

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Umum

Perkembangan teknologi telekomunikasi saat ini ditandai dengan semakin banyaknya aplikasi yang digunakan untuk berkomunikasi dalam jarak jauh, salah satunya adalah aplikasi *video conference*. *Video conference* bersifat *real time* dan dapat mengakses *audio* maupun *video* secara bersamaan. Dengan menggunakan aplikasi ini, pengguna dapat berinteraksi secara tatap muka langsung walaupun sedang dalam tempat yang berbeda. Salah satu jaringan yang dapat digunakan untuk aplikasi ini adalah WiMAX IEEE 802.16e. WiMAX IEEE 802.16e mempunyai beberapa keunggulan, salah satunya adalah penggunaan modulasi adaptif yang memungkinkan terjadinya perubahan skema modulasi yang disesuaikan oleh kondisi kanal sehingga dapat menjaga kualitas sinyal hingga sampai ke penerima.

Pada bab ini akan dibahas mengenai teori jaringan *mobile* WiMAX, teknik modulasi, serta *video conference* yang merupakan layanan yang digunakan dalam penelitian ini. Selain itu juga membahas parameter-parameter yang digunakan untuk mengetahui bagaimana performansi teknik modulasi untuk layanan *video conference* pada jaringan *mobile* WiMAX.

2.2 *Worldwide Interoperability for Microwave Access (WiMAX) IEEE 802.16e*

WiMAX IEEE 802.16e atau yang biasa dikenal dengan sebutan *mobile* WiMAX merupakan sebuah solusi jaringan nirkabel pita lebar yang memungkinkan konvergensi antara jaringan nirkabel *mobile* dan *fixed* melalui akses teknologi radio. *Mobile* WiMAX juga merupakan salah satu upaya untuk menjawab kebutuhan *data rate* yang besar, daya jangkauan yang luas, dan menggunakan perangkat yang bergerak. Dengan *data rate* yang tinggi memungkinkan jaringan tersebut dapat melayani berbagai macam transmisi, baik transmisi data, *voice* maupun *video*. Profil *mobile* WiMAX yang pertama kali dikeluarkan oleh IEEE mencakup *channel bandwidth* 5,

7, 8.75, dan 10 MHz yang dialokasikan pada *licensed spectrum* di 2.3, 2.5, 3.3, dan 3.5 GHz. (WiMAX Forum. 2006)

2.3 Worldwide Interoperability for Microwave Access (WiMAX)

Worldwide Interoperability for Microwave Access (WiMAX) merupakan teknologi komunikasi data nirkabel yang dikembangkan untuk meningkatkan kinerja dan kapasitas serta jangkauan layanan. WiMAX IEEE 802.16 beroperasi pada frekuensi 10-66 GHz dan kondisi LOS, tetapi pengembangan IEEE 802.16a menggunakan frekuensi yang lebih rendah yaitu 2-11 GHz. WiMAX dapat mencakup area 50km dan kecepatan pengiriman data sebesar 70 Mbps. Standar IEEE 802.16a diperbaharui menjadi IEEE 802.16b yang menekankan segala keperluan dan permasalahan *Quality of Service (QoS)*, lalu IEEE 802.16c menekankan pada interoperability dan IEEE 802.16e pada penggunaan *mobile* yang merupakan versi terbaru dari WiMAX yang mempunyai kemampuan dalam mengoptimisasi kanal radio. Teknologi WiMAX juga merupakan solusi untuk kota atau daerah pedesaan yang belum berkembang dalam penyediaan akses internet. (C. Widyo Hermawan, 2007)

2.3.1 Standar WiMAX

Standar yang digunakan WiMAX mengacu pada standar IEEE 802.16. Jenis dari standar 802.16 ini ialah : 802.16, 802.16a, 802.16d dan 802.16e.

Tabel 2.1. Standar *Mobile* WiMAX

No	Parameter	Keterangan
1	Standar	IEEE 802.16e-2005
2	Status	Desember 2005
3	Frekuensi	2GHz–11GHz untuk <i>fixed</i> ; 2GHz–6GHz untuk aplikasi <i>mobile</i>
4	Aplikasi	<i>Fixed</i> dan <i>mobile</i> NLOS
5	MAC architecture	<i>Point-to-multipoint, mesh</i>

No	Parameter	Keterangan
6	Skema Transmisi	Single carrier, 256 OFDM or scalable OFDM with 128, 512, 1,024, or 2,048 subcarriers
7	Modulasi	QPSK, 16 QAM, 64 QAM
8	Total Laju Data	1 Mbps-75 Mbps
9	Multiplexing	Burst TDM/TDMA/OFDMA
10	Duplexing	TDD dan FDD
11	Bandwidth Kanal	1.75MHz, 3.5MHz, 7MHz, 14MHz, 1.25MHz, 5MHz, 10MHz, 15MHz, 8.75MHz
12	Implementasi WiMAX	Scalable OFDMA sebagai Mobile WiMAX

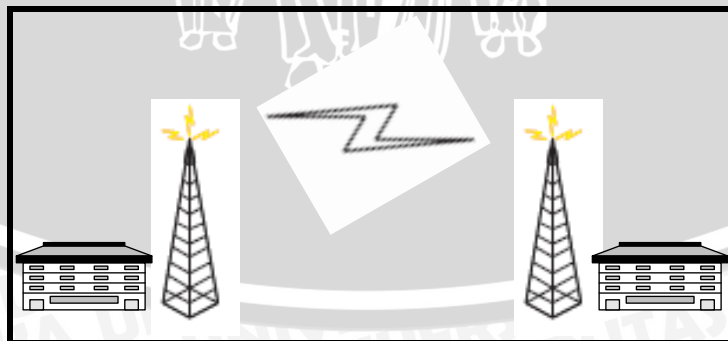
(Sumber Jeffrey G. Andrews, Arunabha Ghosh, Rias Muhamed, 2007 : 64)

2.3.2 Topologi Jaringan WiMAX

Teknologi WiMAX mempunyai beberapa topologi jaringan, yaitu *point to point*, *point to multipoint* dan pengembangan.

a. Point to Point

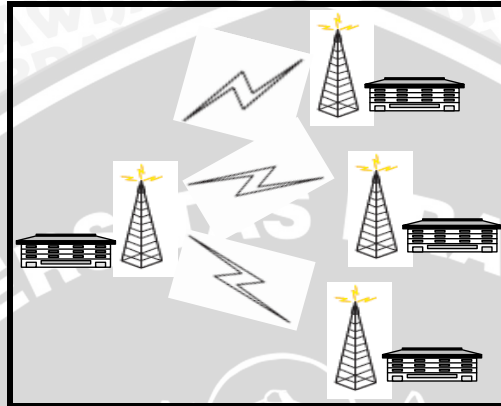
Point to Point adalah jaringan yang menghubungkan antara dua terminal. Antara sisi pemancar dan sisi penerima terdapat 1 perangkat pemancar dan 1 perangkat penerima.



Gambar 2.1 Metode *Point to Point*
(Sumber: www.wimaxforum.org)

b. *Point to Multipoint*

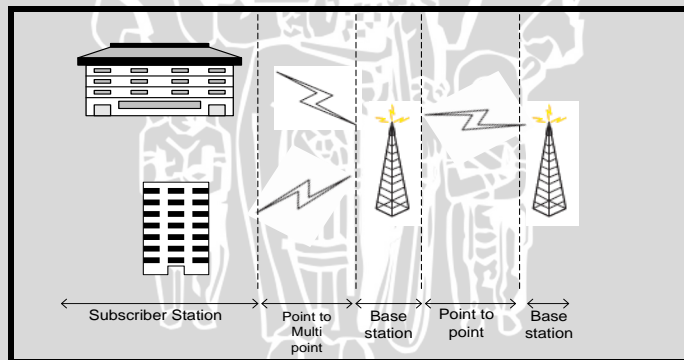
Point to Multipoint adalah jaringan yang menghubungkan antara sisi pemancar dan sisi penerima dimana 1 perangkat pemancar (*Base Station*) dapat melayani banyak pelanggan yang berbeda-beda.



Gambar 2.2 Metode *Point to Multipoint*
(Sumber: www.wimaxforum.org)

c. Pengembangan

Topologi pengembangan merupakan topologi gabungan antara topologi *point to point* dan topologi *point to multipoint*.

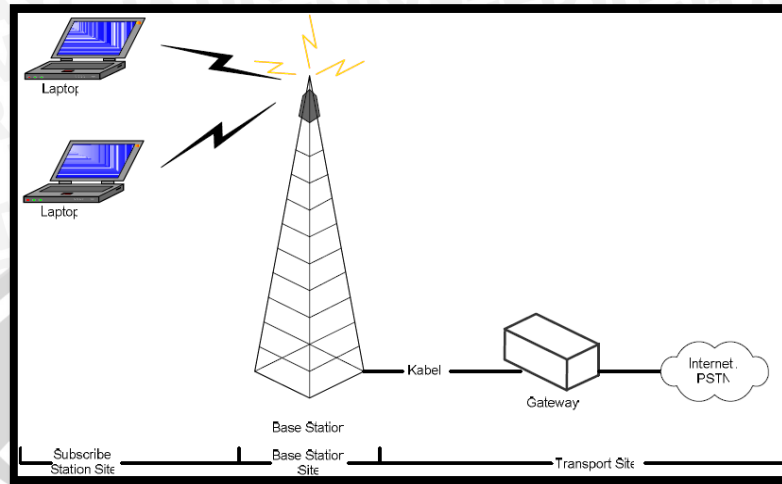


Gambar 2.3 Metode *Mesh*
(Sumber: www.sinauonline.50webs.com/GSM.html)

2.3.3 Konfigurasi Jaringan WiMAX

Sistem WiMAX terdiri dari beberapa bagian, yaitu *Base Station* (BS) di sisi pusat dan *Subscriber Station* (SS) di sisi pelanggan. *Base Station* dihubungkan dengan metode *point to multipoint* untuk melayani banyak pelanggan bergantung dari

frekuensi, daya pancar dan sensitivitas penerima. Konfigurasi jaringan WiMAX dapat dilihat pada Gambar 2.2 berikut :



Gambar 2.4 Konfigurasi jaringan WiMAX.

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

Dalam Gambar 2.2 digambarkan bahwa konfigurasi WiMAX terdiri dari :

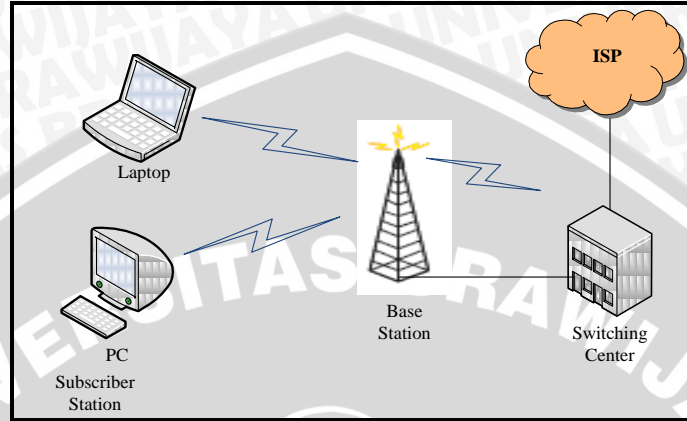
- *Subscriber Station (SS) site* : bagian ini terdiri dari *Customer Premise Equipment (CPE)* atau dapat berupa laptop. Bagian ini berfungsi sebagai peralatan yang digunakan oleh *user/pengguna*. Terdapat dua macam user yang telah ditetapkan oleh IEEE yaitu *fixed user* dan *mobile user*.
- *Base Station (BS) site* : bagian ini terdiri dari *Base Station (BS)*. Bagian ini berfungsi untuk menghubungkan *Subscriber Station (SS) site* dengan *transport site*.
- *transport site (bagian backend)* : bagian ini terdiri dari jaringan *internet/PSTN*. Bagian ini berfungsi untuk menghubungkan *Base Station* dengan *internet*.

2.3.4 Prinsip Kerja WiMAX

Secara umum prinsip kerja WiMAX adalah sebagai berikut:

- Pelanggan mengirimkan data dengan kecepatan 2 – 155 Mbps dari *Subscriber Station (SS)* ke *Base Station (BS)* melalui media gelombang radio
- BS akan menerima sinyal dari berbagai pelanggan dan mengirimkan pesan melalui *wireless* atau kabel ke *switching center* melalui protokol IEEE 802.16

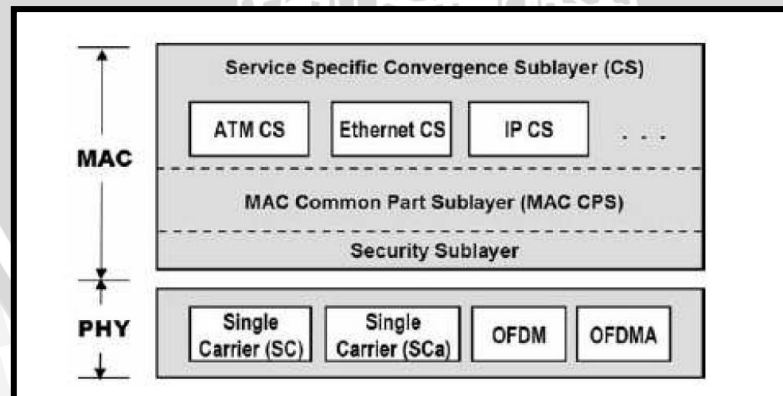
- *Switching center* akan mengirimkan pesan ke *internet service provider* atau *public switched telephone network* (PSTN) melalui kabel. (Gunawan Wibisono, 2009) :



Gambar 2.5 Prinsip kerja WiMAX.
 (Sumber : <http://www.wimax360.com>)

2.3.5 Layer WiMAX

Pada jaringan WiMAX standar IEEE 802.16e terdapat dua macam layer yaitu *layer Physical* (PHY) dan *Medium Access Control* (MAC). *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. (Kwang-Cheng Chen, 2008).



Gambar 2.6 Protokol IEEE 802.16/16e.
 (Sumber : Kwang-Cheng Chen and J. Roberto B. de Marca, 2008)

2.3.5.1 PHY layer

Lapisan fisik (PHY layer) pada WiMAX didasarkan pada teknologi (*Orthogonal Frequency Division Multiplexing*). OFDM merupakan skema transmisi yang memungkinkan komunikasi berlangsung dalam kondisi multipath LOS dan NLOS antara *Base Station* (BS) dan *Subscriber Station* (SS). 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

2.3.5.2 MAC layer

Pada MAC Layer digunakan dua jalur data berkecepatan data tinggi untuk komunikasi dua arah antara BS dan SS, masing-masing disebut dengan *Up Link* (UL) untuk komunikasi menuju ke BS, dan *Down Link* (DL) untuk komunikasi dari BS. MAC layer terdiri dari tiga *sublayer* yaitu *Service Specific Convergence Sublayer* (SS-CS), *MAC Common Part Sublayer* dan *Security Sublayer*. MAC layer juga berfungsi untuk mengakomodasi *throughput* data kecepatan tinggi melalui *physical layer*. MAC layer mempunyai karakteristik *connection identifier* (CID) yang digunakan untuk membedakan kanal *uplink* dan *downlink*. Setiap SS memiliki MAC *address* dengan lebar standar 48 bit. (Gunawan Wibisono,2009)

2.3.6 Teknologi pada WiMAX

Teknologi *wireless* memerlukan jalur *Line of Sight* (LOS) antara pengirim dan penerima, bila terjadi kondisi *Non Line of Sight* (NLOS) maka akan terjadi redaman propagasi yang dapat menurunkan kualitas sinyal. Teknologi WiMAX didesain untuk kondisi LOS dan NLOS. Teknologi WiMAX dapat mampu mengatasi dan mengurangi permasalahan tersebut dikarenakan memiliki keunggulan yang disebabkan oleh penggunaan :

2.3.6.1 Modulasi Adaptif

Modulasi Adaptif memungkinkan WiMAX mengatur pola sinyal modulasi bergantung pada kondisi *signal to noise ratio* (SNR) *radio link*. *Signal to noise ratio* (SNR) merupakan istilah yang digunakan untuk menggambarkan seberapa kuat sinyal dibandingkan dengan gangguan di sekeliling yang mengganggu sinyal. Nilai SNR dinyatakan dalam persamaan berikut : (Mustafa Ergen,2009)

$$SNR_{(dB)} = P_r(dBm) - N_o(dBm) \quad (2-1)$$

dengan :

SNR = *signal to noise ratio* (dB)

P_r = daya yang diterima (dBm)

N_o = daya *noise* saluran transmisi (dBm)

Sedangkan untuk perhitungan daya *noise* dinyatakan dalam persamaan berikut:

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

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 = *bandwidth* (Hz)

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

$$SNR_{sistem} = (1 - \alpha_{CP})SNR \quad (2-3)$$

Dengan:

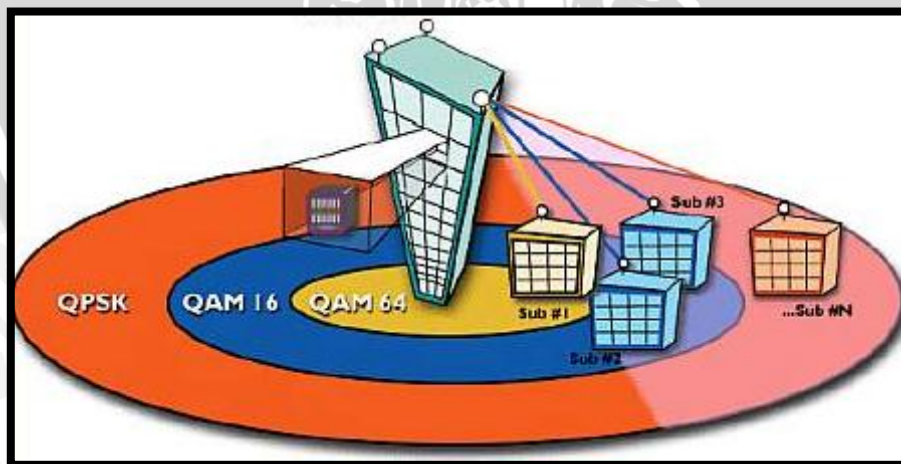
SNR_{sistem} = *signal to noise ratio* sistem (dB)

SNR = *signal to noise ratio* (dB)

α_{cp} = faktor *cyclic prefix*

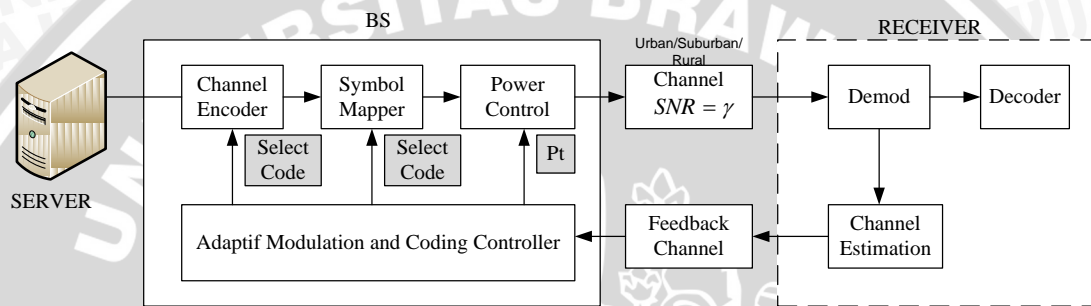
Pada modulasi adaptif, terdapat kondisi dimana *radio link* dengan kualitas yang baik maka digunakan pada modulasi yang terbaik pula, sehingga memberikan sistem dengan kapasitas yang lebih besar. Akibat adanya sinyal *fade*, modulasi pada WiMAX dapat beralih ke pola modulasi dengan kualitas yang lebih rendah untuk menjaga kestabilan kualitas hubungan.

Fitur modulasi adaptif ini menyediakan sistem untuk melawan *time-selective-fading* di mana kunci dari modulasi adaptif adalah meningkatkan rentang pola modulasi untuk dapat digunakan pola modulasi dengan kualitas yang terbaik. Ini dikarenakan sistem dapat mengalihkan kondisi *fading*. Sebagai sarana untuk meningkatkan pola modulasi yang tetap maka dalam perhitungannya digunakan parameter pada kondisi yang paling buruk.



Gambar 2.7. Modulasi Adaptif pada WiMAX
(Sumber: Lingga Wardhana, 2010)

Gambar 2.7 menunjukkan modulasi tingkat tinggi seperti 64 QAM digunakan di lokasi yang dekat dengan BS di mana kualitas sinyal paling baik dan modulasi ini terdegradasi ke level yang lebih rendah seperti QPSK sesuai dengan penurunan kualitas sinyal untuk memperoleh jangkauan yang lebih jauh. Pada umumnya sistem OFDM di pasaran dapat menerapkan modulasi adaptif secara otomatis dan manual. Sistem dengan modulasi adaptif manual memungkinkan operator mengatur sendiri modulasi untuk memperoleh *throughput* dan jarak yang diinginkan sesuai dengan kondisi lingkungan. (Wardhana dkk, 2010).



Gambar 2.8. Diagram Blok Modulasi Adaptif

(Sumber: Jeffrey G. Andrews, Arunabha Ghosh, Rias Muhamed, 2007)

Gambar 2.8 menggambarkan blok diagram modulasi adaptif pada jaringan WiMAX. Gambar tersebut menerangkan bahwa user mencoba mengunduh data melalui kanal downlink dengan nilai SNR yang bervariasi bergantung dari kondisi kanal itu sendiri. Dan BS memiliki tujuan yaitu mentransmisikan data dengan kecepatan tinggi dengan tujuan agar data yang didemodulasi dan dikodekan tetap handal disisi penerima . Oleh karena itu, perubahan pola modulasi secara otomatis yang dilakukan oleh AMC Controller pada BS diperlukan agar penerima mendapatkan modulasi yang tepat sehingga komunikasi berjalan dengan baik. Dalam kondisi ini, kanal feedback memegang peranan penting untuk AMC controller. Pada AMC controller terdapat channel encoder yang berfungsi untuk melakukan proses pengkodean dan memilih jenis pengkodean yang dipakai, symbol mapper yang berfungsi untuk memetakan symbol dan power control yang bertujuan untuk mengontrol besar daya yang akan dipancarkan.

Pada *mobile* WiMAX, digunakan beberapa teknik modulasi digital diantaranya:

a. Binary Phase Shift Keying (BPSK)

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

$$P_b = P_s = Q\left(\sqrt{\frac{2E_b}{N_0}}\right) \quad (2-4)$$

dengan

P_b : kemungkinan untuk terjadinya simbol *error*

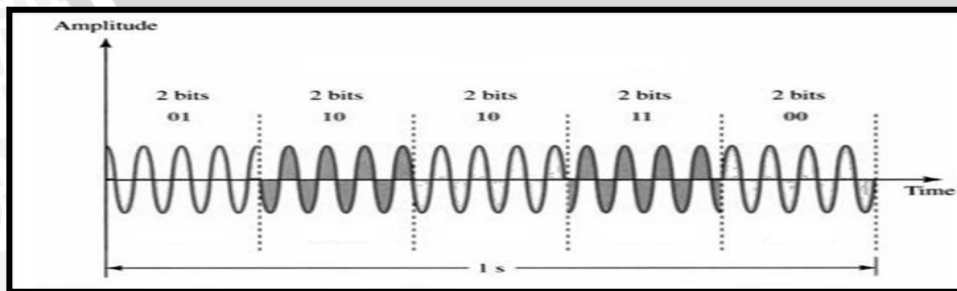
P_s : kemungkinan untuk terjadinya bit *error*

E_b/N_0 : *energy bit per noise ratio*

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

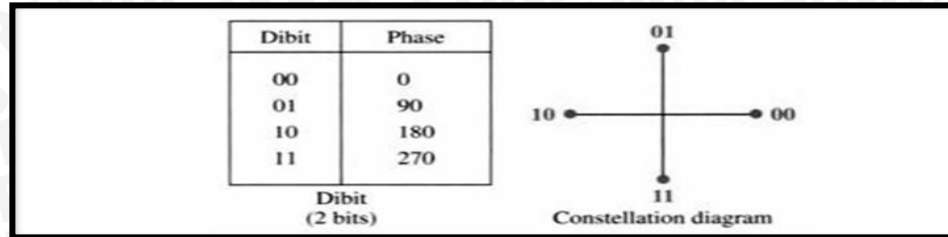
b. Quadrature Phase Shift Keying (QPSK)

Modulasi QPSK merupakan jenis transmisi data PSK 4-er (4-ary PSK) yakni $M=2^N$, dengan $N=2$. Setiap symbol tersusun atas dua bit, sehingga terdapat empat symbol yang masing-masing symbol direpresentasikan oleh fasa. Misalnya, *phase* 0° merepresentasikan bit 00, *phase* 90° merepresentasikan bit 01, *phase* 180° merepresentasikan bit 10, dan *phase* 270° merepresentasikan bit 11. (Budi Setyono, 2010) Pasangan bit-bit yang merepresentasikan masing-masing *phase* disebut juga dengan dibit. Selain itu, terdapat kelemahan dari QPSK ini yaitu kurang tahan terhadap *noise* dan rawan terjadi interferensi dari sinyal lain. Gambar memperlihatkan konsep dari sinyal QPSK.



Gambar 2.9 Sinyal pada *Quadrature Phase Shift Keying* (QPSK).
(Sumber : Behrouz A. Forouzan, 2000)

Gambar 2.9 menjelaskan hubungan antara *phase* dengan bit pada QPSK. Gambar 2.10 juga disebut dengan *constellation* atau *phase state diagram* yang menunjukkan hubungan yang sama dengan mengilustrasikan *phase*-nya.



Gambar 2.10 *Quadrature Phase Shift Keying (QPSK) constellation.*

(Sumber : Behrouz A. Forouzan, 2000)

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

$$P_s = \text{erfc} \left(\sqrt{\frac{E_s}{2N_0}} \right) \tag{2-5}$$

$$P_b = \frac{1}{2} \text{erfc} \left(\sqrt{\frac{E_b}{N_0}} \right) \tag{2-6}$$

dengan

P_b : kemungkinan untuk terjadinya *bit error*

P_s : kemungkinan untuk terjadinya *simbol error*

E_s : energi per *symbol*

E_b : energi per bit

N_0 : *Noise power spectral density*

c. Quadrature Amplitude Modulation (QAM)

Modulasi QAM merupakan modulasi yang mengubah data berdasarkan nilai amplitudo dan fasa dari dua gelombang *carrier*. Skema modulasi QAM bisa juga kombinasi antara *M-ary Amplitude Shift Keying (ASK)* dan *M-ary PSK*.

Pengiriman sinyal transmisi QAM dapat direpresentasikan berdasarkan persamaan berikut:

$$s(t) = I(t)\cos(2\pi f_0 t) + Q(t)\sin(2\pi f_0 t) \quad (2-7)$$

dimana:

$s(t)$: sinyal transmisi

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

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

f_0 : frekuensi *carrier*

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

$$M = 2^N \quad (2-8)$$

dimana:

M : skema modulasi yang digunakan

N : jumlah bit per simbol

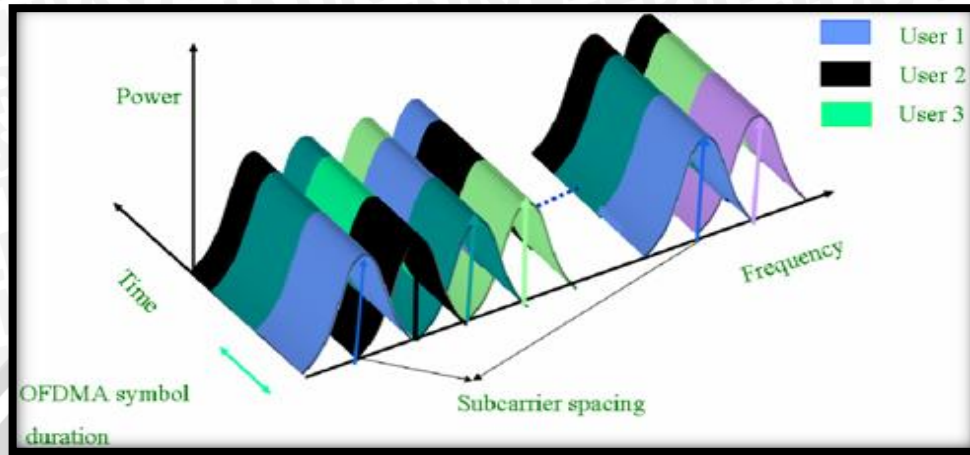
Semakin tinggi orde modulasi maka titik konstelasi akan semakin rapat dan akan semakin mudah berpindah ke titik konstelasi lain jika terkena *error* yang akan mengakibatkan nilai yang lebih besar pada BER.

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

2.3.6.2 Orthogonal Frequency Division Multiple Access (OFDMA)

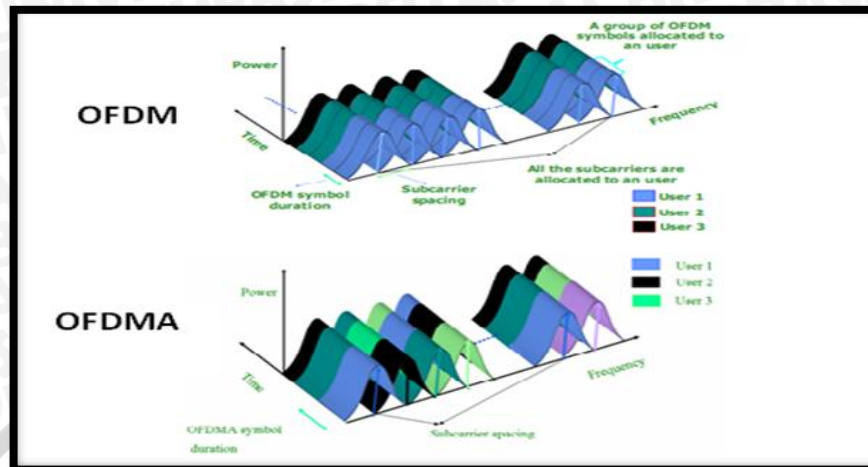
OFDMA pada dasarnya merupakan gabungan antara *Frequency Division Multiple Access* (FDMA) dan *Time Division Multiple Access* (TDMA). Hal ini berarti bahwa *multiple user* dialokasikan pada *subcarrier* yang berbeda secara dinamis

(FDMA) dan pada *time slot* yang berbeda pula (TDMA). Pengalokasian *user* pada *subcarrier* dan *time slot* yang berbeda dapat dilihat pada Gambar 5. (Srikanth, 2007)



Gambar 2.11. Sinyal OFDMA dilihat dari domain frekuensi dan waktu. (Sumber : Srikanth S., 2007)

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 2.12. (Srikanth, 2007)



Gambar 2.12. Perbandingan sinyal OFDM dengan sinyal OFDMA dilihat dari domain frekuensi dan waktu.

(Sumber : Srikanth S., 2007)

OFDMA yang dikombinasikan dengan modulasi adaptif akan memberikan keuntungan yang signifikan bagi peningkatan performansi sistem. Fleksibilitas dalam mengubah modulasi suatu carrier atau sub-channel memungkinkan sistem OFDMA untuk melakukan optimasi level frekuensi. (Wardhana dkk, 2010)

2.3.6.3 Teknik Koreksi Kesalahan (*Error Correction Technique*)

Teknik koreksi kesalahan pada WiMAX digunakan untuk mengurangi kebutuhan SNR. Teknik-teknik yang digunakan antara lain *Forward Error Correction* (FEC) dengan *Reed Solomon*, *convolutional encoding*, dan algoritma *interleaving*. Dengan teknik tersebut dapat mendeteksi dan memperbaiki kesalahan sehingga *throughput* dapat ditingkatkan. (Wardhana dkk, 2010)

2.3.6.4 Pengendalian Daya (*Power Control*)

Power control digunakan untuk meningkatkan kinerja sistem secara keseluruhan dan diimplementasikan pada *Base Station* dengan cara mengirimkan informasi *power control* kepada setiap perangkat *Customer Premise Equipment* (CPE) pelanggan yang digunakan agar pengatur level daya yang ditransmisikan. Sehingga sinyal informasi yang dikirimkan tersebut dapat diterima oleh *Base Station*

pada level yang semestinya. *Power control* juga mengurangi konsumsi daya dari CPE secara keseluruhan dan juga mengurangi kemungkinan terjadinya interferensi dengan *Base Station* yang berdekatan. (Wardhana dkk, 2010)

2.4 Video conference

Video conference adalah seperangkat teknologi telekomunikasi interaktif yang memungkinkan dua pihak atau lebih di lokasi berbeda dapat berinteraksi melalui pengiriman dua arah *audio* dan *video* secara bersamaan. *Video conference* dapat memudahkan orang untuk berkomunikasi jarak jauh dengan menggunakan komputer dan media internet.

Dalam proses pengiriman paket data, digunakan perangkat komunikasi data digital seperti misalnya teknologi internet *broadband*. Teknologi tersebut dapat mengirimkan dan menerima paket data dalam jumlah yang sangat besar.

2.4.1 Kompresi Video conference

Kompresi adalah pengubahan data kedalam bentuk yang memerlukan bit yang lebih sedikit, biasanya dilakukan agar data dapat disimpan atau dikirimkan dengan lebih efisien.

Dalam melakukan perencanaan sebelum menggelar fasilitas konferensi *video* melalui Internet, kita perlu memperhitungkan kebutuhan *bandwidth* untuk kesuksesan sebuah konferensi *video*. Secara umum ada dua kebutuhan *bandwidth* yang perlu dipenuhi, yaitu:

- Kebutuhan *bandwidth* untuk mengirimkan sinyal gambar / *video*. Sebuah kanal *video* yang baik tanpa dikompresi akan mengambil *bandwidth* sekitar 9Mbps.
- Kebutuhan *bandwidth* untuk mengirimkan sinyal suara / *audio*. Sebuah kanal suara (*audio*) yang baik tanpa dikompresi akan mengambil *bandwidth* sekitar 64Kbps

2.4.1.1 Teknik Kompresi Suara

Terdapat beberapa teknik kompresi suara yang sering digunakan dengan beberapa parameter yang mencerminkan kinerja dari teknik kompresi suara tersebut, diantaranya adalah sebagai berikut:

Tabel 2.2 Teknik kompresi suara

Kompresi	Bandwidth (Kbps)	Delay (ms)
G.711PCM	64	0.125
G.726 ADPCM	32	0.125
G.728 LD-CELP	16	0.625
G.729 CS-ACELP	8	10
G.729 x2 <i>Encoding</i>	8	10
G.729 x3 <i>Encoding</i>	8	10
G.729a CS-ACELP	8	10
G.723.1 MPMLQ	6.3	30
G.723.1 ACELP	5.3	30

(Sumber: Onno W Purbo, 2003)

2.4.1.2 Teknik Kompresi Video

Kompresi *video* merupakan proses yang digunakan untuk mengkompres *video* sementara harus tetap menjaga kualitas *video* untuk aplikasi yang ditunjuk. Teknik kompresi *video* yang digunakan dalam penelitian ini adalah CODEC H.264. H.264 menawarkan efisiensi kompresi yang lebih baik yakni kompresi *video* yang lebih berkualitas dan fleksibilitas yang lebih besar dalam melakukan kompresi, transmisi dan penyimpanan *video*. *Video encoder* pada H.264 dapat melakukan prediksi, transformasi dan proses *encoding* untuk menghasilkan kompresi *bitstream* H.264. Sedangkan *video decoder* H.264 dapat melakukan proses *decoding* secara lengkap. Dibandingkan dengan standar seperti MPEG-2 dan MPEG-4 *Visual*, H.264 memiliki kelebihan antara lain:

- Kualitas gambar yang lebih baik pada bitrate kompresi yang sama
- Kecepatan bit kompresi yang lebih rendah untuk kualitas gambar yang sama.

Standar H.264 menawarkan fleksibilitas yang lebih besar dari segi kompresi dan transmisi.

Tabel 2.3 Audio dan video coding

Audio Codec	Bit Rate	Delay Codec
G.711	64 Kbps	0.75 ms
G.26	32 Kbps	1 ms
G.723.1	5,3/6,3 Kbps	30 ms
G.728	16 Kbps	3-5 ms
G.729	8 Kbps	10 ms

Video Codec	Bit Rate	Delay Codec
H.261	P x 64 Kbps	20-150 ms
H.263	10-384 Kbps	20-150 ms
H.264/AVC	64-384 Kbps	150-300 ms

Sumber: Cisco System, 2006

2.5 Perhitungan kinerja teknik modulasi pada *mobile* WiMAX untuk layanan *video conference*

2.5.1 Penentuan jarak efektif untuk tiap modulasi pada jaringan *mobile* WiMAX

Untuk menentukan jarak efektif tiap modulasi maka harus mengetahui rugi-rugi propagasi, level daya penerima dan kondisi dari kanal yang dapat diketahui dari parameter *Signal to Noise Ratio (SNR) receiver*.

2.5.1.1 Menentukan *path loss* propagasi pada wilayah urban, suburban dan rural menggunakan SUI Model

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. *Path loss* salah satunya dapat dihitung menggunakan model propagasi SUI, dengan persamaan sebagai berikut:

$$P_L = A + 10\gamma \log_{10} \left(\frac{d}{d_0} \right) + X_f + X_{h_{CPE}} + s \quad (2-9)$$

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

$$\gamma = a - b \cdot h_b + \left(\frac{c}{h_b} \right) \quad (2-11)$$

$$X_f = 6 \log \left(\frac{f}{1900} \right) \quad (2-12)$$

dengan,

A = free space loss di d_0

λ = panjang gelombang

d_0 = 100 m (jarak referensi)

γ = path loss exponent

a,b,c = konstanta yang menunjukkan kategori terrain

h_b = tinggi *Base Station* (m)

d = jarak antara *Base Station* dan *Subscriber Station* (m)

X_f = faktor koreksi frekuensi

$X_{h_{CPE}}$ = factor koreksi tinggi antenna penerima

$$X_{h_{CPE}} = -10.8 \log \left(\frac{h_{CPE}}{2} \right) \text{ terrain a dan b} \quad (2-13)$$

$$X_{h_{CPE}} = -20 \log \left(\frac{h_{CPE}}{2} \right) \text{ terrain c} \quad (2-14)$$

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

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

Tabel 2.4. Parameter untuk Tipe Terrain yang Berbeda

Model parameter	Tipe A (Heavy Multipath/Urban)	Tipe B (Intermediate Multipath/suburban)	Tipe C (few multipath/rural)
a	4.6	4	3.6
b	0.0075	0.0065	0.005
c	12.6	17.1	20

(Kwan-Chengchen and J. Roberto B de Marco, 2008)

2.5.1.2 Menentukan *Receive Signal Level* (RSL)

Receive Signal Level (RSL) adalah level sinyal yang diterima di penerima dan nilainya harus lebih besar dari sensitivitas perangkat penerima ($RSL \geq R_{ss}$). Sensitivitas perangkat penerima merupakan kepekaan suatu perangkat pada sisi penerima yang dijadikan ukuran *threshold*. Nilai RSL dapat dihitung dengan persamaan berikut (Freeman, 1996):

$$RSL = EIRP - L_{propagasi} + Grx - Lrx \quad (2-15)$$

dimana :

$EIRP$ = *Effective Isotropic Radiated Power* (dBm)

G_{tx} = penguatan antenna pemancar (dB)

L_{tx} = rugi-rugi pada pemancar (dB)

$L_{propagasi}$ = rugi-rugi gelombang saat berpropagasi (dB)

2.5.1.3 Menentukan Receiver Sensitivity (Rss)

Receiver Sensitivity (Rss) mengindikasikan seberapa tingkat sinyal yang berhasil diterima oleh penerima. Nilai Rss dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut (WiMAX Forum, 2006):

$$R_{ss} [dBm] = -144 + SNR_{RX} - 10 \log R + 10 \log \left(F_s \cdot \frac{N_{used}}{N_{FFT}} \right) + loss_{tmp} + N_F \quad (2-16)$$

dengan:

Rss	= receiver sensitivity
SNR_{RX}	= signal-to-noise ratio threshold penerima
R	= faktor repetisi
F_s	= frekuensi sampling
N_{used}	= jumlah subcarrier aktif
N_{FFT}	= jumlah FFT
$loss_{tmp}$	= rugi-rugi implementasi
N_F	= noise figure

2.5.1.4 Menentukan jarak efektif tiap modulasi

Jarak efektif tiap modulasi merupakan batas jarak Subscriber Station dapat menggunakan modulasi tertentu. Jarak (d) dapat dicari dengan menggunakan persamaan (2-9).

2.5.2 Perhitungan bit rate

Bit rate adalah jumlah data yang dapat diproses dalam satu satuan waktu. Besarnya bit rate dapat dihitung dengan persamaan berikut (Nuaymi, 2007)

$$bit\ rate = N_{used} \times b_m \times \frac{c_r}{T_s} \quad (2-17)$$

dengan :

N_{used} = jumlah subcarrier aktif

b_m = jumlah bit per modulasi (bergantung teknik modulasi yang digunakan)

c_r = *coding rate* (laju pengkodean)

T_s = durasi simbol OFDMA

Durasi simbol OFDMA dihitung dengan :

$$T_s = T_b + T_g$$

$$T_b = \frac{N_{FFT}}{BW \times \eta} \text{ dan } T_g = G \times T_b \quad (2-18)$$

dimana:

T_b = periode simbol (s)

T_g = periode *guard* (s)

N_{FFT} = jumlah FFT

BW = *bandwidth* kanal (Hz)

η = faktor *sampling*

G = rasio *cyclic prefix* dengan *useful time*

2.5.3 Perhitungan Kapasitas Kanal

Kapasitas kanal adalah banyaknya data yang dapat ditransmisikan tiap detik.

Kapasitas kanal dituliskan dalam teorema Shannon, (Wilson, 1996) :

$$C = B_{sistem} \cdot \log_2(1 + SNR_{sistem}) \quad (2-19)$$

dengan :

C = kapasitas kanal sistem (bps)

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

SNR_{sistem} = *signal to noise ratio* sistem

2.5.4 Perhitungan Bit Error Rate (BER)

BER atau probabilitas *error bit* merupakan nilai ukur kualitas sinyal yang diterima untuk sistem transmisi data digital. BER juga dapat didefinisikan sebagai perbandingan jumlah *bit* yang salah terhadap total *bit* yang diterima. Pada sistem WiMAX, besarnya nilai BER (P_b) untuk masing-masing teknik modulasi dijelaskan dalam persamaan berikut (A.Goldsmith, 2005) :

- BPSK

$$P_b = P_s = Q\left(\sqrt{\frac{2E_b}{N_0}}\right) \quad (2-20)$$

- QPSK

$$P_b = \frac{1}{2} \operatorname{erfc}\left(\sqrt{\frac{E_b}{N_0}}\right) \quad (2-21)$$

Keterangan :

P_b = BER pada saat transmisi (tanpa satuan)

$\frac{E_b}{N_0}$ = rasio energi *bit* terhadap *noise* pada saat transmisi dengan modulasi

QPSK

- M-ary QAM

$$\begin{aligned} P_{b \cdot M\text{-QAM}} &= \frac{4(\sqrt{M}-1)}{\sqrt{M} \log_2 M} Q\left(\sqrt{\frac{3 \log_2 M E_b}{(M-1) N_0}}\right) \\ &= \frac{2(\sqrt{M}-1)}{\sqrt{M} \log_2 M} \operatorname{erfc}\left(\sqrt{\frac{3 \log_2 M E_b}{4(M-1) N_0}}\right) \end{aligned} \quad (2-22)$$

Keterangan :

$P_{b \cdot M\text{-ary QAM}}$ =BER pada saat transmisi (tanpa satuan)

M = jumlah sinyal, M=16 untuk 16-QAM dan M = 64 untuk 64-QAM

$\frac{E_b}{N_0}$ =rasio energi *bit* terhadap *noise* pada saat transmisi dengan modulasi

M-ary QAM

dimana,

$$\operatorname{erfc}(x) \approx \frac{1}{\sqrt{\pi}x} \cdot e^{-x^2} \quad (2-23)$$

2.5.5 Perhitungan *Delay end to end*

Delay adalah tenggang waktu yang dibutuhkan untuk mengirimkan paket data dari satu titik ke titik lain yang menjadi tujuannya. *Delay end to end* merupakan penjumlahan beberapa macam komponen *delay* yang berbeda dan terjadi dalam perjalanan paket dari sumber sampai ke tujuan. Besarnya paket yang dikirimkan untuk layanan *video conference* dibedakan atas paket *audio* dan paket *video*. Kedua paket tersebut memiliki nilai *payload* yang berbeda pula dan dapat dihitung menggunakan persamaan (2-24) dan (2-25) berikut:

$$P_{LA} = B_{CODEC} \times \text{frame rate} \quad (2-24)$$

$$P_{LV} = B_{CODEC} \times \text{frame rate} \quad (2-25)$$

dengan:

P_{LA} = Payload *audio* (byte)

P_{LV} = Payload *video* (byte)

B_{CODEC} = Bandwidth codec (Kbps)

frame rate = Waktu pembentukan tiap *frame* (s)

Sehingga jumlah paket data *audio* maupun *video* yang diencode dan dipengaruhi oleh *payload* masing-masing dapat dihitung dengan persamaan (2-26) dan (2-27):

$$P_A = \frac{P_{LA}}{P_{LA \max}} \quad (2-26)$$

$$P_V = \frac{P_{LV}}{P_{LV \max}} \quad (2-27)$$

Jumlah paket data *video conference* yang ditambahkan dengan header NALU, RTP, UDP, dan IP secara matematis dapat dihitung menggunakan persamaan:

$$\text{Paket data audio} = P_{LA} + (P_A \times (NALU + H_{RTP} + H_{UDP} + H_{IP})) \quad (2-28)$$

$$\text{Paket data video} = P_{LV} + (P_V \times (NALU + H_{RTP} + H_{UDP} + H_{IP})) \quad (2-29)$$

Panjang paket data *video conference* dituliskan pada persamaan berikut:

$$W_{data} = P_{data \text{ audio}} + P_{data \text{ video}} \quad (2-30)$$

dengan:

W_{data} = panjang paket data *video conference* (byte)

$P_{data\ audio}$ = panjang paket *audio* (byte)

$P_{data\ video}$ = panjang paket *video* (byte)

Setelah panjang paket data *video conference* diketahui, maka besarnya *delay end to end* dapat dihitung dengan persamaan berikut:

Total *delay end to end* adalah:

$$t_{end\ to\ end} = t_{codec} + t_{MAN} \quad (2-31)$$

dengan :

$t_{end\ to\ end}$ = *delay end to end*

t_{codec} = *delay codec*

t_{MAN} = *delay MAN*

2.5.5.1 Delay codec

Delay codec merupakan *delay* yang terjadi pada sisi encoder. *Delay codec* adalah waktu yang dibutuhkan 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 codec* pada aplikasi *video conference* dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut:

$$t_{codec} = t_a + t_v \quad (2-32)$$

dengan:

t_{codec} : *delay codec aplikasi video conference*

t_a : *delay codec audio G.711 (s)*

t_v : *delay codec video H.264 (s)*

2.5.5.2 Delay MAN

Delay MAN merupakan *delay* total keseluruhan yang diperlukan untuk mengirimkan data dari sisi *subscriber* ke *subscriber* lain pada jaringan *mobile WiMAX*. *Delay MAN* dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut:

$$t_{MAN} = t_{proses} + t_{prop} + t_{trans} + t_w \quad (2-33)$$

dengan :

t_{MAN} = *delay* total pada MAN (s)

t_{proses} = *delay* proses (s)

t_{prop} = *delay* propagasi (s)

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

t_w = *delay* antrian (s)

- *Delay* proses

Delay proses merupakan waktu yang dibutuhkan untuk memproses paket data dan untuk menentukan kemana data tersebut akan diteruskan. *Delay* proses pada jaringan *mobile* WiMAX terdiri dari *delay* enkapsulasi dan *delay* dekapsulasi. *Delay* enkapsulasi adalah waktu yang dibutuhkan untuk menambahkan *header* pada paket data, sehingga paket data tersebut dapat tepat sampai ke *host* tujuan. Sedangkan *delay* dekapsulasi adalah waktu yang dibutuhkan untuk melepaskan keseluruhan *header* dari sebuah paket data.

Apabila *host* sumber ingin mengirim paket data ke *host* tujuan, maka proses yang terjadi adalah paket data tersebut dikirimkan ke *transport layer* dan akan mengalami perubahan format data yaitu penambahan header RTP dan UDP. Besarnya data yang ditambahkan header RTP dihitung menggunakan persamaan berikut:

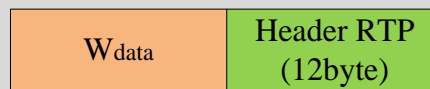
$$W_{message} = W_{data} + Header_{RTP} \quad (2-34)$$

dengan :

$W_{message}$ = panjang message (byte/paket)

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

Format paket data pada RTP ditunjukkan pada gambar 2.13



Gambar 2.13 Format paket data RTP

(Sumber: Nuaymi, 2007)

Pada layer transport terjadi penambahan header UDP, sehingga panjang segmen data tidak boleh melebihi *Maximal Segmen Size* (MSS) yaitu sebesar 1460

byte, maka dilakukan proses fragmentasi yaitu pemecahan paket data agar sesuai dengan batasan jaringan, jumlah segmen hasil fragmentasi dihitung menggunakan persamaan:

$$N_{segmen} = \frac{W_{message}}{MSS} \tag{2-35}$$

dengan

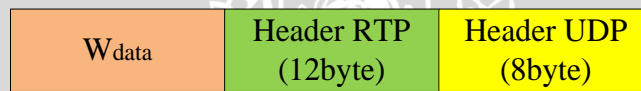
N_{segmen} = total segmen UDP yang dikirimkan (byte)

MSS = Maximum Segmen Size (1460 byte)

Setelah segmen difragmentasi, proses berikutnya adalah proses enkapsulasi yang dapat dihitung sesuai dengan persamaan (2-36),

$$W_{segmen} = W_{message} + (N_{segmen} \times Header_{UDP}) \tag{2-36}$$

Format paket data pada TCP/UDP ditunjukkan pada gambar 2.14



Gambar 2.14 Format paket data TCP/UDP

(Sumber: Nuaymi, 2007)

Dari *transport layer* (layer 4) , segmen kemudian diteruskan ke *internet layer* (layer 3). Di *internet layer* dengan menggunakan protokol IP, segmen UDP dienkapsulasi menjadi datagram IP. Panjang datagram IP ditentukan dengan persamaan:

$$W_{datagram} = W_{segmen} + Header_{IP} \tag{2-37}$$

dengan :

$W_{datagram}$ = panjang datagram IP (byte/paket)

W_{segmen} = panjang segmen UDP (byte/paket)

$Header_{IP}$ = panjang header IP (20 byte/paket)

Format paket data pada IP ditunjukkan pada gambar 2.15



Gambar 2.15 Format paket data IP

(Sumber: Nuaymi, 2007)

Kemudian datagram IP dienkapsulasi dengan header pada network interface layer (layer 2) dengan menggunakan protokol Ethernet, datagram IP dienkapsulasi menjadi *frame Ethernet*. Panjang *frame Ethernet* ditentukan dengan persamaan :

$$W_{frame\ ethernet} = W_{datagram} + Header_{ethernet} \quad (2-38)$$

dengan :

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

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

$Header_{IP}$ = panjang header Ethernet (14byte)

Format paket data pada *ethernet* ditunjukkan pada gambar 2.16

W_{data}	Header RTP (12 byte)	Header UDP (8 byte)	Header IP (20 byte)	Header Ethernet (14 byte)	CRC (4 byte)
------------	-------------------------	------------------------	------------------------	------------------------------	-----------------

Gambar 2.16 Format paket data *ethernet*

(Sumber: Nuaymi, 2007)

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

$$W_{frame\ total} = W_{frame\ ethernet} + Header_{MAC} \quad (2-39)$$

Dengan:

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

Format paket data pada layer MAC WiMAX ditunjukkan pada gambar 2.17

WIMAX LAYER

W_{data}	Header RTP (12 byte)	Header UDP (8 byte)	Header IP (20 byte)	Header Ethernet (18 byte)	CRC (4 byte)	Header MAC (6 byte)
MAC Layer						
PHY Layer						

Gambar 2.17 Format paket data MAC WiMAX

(Sumber: Nuaymi, 2007)

Sedangkan *delay* enkapsulasi adalah :

$$t_{enc} = \frac{W_{frame\ total} - W_{data}}{c} \times 8 \quad (2-40)$$

dengan:

- t_{enc} = delay enkapsulasi (s)
- $W_{frame\ total}$ = panjang *frame* (byte)
- c = kecepatan transmisi kanal (bps)

Sedangkan *delay* dekapsulasi dirumuskan sebagai berikut:

$$t_{dec} = \frac{W_{frame\ total} - W_{data}}{c} \times 8 \quad (2-41)$$

dengan:

- t_{dec} = delay dekapsulasi (s)
- $W_{frame\ total}$ = panjang *frame* Ethernet (byte)
- c = kecepatan transmisi kanal (bps)

sehingga *delay* proses dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$t_{proc} = t_{enc} + t_{dec} \quad (2-42)$$

dengan:

- t_{proc} = delay proses (s)
- t_{enc} = delay enkapsulasi (s)
- t_{dec} = delay dekapsulasi (s)

- Delay propagasi

Delay propagasi adalah waktu yang dibutuhkan untuk merambatkan paket data melalui media transmisi. *Delay* propagasi gelombang radio dapat ditulis dengan persamaan:

$$t_{prop} = \frac{d_{max}}{v} \quad (2-43)$$

Dengan:

- t_{prop} = delay propagasi (s)
- d_{max} = jarak jangkauan *Base Station* dan *Subscriber Station* (m)
- v = kecepatan sinyal pada media *wireless* (m/s)

- Delay transmisi

Delai transmisi adalah waktu yang dibutuhkan untuk meletakkan semua data pada media transmisi dan dipengaruhi oleh ukuran paket serta kapasitas media

transmisi. *Delay* transmisi dapat ditentukan dengan persamaan (Mischa Schwartz,1987)

$$t_{trans} = \frac{w}{c} \times 8 \tag{2-44}$$

dengan:

- t_{trans} = *delay* transmisi (s)
- w = panjang total *frame* yang dikirimkan (byte)
- c = kecepatan (bps)

- *Delay* antrian

Delay antrian adalah waktu yang dibutuhkan data selama berada dalam antrian untuk ditransmisikan. Selama waktu ini, paket data menunggu hingga paket yang lain selesai ditransmisikan. *Delay* antrian dapat dihitung dengan menggunakan model antrian M/M/1 dengan disiplin antrian FIFO. Model antrian M/M/1 dapat ditulis dengan persamaan:

$$\begin{aligned} \mu &= \frac{c}{w} \\ \lambda_w &= \mu \rho \\ t_w &= \frac{\lambda_w}{\mu(\mu - \lambda_w)} + \frac{1}{\mu} \end{aligned} \tag{2-45}$$

dengan :

- t_w = *delay* antrian (s)
- λ_w = kecepatan kedatangan (paket/s)
- μ = waktu pelayanan (paket/s)
- c = kapasitas kanal (bps)
- ρ = faktor utilitasi sistem nirkabel

Tabel 2.5. Pengelompokan *delay*

<i>Delay</i> (s)	Kualitas
$t_{end\ to\ end} < 0.15$	Baik
$0.15 \leq t_{end\ to\ end} \leq 0.4$	Cukup, masih dapat diterima
$t_{end\ to\ end} > 0.4$	Buruk

(ITU G.114,2011)

2.5.6 Perhitungan *Throughput*

Throughput didefinisikan sebagai ukuran yang menyatakan berapa banyak bit yang dapat ditransmisikan dan sukses diterima di tujuan per detik untuk lebar pita yang dialokasikan. *Throughput* ditunjukkan oleh persamaan (Scwartz, Mischa. 1987)

$$\lambda = \frac{(1-\rho)}{t_{trans}[1+(\alpha-1)\rho]} \quad (2-46)$$

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

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

dengan:

λ = *throughput* (paket/s)

ρ = probabilitas paket *loss* yang diterima

α = konstanta propagasi

