 dengan *path loss* paling besar, didapatkan jarak jangkau dari *base station* ke *subscriber station* yang paling besar yaitu 1287,4 m sedangkan jika menggunakan tipe modulasi dengan *path loss* paling kecil 64 QAM-3/4 maka akan didapatkan jarak jangkau dari *base station* ke *subscriber station* paling kecil yaitu 579,4257 m.
6. Total *delay end to end* pada analisis performansi VoIP melalui *mobile* WiMAX dipengaruhi oleh tipe modulasi yang digunakan dan jarak antara *base station* dan *subscriber station*. *Delay end to end* terlama adalah 2,0567 ms dengan

menggunakan tipe modulasi QPSK-1/2 sedangkan *delay end to end* paling kecil terdapat pada tipe modulasi 64 QAM-3/4 dengan *delay* yang terjadi adalah 2,0179 *ms*. *Delay* yang terjadi pada tiap tipe modulasi masih dapat ditoleransi pada aplikasi VoIP, karena *delay* maksimum kurang dari 150 *ms*.

7. Dengan menggunakan beberapa tipe modulasi pada *mobile* WiMAX, didapatkan bahwa tipe modulasi QPSK-1/2 memiliki *throughput* paling kecil yaitu 77,245 *Mbps*, sedangkan *throughput* tertinggi dimiliki tipe modulasi 64 QAM-3/4 yaitu 99,294 *Mbps* jika dibandingkan dengan tipe modulasi lain pada laju data yang sama. Ketika dibandingkan dengan kapasitas kanal pada sisi masukan didapatkan bahwa QPSK-1/2 memiliki *throughput* sebesar 99.9141% dan 64 QAM 3/4 memiliki *throughput* sebesar 99.9166%. Sehingga *throughput* yang terjadi di tiap tipe modulasi masih dapat ditoleransi karena *throughput* masih > 90 %.

5.2. Saran

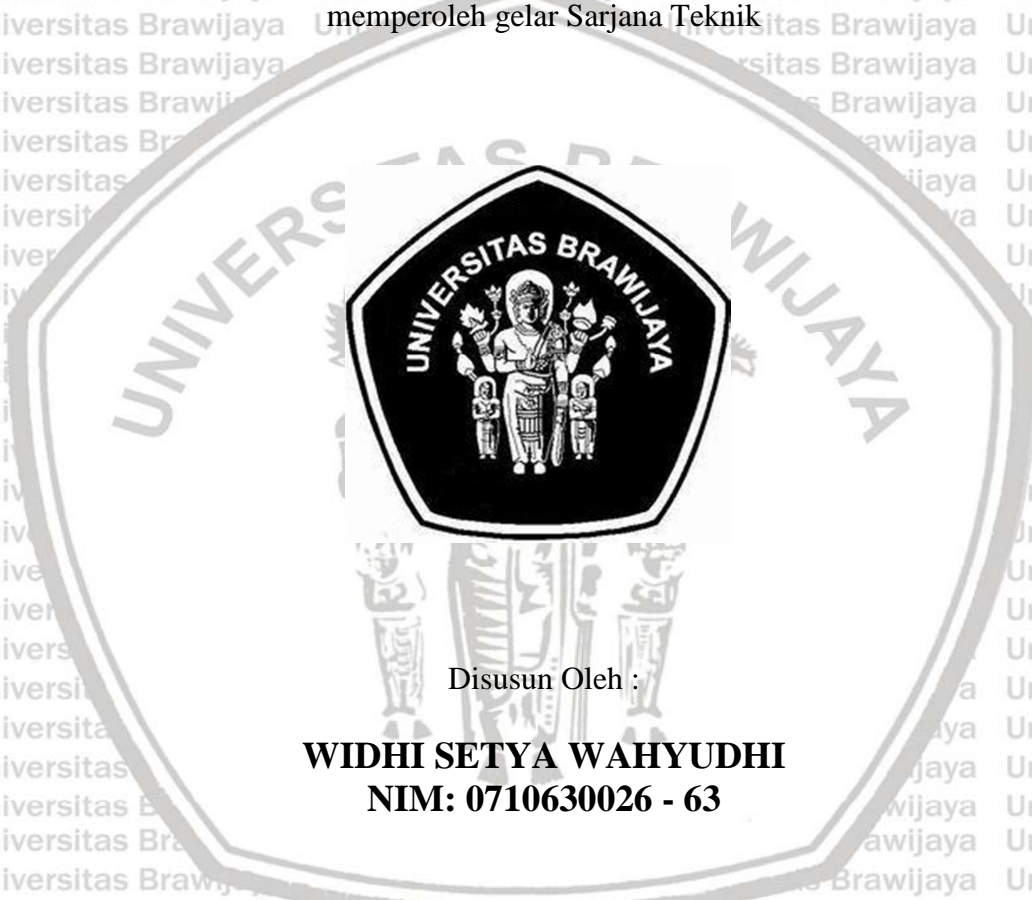
Saran yang dapat diberikan adalah :

1. Menganalisis performansi dengan mengubah beberapa variabel yang ada seperti faktor *cyclic prefix*, daya penerima minimum dan kondisi daerah yang lain.
2. Menganalisis performansi *mobile* WiMAX pada aplikasi yang lain seperti *video streaming* dan IPTV.

**PERFORMANSI VOIP (VOICE OVER INTERNET PROTOCOL)
MELALUI MOBILE WIMAX**

**SKRIPSI
KONSENTRASI TEKNIK TELEKOMUNIKASI**

Diajukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik



Disusun Oleh :

**WIDHI SETYA WAHYUDHI
NIM: 0710630026 - 63**

**KEMENTERIAN PENDIDIKAN NASIONAL
UNIVERSITAS BRAWIJAYA
FAKULTAS TEKNIK
MALANG
2011**



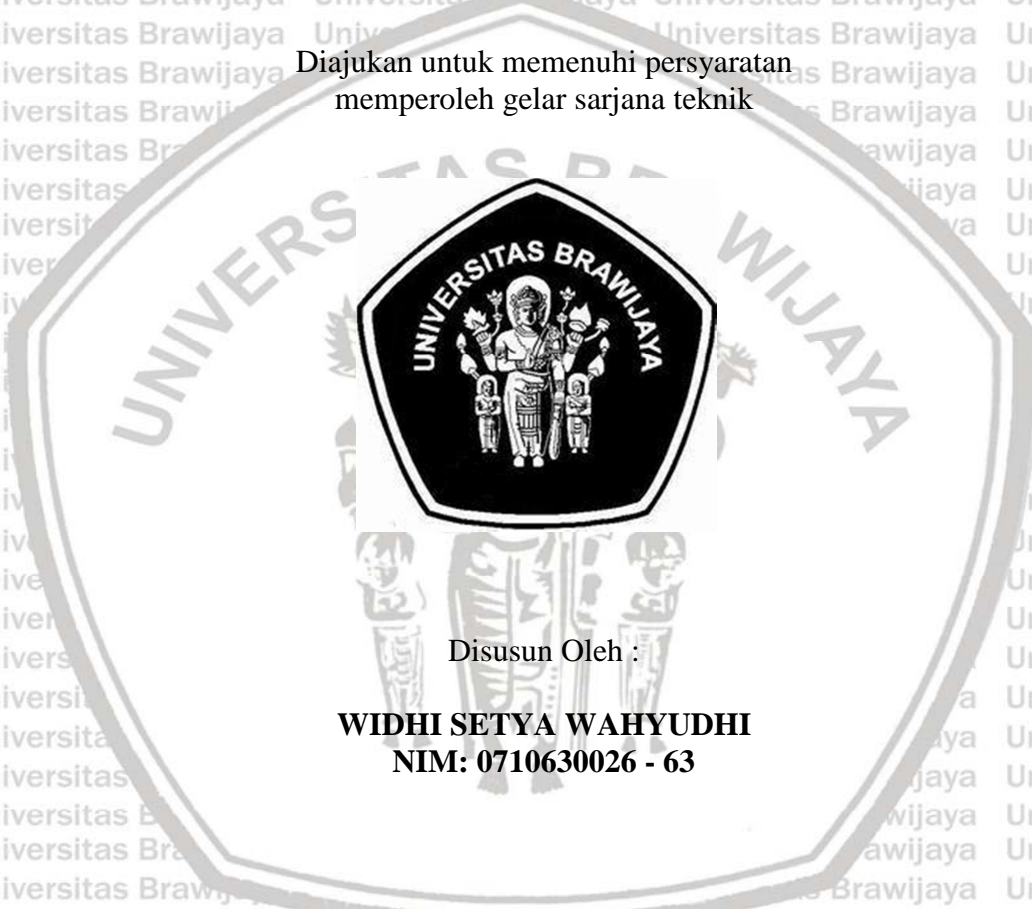


LEMBAR PERSETUJUAN

**PERFORMANSI VOIP (VOICE OVER INTERNET PROTOCOL)
MELALUI MOBILE WIMAX**

**SKRIPSI
KONSENTRASI TEKNIK TELEKOMUNIKASI**

Diajukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar sarjana teknik



Disusun Oleh :

WIDHI SETYA WAHYUDHI
NIM: 0710630026 - 63

Telah diperiksa dan disetujui oleh
Dosen Pembimbing

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

Asri Wulandari, ST., MT.
NIP. 19750301 199903 2 001



LEMBAR PENGESAHAN

**PERFORMANSI VOIP (VOICE OVER INTERNET PROTOCOL)
MELALUI MOBILE WIMAX**

Disusun Oleh :

**WIDHI SETYA WAHYUDHI
NIM: 0710630026 - 63**

Skripsi ini telah diuji dan dinyatakan lulus
pada tanggal **10 Agustus 2011**

Majelis Penguji :

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

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

Gagak Asmungi, ST., MT.
NIP. 19670627 199802 1 001

Mengetahui :
Ketua Jurusan Teknik Elektro

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

PENGANTAR

Alhamdulillah, segenap puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat, hidayah, dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi dengan judul “Performansi VoIP (*Voice over Internet Protocol*) melalui *Mobile WiMAX*” yang diajukan untuk memenuhi sebagian persyaratan memperoleh gelar Sarjana Teknik. Tidak lupa pula shalawat serta salam selalu penulis sampaikan kepada junjungan besar Nabi Muhammad SAW yang telah membawa kita menuju ke jalan yang terang.

Sungguh hanya melalui Pertolongan dan Perlindungan Allah SWT semata sehingga kami dapat menyelesaikan skripsi ini. Dengan seizin Allah SWT, Penulis ingin mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada berbagai pihak yang telah membantu dan mendukung dalam penyelesaian skripsi ini, yaitu :

1. Keluarga tercinta,

Ibunda rr. Dhini Dwi Astiwi, Ayahanda Juwito, kakak Wike Agustin Primadania, Dani Retno Andrianti, Beni Eri Arianto, dan adik Toni Setyo Prabowo yang selalu memberikan doa, kasih sayang, semangat, dukungan dan kepercayaan yang tiada akhir hingga hari ini..

2. Ibu Ir. Endah Budi Purnomowati, MT. dan Ibu Asri Wulandari, ST., MT. selaku dosen pembimbing skripsi yang banyak memberikan saran, konsultasi, kesabaran, dan waktu.

3. Bapak Rudy Yuwono, ST., MSc. selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro dan Bapak M. Aziz Muslim, ST. MT., Ph.D, selaku sekretaris Jurusan Teknik Elektro.

4. Ibu Ir. Endah Budi Purnomowati, MT. selaku Ketua Laboratorium Telekomunikasi dan Mas Iswanto, ST. selaku laboran.

5. Bapak dan Ibu dosen serta segenap staf dan karyawan Jurusan Teknik Elektro.

6. Firda Ardyani, cahaya hati yang selalu memberikan doa, semangat, dukungan, kasih sayang, dan kepercayaan yang tiada akhir hingga hari ini.

7. Keluarga besar angkatan 2007 “Core” terima kasih atas persahabatan, semangat dan untuk segalanya.

8. Rekan-rekan asisten Laboratorium Telekomunikasi ‘07, ‘08, ‘09, ‘06, ‘05, dan ‘04 terima kasih telah memberi kesempatan, pelajaran, dan pengalaman hidup bagi kami, serta bebagai saran dan motivasinya.

9. Sahabat-sahabat setia yang selalu memberikan nasehat dan motivasi di kala senang maupun sedih.

10. Dan untuk semua pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu-persatu.

Dalam penulisan skripsi ini, penulis menyadari adanya kekurangan dan ketidaksempurnaan. Oleh karena itu, penulis sangat mengharapkan kritik dan saran yang membangun untuk kelengkapan dan kesempurnaan skripsi ini. Penulis berharap semoga skripsi ini dapat bermanfaat khususnya bagi rekan-rekan mahasiswa.

Malang, Agustus 2011

Penulis

