

BAB 2 DASAR TEORI

2.1 Umum

Video conference diimplementasikan melalui teknologi *wireless Worldwide Interoperability for Microwave Access (WiMAX)*. WiMAX merupakan salah satu teknologi nirkabel masa depan. Digelar sebagai generasi ke empat dan bersaing dengan *long term evolution (4G LTE)*. Teknologi ini mampu membawa, data, *video* dan *voice* dengan kecepatan tinggi yaitu kecepatan data hingga 70 Mbps dan lebar kanal sebesar 20 MHz. Teknologi ini terus dikembangkan oleh *Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE)* pada 802.16 – 2014. IEEE 802.16d yang dikenal sebagai *Fixed WiMAX (WiMAX Tetap)*. Jaringan WiMAX 802.16d menyediakan kecepatan data tinggi hingga 70 Mbps, *bandwidth* yang lebar dengan rentang spektrum frekuensi 2 GHz sampai dengan 11 GHz. Pengkajian dan peninjauan dalam penelitian ini berdasarkan atas literatur-literatur yang didapat, adapun penelitian dimulai dengan konsep dasar *video conference* beserta *codec* standar H.323 direkomendasikan oleh ITU-T, teknik kompres *audio* dan *video*, konsep dasar WiMAX 802.16d beserta arsitektur dan teknik modulasi, kemudian parameter-parameter QoS (*delay end-to-end*, *packet loss* dan *throughput*) dan standar-standar rekomendasi ITU-T G.114 dan ITU-T G.1010.

2.2 Video

Video adalah teknologi pengiriman sinyal elektronik dari suatu gambar bergerak. (Wikipedia). *Video* terdiri dari:

- Format *Video*
- Parameter *Video*

2.2.1 Format Video

Format video terdiri atas *containers* dan *codec*. *Containers* adalah struktur dari *file*, dimana berbagai macam potongan *file* disimpan ataupun disisipkan di *codec* kemudian membungkus *video* dan komponen lainnya (*audio/metadata*) menjadi *file* beresktensi seperti .AVI, .MP4 dan lain-lainnya.

Tabel 2. 1 Jenis Karakteristik *Codec*

Format Kompresi	Bandwidth	Resolusi	Aplikasi
H.261	384 k-2 M	176 x 144 or 352 x 288	Video conference
H.263	28.8 k – 768 k	128 x 96 – 720 x 480	Video conference
MPEG-1	400 k – 1.5 M	352 x 288	CD-ROM
MPEG-2	1.5 M – 15 M	720 x 480	Siaran Televisi, DVD
MPEG-4	28.8 k – 500 k	176 x 144	Fixed dan mobile web
AVC, H-264	100 k – 500 k	144p, 240p, 360p, 480p, 720p, 1080p	General Purpose

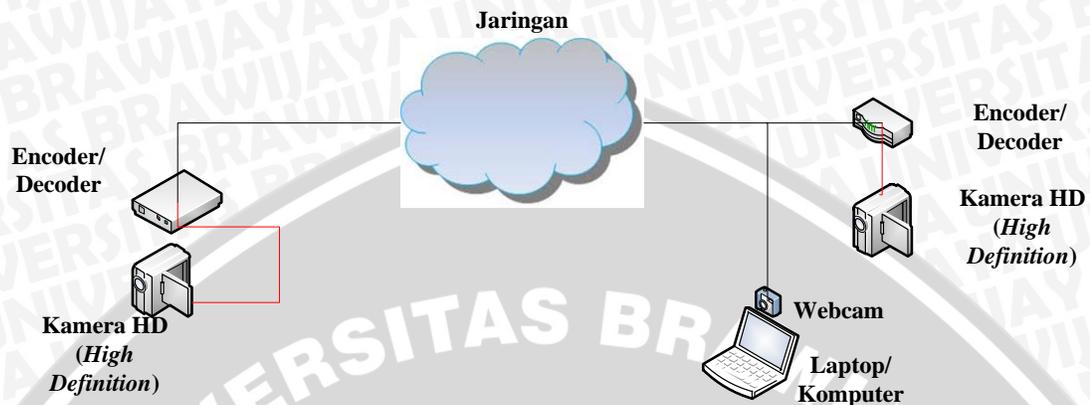
(Sumber: David Austerberry, 2005)

2.2.2 Parameter Video

Parameter komponen *video* terdiri dari sebagai berikut *Frame per Second*, *Video Bitrate*, *Resolution*,

- *Frames per Second (FPS)* - merupakan satuan yang mengukur tampilan yang terjadi per detik.
- *Video Bitrate* - merupakan nilai pengukuran dari bit yang dikirimkan per waktu tertentu.
- *Resolution* - menunjukkan ukuran gambar yang ditampilkan pada layar.

2.2.3 Video Conference



Gambar 2.1 Arsitektur video conference.

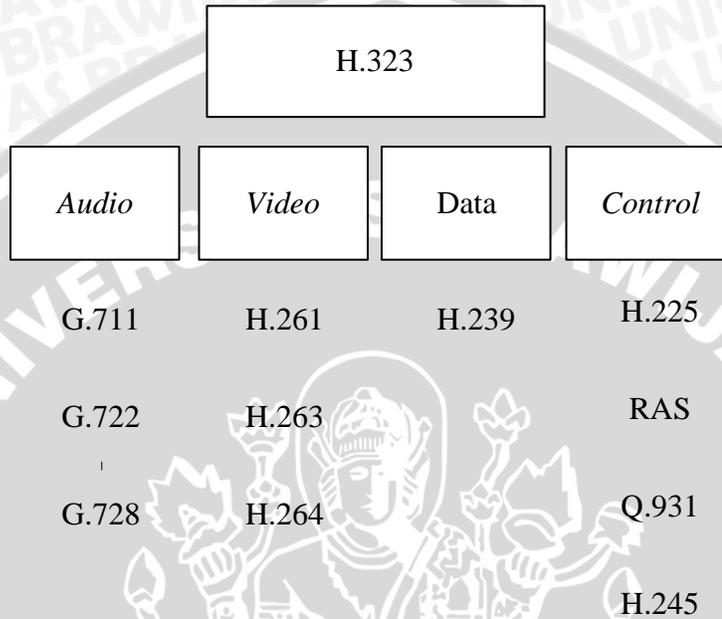
Merupakan salah satu fitur dalam layanan pada telekomunikasi dua arah yang mengizinkan dua *client* atau lebih yang diintegrasikan oleh komunikasi data, *audio* dan *video* di waktu bersamaan secara simultan dan *real time*. *Video conference* terbagi menjadi dua tipe yakni *video conference point to point* dan *video conference multipoint*.

- *Video conference point-to-point* melibatkan dua *client* yang terintegrasi melalui *single ip address*. Konfigurasi topologi *video conference point-to-point* sangat sederhana. Konfigurasi *video conference* tidak membutuhkan sebuah *call server* dan tidak pula mengizinkan proses *conference* lebih dari dua *endpoints (clients)*.
- *Video conference multipoint* melibatkan beberapa *client* dan sebuah server. Topologi *video conference multipoint* terdiri dari *Multipoint Conferencing Unit (MCU)*. MCU berfungsi sebagai sebuah jembatan yang menginterkoneksi panggilan-panggilan lebih dari tiga *endpoints (clients)*.

2.2.4 H.323

Merupakan salah satu standar yang dikeluarkan oleh ITU-T untuk mengizinkan komunikasi *multimedia* meliputi *audio*, data dan *video* pada jaringan yang berbasis IP, termasuk jaringan internet. Standar protokol H.323 bekerja pada struktur OSI layer (*Application Layer*). Protokol H.323 mampu berkomunikasi dengan komunikasi

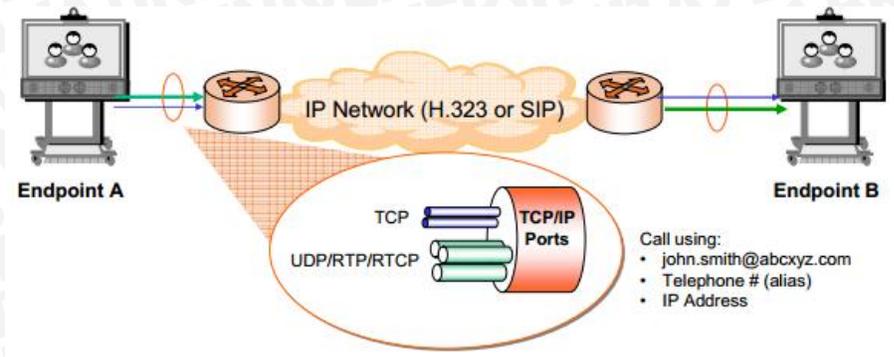
multimedia lainnya dengan memiliki standar berbeda, seperti protokol H.320 untuk jaringan ISDN dan protokol H.324 untuk jaringan PSTN. H.323 memiliki kemampuan dalam pengaturan *bandwidth* transmisi data, dan kemampuan untuk melakukan konferensi *multicast* yang bisa memberikan efisiensi terhadap penggunaan *bandwidth*.



Gambar 2.2 Protokol standar H.323.
(Sumber: Tandbergdata.com)

2.2.5 Protokol Pendukung *Video Conference*

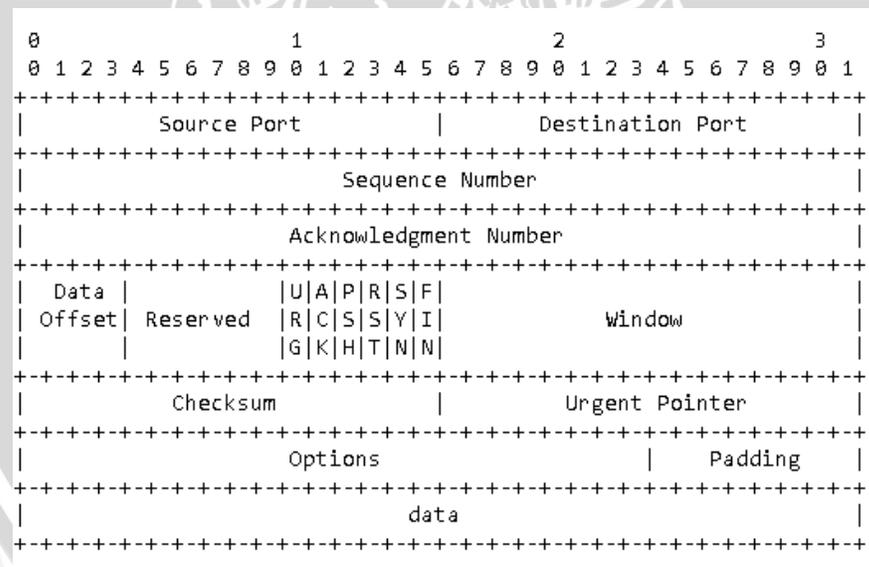
Protokol merupakan aturan beberapa fungsi seperti pembuatan hubungan; mengirim pesan, data, informasi atau *file* yang harus dipenuhi oleh pengirim dan penerima sehingga pertukaran berlangsung baik dan benar. Menurut *Behrouz Forouzan* bahwa tanpa protokol, 2 perangkat yang tersambung tidak dapat berkomunikasi karena tidak ada aturan komunikasi yang sama, sama halnya seperti seseorang yang berbahasa Perancis tidak dapat dipahami oleh orang yang berbahasa Jepang. Protokol yang digunakan dalam rancang bangun *video conference* adalah H.323. Keterangan gambar dapat dilihat dalam Gambar 2.3.



Gambar 2.3 Protokol *video conference*.
(Sumber: Tandbergdata.com)

2.2.5.1 Transmission Control Protocol (TCP)

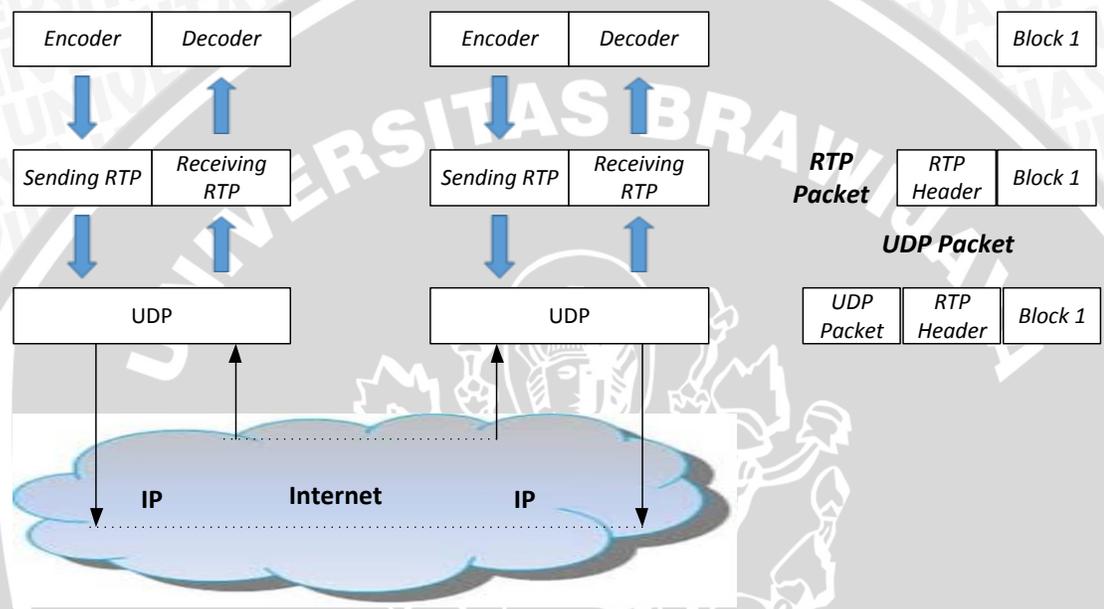
Merupakan protokol yang dimaksudkan untuk menyediakan keandalan pada *host-to-host* protokol antara *host* yang berada di jaringan komunikasi *packet-switched computer* dan sistem interkoneksi dari jaringan.



Gambar 2.4 Format *header* TCP.
(Sumber: RFC 793)

2.2.5.2 Real-time Transport Protocol (RTP)

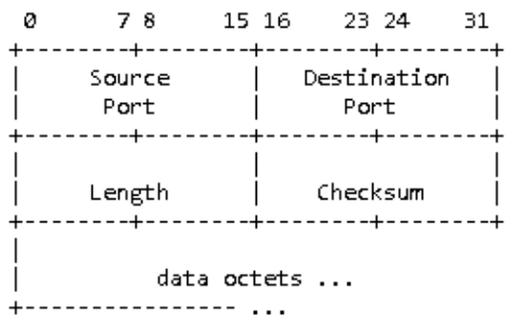
Merupakan protokol yang menyediakan dukungan *transport data* secara *real time* dan *end-to-end*. RTP terdiri dari dua bagian yaitu *header* dan *data*. RTP memberikan mekanisme *transport* yang memungkinkan terjadinya sinkronisasi multimedia data *stream* dari berbagai aplikasi misalkan *video* dan *voice*.



Gambar 2.5 Protokol multimedia di RTP, UDP dan IP.
(Sumber: Arjan Durresi dan Raj Jain, 2003)

2.2.5.3 User Datagram Protocol (UDP)

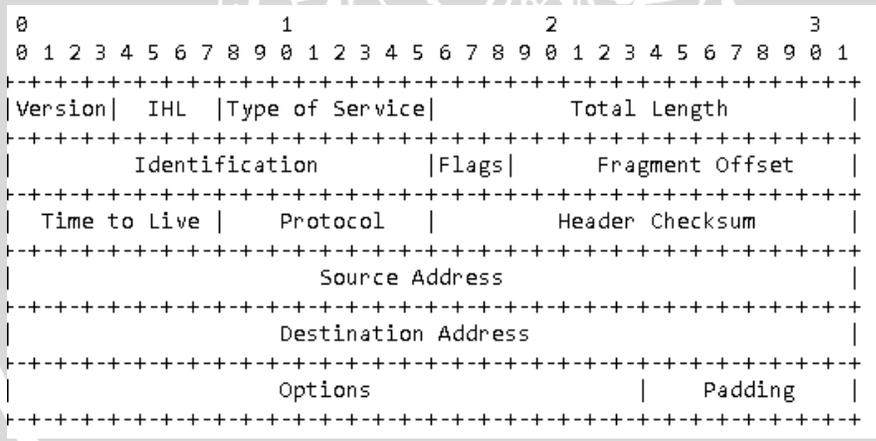
UDP merupakan mekanisme pengiriman *datagram* dari satu aplikasi ke aplikasi lain atau dapat juga dijelaskan sebagai membuat ketersediaan jenis *datagram* dari komunikasi komputer yakni *packet switching* yang terkoneksi dengan jaringan komputer. UDP berfungsi untuk menyisipkan *field number port* dan layanan *multiplexing*. Keterangan gambar dapat dilihat dalam Gambar 2.6.



Gambar 2.6 Format UDP.
(Sumber: RFC 768)

2.2.5.4 Internet Protocol (IP)

IP merupakan sebuah protokol jaringan yang berada pada jaringan komunikasi yang terkoneksi dengan *Local Area Network* (LAN) maupun *Wide Area Network* (WAN). IP terdiri dari informasi pengalamatan dan beberapa kontrol yang memungkinkan suatu data agar dapat dirutekan.



Gambar 2.7 Format header internet protocol.
(Sumber: RFC 791)

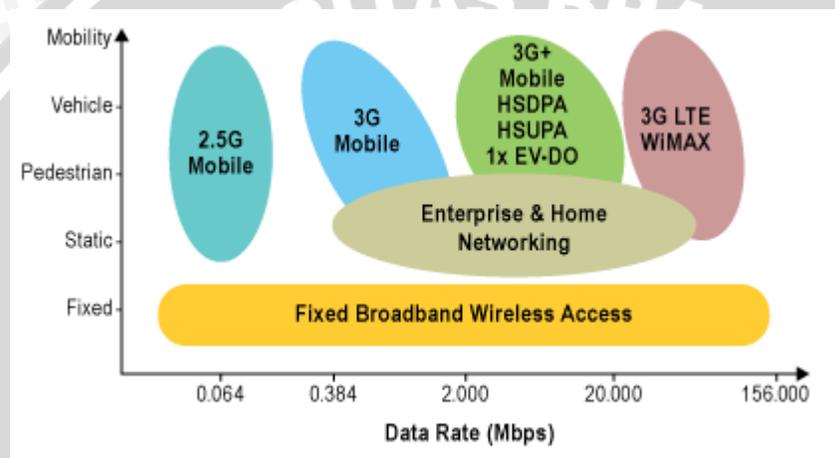
IP memiliki beberapa fungsi dasar yakni:

- Menyediakan hubungan bersifat *connectionless*
- Menangani fragmentasi dari datagram untuk mendukung *data link* dengan besar *maximum-transmission unit* (MTU) yang berbeda-beda

- Melewatkan data antara *Network Access Layer* dan *Host-to-Host Transport Layer*.

2.3 Worldwide Interoperability for Microwave Access (WiMAX)

Meningkatnya permintaan layanan-layanan *Wireless Local Loop* (WLL) dan juga *Local Multipoint Distribution Service* (LMDS) sehingga para pelaku industri telekomunikasi menyadari pentingnya membuat suatu standarisasi tentang teknologi tersebut.



Gambar 2.8 Evolusi teknologi radio.

(Sumber: altera.com)

Melalui badan *Institute of Electrical and Electronic Engineers* (IEEE) bahwa pengumuman keputusan yang membentuk kelompok kerja 802.16, diupayakan dapat mengembangkan standarisasi bagi teknologi akses nirkabel masa depan dengan memenuhi kriteria sebagai berikut:

- Memanfaatkan jalur komunikasi nirkabel gelombang mikro dan gelombang millimeter
- Memanfaatkan pita-pita berlisensi
- Memiliki skala metropolitan
- Menyediakan layanan jaringan publik.
- Mendukung kemampuan transmisi pita lebar (*broadband*)

Sebuah kelompok industri Forum WiMAX dibentuk sebagai salah satu upaya untuk tetap mempromosikan penggunaan standar 802.16 serta mengembangkan spesifikasi- spesifikasi interoperabilitas.

Tabel 2.2 Standar-Standar IEEE 802.16

Standar IEEE	Ruang Lingkup
IEEE 802.16-2004	Standar IEEE untuk LAN dan MAN: Antarmuka udara untuk sistem akses nirkabel pita lebar stationer
IEEE 802.16.2-2004	Praktik rekomendasi IEEE untuk LAN dan MAN: Koeksistensi sistem-sistem akses nirkabel pita lebar stationer
IEEE 802.16 Conformance (01- 04)	Standar IEEE untuk konformasi terhadap 802.16 IEEE (01-03) untuk 10 – 66 GHz dan Bagian (04) di bawah 11 GHz
IEEE 802.16.e-2005	Standar IEEE untuk LAN dan MAN Bagian 16: Lapisan fisik dan MAC pada fita frekuensi berlesensi
IEEE 802.16.f-2005	Standar IEEE untuk LAN dan MAN Bagian 16: <i>Management Information Base</i>
IEEE 802.16.g-2005	Standar IEEE untuk LAN dan MAN Bagian 16: <i>Management Plane Procedures and Services</i>
IEEE 802.16k-2007	Standar IEEE untuk <i>Bridge MAC</i>

(Sumber: William Stallings 2005)

Kemudian *Wireless Area Metropolitan Networks* (WMAN) atau biasa yang lebih populer dikenal WiMAX memiliki standar berdasarkan pada IEEE 802.16 dan juga diterapkan pada *Telecommunications Standards Institute's* (ETSI) yaitu standar pada *High Performance Radio Metropolitan Area Network* (HiperMAN) dengan mengikuti standar yang mendunia.

- Standar 802.16 dikelompokkan pada rentang transmisi (10 – 66) GHz
- 802.16d termasuk frekuensi rendah yang bekerja pada rentang frekuensi (2-11) GHz

- Frekuensi-frekuensi yang umum untuk 802.16d adalah 3.5 GHz dan 5.8 GHz
- Sedangkan 802.16e adalah 2.3 GHz, 2.5 GHz, dan 3.5 GHz, semuanya fleksibel mengikuti kebijakan dari setiap negara.

Tabel 2.3 Standar WiMAX IEEE 802.16d dan 802.16e

	802.16	802.16d HiperMAN	802.16e
<i>Completed</i>	<i>December 2011</i>	<i>June 2004</i>	<i>2005</i>
<i>Spectrum</i>	<i>(10 – 66) GHz</i>	<i>< 11 GHz</i>	<i>< 6 GHz</i>
<i>Channel</i>	<i>Line-of-sight</i>	<i>Nonline-of-sight</i>	<i>Nonline-of-sight</i>
<i>Conditions</i>	<i>Service only</i>	<i>Service</i>	<i>Service</i>
<i>Bit Rate</i>	<i>(32 – 134) Mbps in 28 MHz Channel Bandwidth</i>	<i>Up to 75 Mbps in 20 MHz Channel Bandwidth</i>	<i>Up to 15 Mbps in 5 MHz Channel Bandwidth</i>
<i>Modulation</i>	<i>QPSK, 16 QAM and 64 QAM</i>	<i>OFDM 256 FFT, QPSK, 16 QAM, 64 QAM</i>	<i>Scalable OFDMA, 128- 2.048 FFT/BPSK, QPSK, 16 QAM, 64 QAM</i>
<i>Mobility</i>	<i>Fixed</i>	<i>Fixed</i>	<i>Nomadic/mobile</i>
<i>Channel Bandwidth</i>	<i>20 MHz, 25 MHz and 28 MHz</i>	<i>(1.75 – 20) MHz</i>	<i>(1.75 – 20) MHz</i>

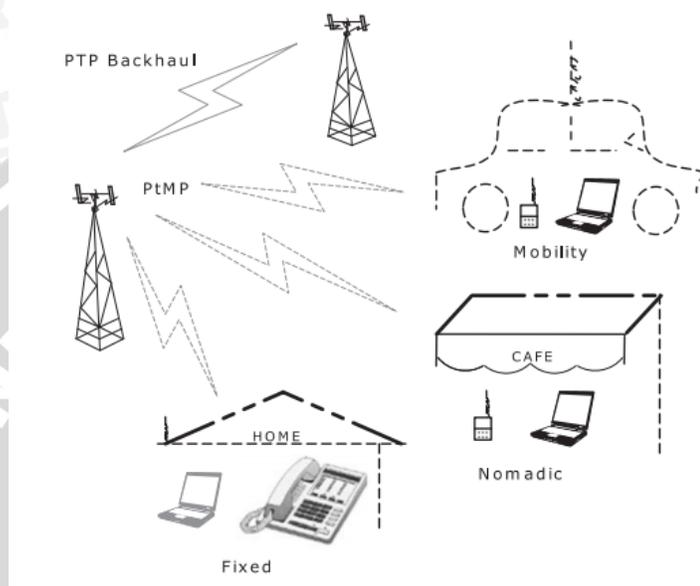
(Sumber: Zerihun Abate, WiMAX RF System Engineering 2009)

2.3.1 Standar IEEE 802.16d

Worldwide Interoperability for Microwave Access (WiMAX) didesain sebagai *broadband wireless access* (BWA) dan dengan frekuensi kerja di atas 2 GHz, WiMAX menggunakan *Orthogonal Frequency Division Multiplexing* (OFDM), keunggulannya mampu mentransfer *high-speed data* dan *bandwidth* yang digunakan lebih dari 5 MHz.

WiMAX *wireless access* meliputi *Base Station* (BS) dan *Customer Premise Equipment* (CPE) pada layanan *indoor* dan sebuah *Mobile Phone* atau modem pada

layanan *outdoor*. *Base station* pada WiMAX mampu menjangkau sekitar 30 mil = 48.28032 km (1 mil = 1.609344 km, <http://id.wikipedia.org/wiki/Mil>) namun, berdasarkan data teknis WiMAX hanya mampu menjangkau sekitar 6 mil = 9.656064 km dengan kecepatan data mencapai 70 Mbps.



Gambar 2.9 Sistem WiMAX dan aplikasi.

(Sumber: Zerihun Abate, *WiMAX RF System Engineering* 2009)

Dari Gambar diatas Layanan WiMAX menawarkan sejumlah aplikasi diantaranya seperti:

1. *Fixed* yang diperuntukkan pada pengguna internet rumah
2. *Phone* yang digunakan oleh layanan telpon rumah melalui *Voice over Internet Protocol (VoIP)* termasuk *Video Calls*
3. *Nomadic* yang digunakan oleh pengguna internet laptop di berbagai macam lokasi dimana jaringan atau layanan yang tersedia
4. *Mobility* biasanya digunakan untuk akses data internet atau hanya pengguna *mobile phone* untuk aplikasi VoIP (*Mobility* diterapkan pada pejalan kaki ataupun di kendaraan).

Pengembangan teknologi WiMAX terjadi beberapa tahap sesuai dengan standarisasinya (IEEE 802.16). Standar IEEE 802.16 terbagi menjadi beberapa

kategori 802.16a hingga 802.16d sebagai WiMAX *fixed* atau *nomadic*. Sedangkan pada *mobile* WiMAX diatur oleh standarisasi 802.16e yang dikeluarkan pada tahun 2005.

Beberapa parameter yang dikeluarkan oleh WiMAX forum adalah sebagai berikut:

- *Spectrum Band*

Berhubungan dengan frekuensi operasi resmi yang digunakan oleh WiMAX.

- *Duplexing*

Mengadopsi *Time Division Duplex* (TDD) dan *Frequency Division Duplex* (FDD) sehingga mempengaruhi komunikasi data *uplink* dan komunikasi data *downlink*.

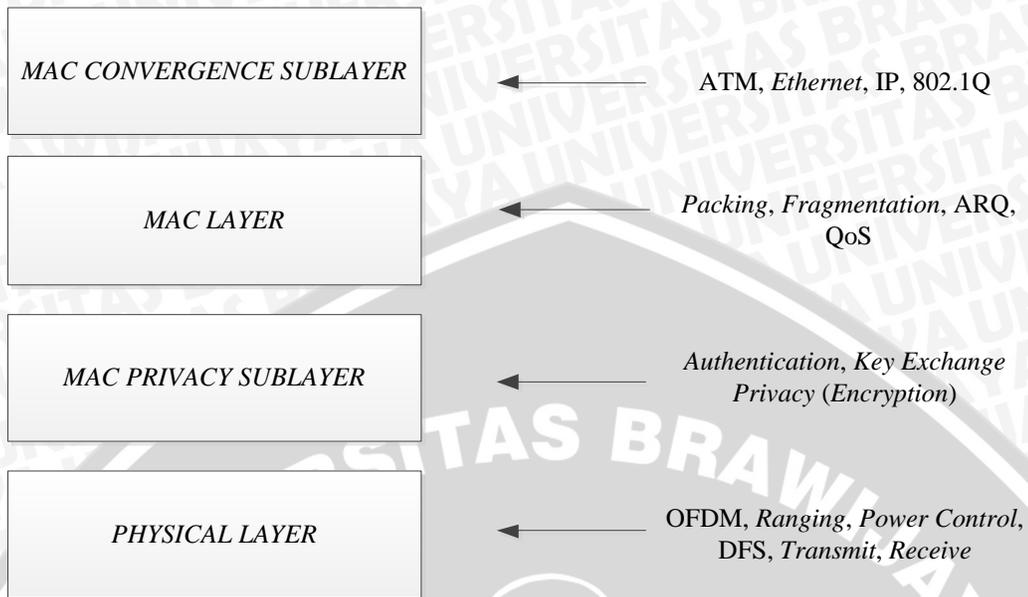
- *Channel Bandwidth (carrier spacing)*

Dikenal pula sebagai lebarnya spasi frekuensi. Besarnya spasi tidak tergantung oleh frekuensi namun dipertimbangkan berdasarkan alokasi yang telah diatur oleh badan regulator. Spasi frekuensi WiMAX sebesar 3.5 MHz dan 7 MHz. Semakin lebar spasi frekuensi, semakin besar data rate yang mampu diberikan.

IEEE 802.16d mendukung mobilitas seperti *Handover*, *Roaming* dan NLOS. Standar ini mendukung teknologi semisal *Triple Play*, *Video Streaming*, *VoIP telephony*, *E-commerce*, *Video Conference* dan layanan sejenis.

2.3.2 Topologi WiMAX

WiMAX sebenarnya begitu unik dan tidak benar-baru, WiMAX didesain untuk *Maximum Throughput* dan *Maximum Distance* dengan tingkat keandalan 99.999 persen. Untuk dapat mencapai target keandalan tersebut, dibuktikan teknologi pada *Physical Layer* (PHY) termasuk pada *Orthogonal Frequency Division Multiplexing* (OFDM), *Time Division Duplex* (TDD), *Frequency Division Duplex* (FDD), *Quadrature Phase Shift Keying* (QPSK), dan *Quadrature Amplitude Modulation* (QAM). *Physical layer* berfungsi sebagai transportasi data bersifat fundamental yang bertujuan untuk mengalirkan data di lapisan atau level fisik.



Gambar 2.10 Refensi model OSI.

(Sumber: Frank Ohrtman, *WiMAX Handbook "Building 802.16 Wireless Network"*)

2.3.2.1 PHY Layer

Lapisan ini mendukung skematik komunikasi *Point to Multipoint* dan *Multipoint to Point* dengan *Orthogonal Frequency Division Multiplexing* (OFDM) skema tersebut dibedakan berdasarkan kebutuhan masing-masing bagi pelanggan secara individu, PHY Layer memiliki dua arah medium transmisi yaitu transmisi *upstream* dan transmisi *downstream*.

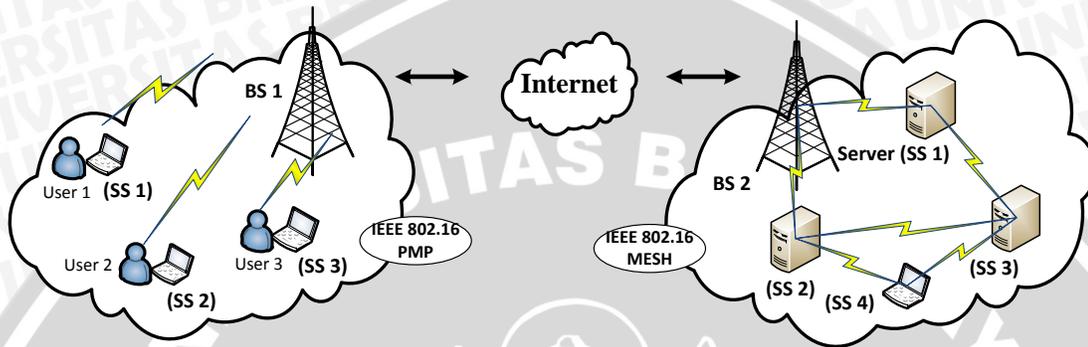
Tabel 2.4 Mode-mode Lapisan Fisik 802.16

Metode Akses	Upstream	Downstream Kontinyu (Mode A)	Downstream Burst (Mode B)
	DAMA - TAMA		TDM
Teknik Duplek (Transmisi Dua Arah)	Pencocokan Downstream	FDD	FDD dengan modulasi adaptif, FSDD dan TDD

(Sumber: William Stallings, *Komunikasi & Jaringan Nirkabel*)

2.3.2.2 MAC

Protokol layer ini memiliki dua mode yang berbeda yaitu *point to multipoint* dan *mesh*. Kedua mode tersebut mempengaruhi perilaku jalan yang berbeda. Umumnya jaringan WiMAX memiliki *base station* (BS), *subscriber station* (SS) dan *mobile subscriber station* (MSS).



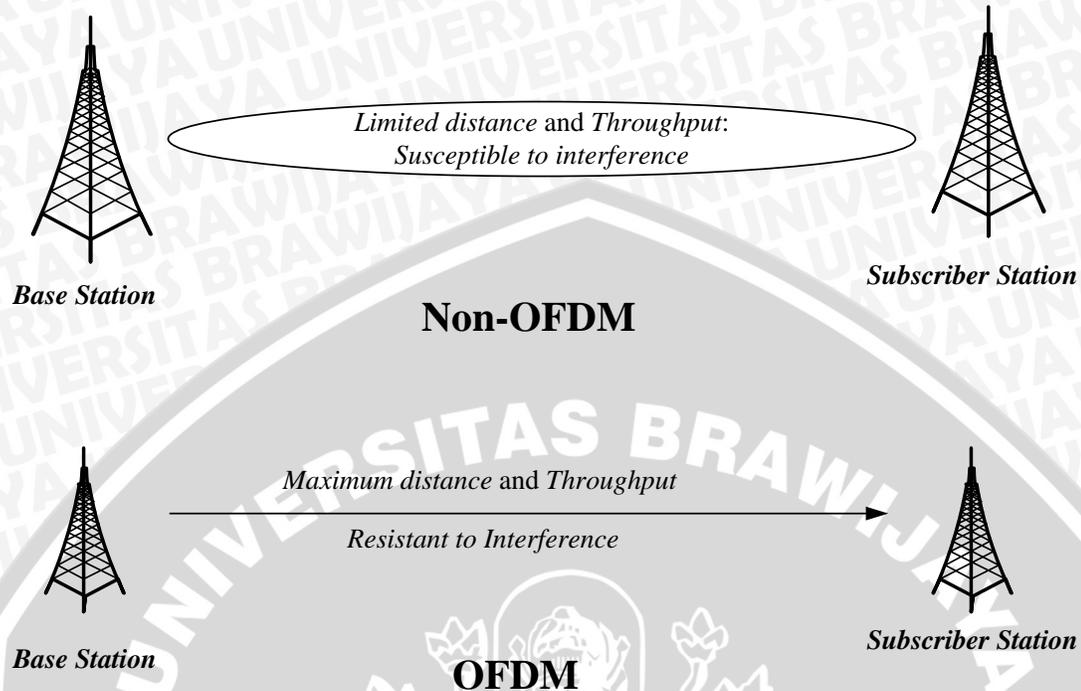
Gambar 2.11 IEEE 802.16 PMP dan Mesh Mode.

(Sumber: Seok Yee Tang, Peter Muller, Hamid R. Sharif, WiMAX Security and Quality of Service an End-to-End Perspective)

MAC Layer menyediakan data kecepatan tinggi pada *physical layer* kemudian konsep tersebut menyediakan sebuah mekanisme pengelolaan QOS bagi transmisi *upstream* dan *downstream*. Secara spesifik, mekanisme ini memainkan peranan penting dalam proses pengalokasian *bandwidth* seperti Latensi (*delay* maksimum yang disetujui), *Jitter* (variasi *delay* yang disetujui), dan *Throughput* (laju bit minimum yang disetujui). (William Stallings, 2007).

2.3.2.3 Orthogonal Frequency-Division Multiplexing (OFDM)

OFDM menggunakan proses matematika yang menggunakan persamaan *Fast Fourier Transform* (FFT), Melalui OFDM mampu menyediakan 52 kanal tumpang tindih tanpa menghilangkan karakteristik orthogonal. OFDM mampu bekerja lebih efisien dalam penggunaan spektrum dan memungkinkan kanal-kanal diproses pada *receiver* secara efisien. Kemudian OFDM sangat populer dalam aplikasi-aplikasi *wireless* karena ketahanan dari bentuk interferensi dan degradasi seperti *multipath* dan *delay spread*.



Gambar 2.12 Maximum distance and throughput OFDM.

(Sumber: Frank Ohrtman, WiMAX Handbook Building 802-16 Wireless Networks)

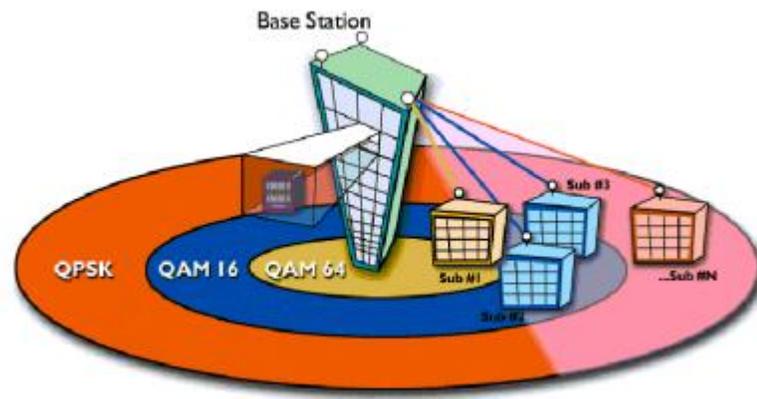
2.3.2.4 TDD dan FDD

WiMAX mendukung modulasi pada *Time Division Duplex* (TDD) dan *Frequency Division Duplex* (FDD). TDD digunakan ketika sistem melakukan transmisi dan menerima pada suatu kanal dimana kanal tersebut memiliki frekuensi yang sejenis, Sementara FDD membutuhkan frekuensi yang berbeda dengan rentang 50 MHz hingga 100 MHz pada pita frekuensi. Keuntungan atau kelebihan dari modulasi TDD yaitu mampu mengatur atau mengakolasikan spektrum yang berdekatan. Pemisahan pita frekuensi tidak dibutuhkan. Kemudian, seluruh alokasi spektrum digunakan bersamaan antara *upstream* dan *downstream* dengan trafik yang bervariasi ataupun asimetris.

2.3.2.5 Adaptive Modulation

Memiliki modulasi yang berbeda memungkinkan WiMAX mentransmisikan *bit-bit per symbol* dan kemudian memperoleh *throughput* yang tinggi atau efisiensi

spectra yang baik. Dalam menggunakan teknik modulasi (64-QAM), semakin baik parameter *Signal to Noise Ratio* (SNR) mempengaruhi serta mengatasi interferensi dan *Bit Error Ratio* (BER). Modulasi adaptif pada sistem *wireless* memilih modulasi orde yang tinggi karena berpengaruh pada kondisi kanal.

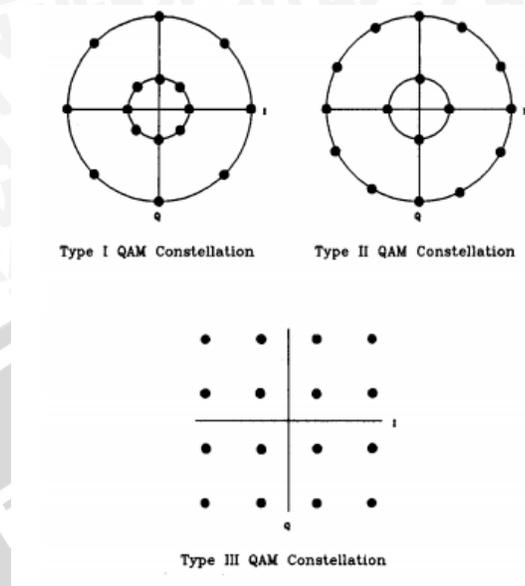


Gambar 2.13 *Adaptive Modulation.*
(Sumber: Intel in Communication)

Gambar 2.13 menjelaskan kondisi modulasi kanal yang dibedakan berdasarkan pada jarak dari cakupan *base station*, kegunaan dari modulasi adaptif yaitu mengoptimalkan *throughput*, mengatasi sistem *fading* dan interferensi yang lain. QAM dan QPSK adalah teknik modulasi yang digunakan pada standar IEEE 802.11 (Wifi), IEEE 802.16 (WiMAX) dan 3G (WCDMA/HSDPA).

2.3.2.6 *Quadrature Amplitude Modulation (QAM)*

Teknik modulasi QAM terdiri dari sinyal amplitudo dan sinyal fasa yang berubah mengikuti perubahan amplitudo sinyal informasi, maka dipresentasikan sebagai besaran amplitudo dan pergeseran fasa. QAM memiliki jumlah minimum bit per simbolnya sebanyak 2 bit, namun QAM memiliki berbagai macam teknik lainnya seperti 4-QAM, 8-QAM, 16-QAM, 32-QAM, 64-QAM, 128-QAM, dan 256-QAM, dimana penggunaanya diatur berdasarkan banyaknya jumlah bit dalam satu simbol. Standar yang digunakan oleh WiMAX 802.16 adalah 16-QAM dan 64-QAM. Konstelasi dibawah menjelaskan hubungan antara amplitudo dan fasa dengan bit yang telah ditentukan.



Gambar 2.14 Konstelasi QAM.

(Sumber: L. Hanzo, S.X. Ng, T. Keller, W.T. Webb)

2.4 Parameter – parameter Rancang Bangun

Ada beberapa parameter yang dapat digunakan untuk mengukur kualitas rancang bangun *video conference* pada WiMAX 802.16d, diantaranya *Delay* (tundaan), *Packet loss*, dan *Throughput*. Sub-bab berikut adalah penjelasan untuk masing-masing parameter tersebut.

2.4.1 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 (2-1) dan (2-2) sebagai berikut:

$$P_{LA} = B_{CODEC} \times \text{frame rate} \quad (2-1)$$

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

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 dienkode dan dipengaruhi oleh *Payload* masing-masing dapat dihitung dengan persamaan (2-3) dan (2-4):

$$P_A = \frac{P_{LA}}{P_{LA\ max}} \quad (2-3)$$

$$P_V = \frac{P_{LV}}{P_{LV\ max}} \quad (2-4)$$

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

$$\text{Paket data audio} = P_{LA} + (P_A \times (NALU + H_{RTP} + H_{UDP} + H_{IP})) \quad (2-5)$$

$$\text{Paket data video} = P_{LV} + (P_V \times (NALU + H_{RTP} + H_{UDP} + H_{IP})) \quad (2-6)$$

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

$$W_{data} = P_{data\ audio} + P_{data\ video} \quad (2-7)$$

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 2-8 berikut :

Total *delay end-to-end* adalah:

$$t_{end\ to\ end} = t_{codec} + t_{MAN} \quad (2-8)$$

dengan:

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

t_{codec} = *delay codec*

$$t_{MAN} = \text{delay MAN}$$

2.4.1.1 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 layanan *video conference* dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut:

$$t_{codec} = t_a + t_v \quad (2-9)$$

dengan:

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

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

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

2.4.1.2 Delay MAN

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

$$t_{MAN} = t_{proses} + t_{prop} + t_{trans} + t_w \quad (2-10)$$

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 mengalami perubahan format data yaitu penambahan header RTP dan UDP. Besarnya data yang ditambahkan header RTP dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$W_{message} = W_{data} + Header_{RTP} \quad (2-11)$$

dengan :

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

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

Format paket data pada RTP ditunjukkan pada gambar 2.15



Gambar 2.15 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 2-12 dibawah:

$$N_{segmen} = \frac{W_{message}}{MSS} \quad (2-12)$$

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 persamaa (2-13),

$$W_{segmen} = W_{message} + (N_{segmen} \times Header_{UDP}) \quad (2-13)$$

Format paket data pada TCP/UDP ditunjukkan pada gambar 2.16

Wdata	Header RTP (12 byte)	Header UDP (8 byte)
-------	----------------------	---------------------

Gambar 2.16 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:

$$W_{datagram} = W_{segmen} + Header_{IP} \tag{2-14}$$

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

Wdata	Header RTP (12 byte)	Header UDP (8 byte)	Header IP (20 byte)
-------	----------------------	---------------------	---------------------

Gambar 2.17 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 :

$$W_{frame\ ethernet} = W_{datagram} + Header_{ethernet} \tag{2-15}$$

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 2.18

Wdata	Header RTP (12 byte)	Header UDP (8 byte)	Header IP (20 byte)	Header Ethernet (14 byte)	CRC (4 byte)
-------	-------------------------	------------------------	------------------------	------------------------------	--------------

Gambar 2.18 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:

$$W_{frame\ total} = W_{frame\ ethernet} + Header_{MAC} \quad (2-16)$$

dengan:

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

Format paket data pada layer MAC WiMAX ditunjukkan pada gambar 2.19

WIMAX LAYER

MAC Layer	Wdata	Header RTP (12 byte)	Header UDP (8 byte)	Header IP (20 byte)	Header Ethernet (18 byte)	CRC (4 byte)	Header MAC (6 byte)
PHY Layer							

Gambar 2.19 Format paket data MAC WiMAX.

(Sumber: Nuaymi, 2007)

Sedangkan *delay* enkapsulasi adalah :

$$t_{enc} = \frac{W_{frame\ total} - W_{data}}{c} \times 8 \quad (2-17)$$

dengan:

t_{enc} = *delay* enkapsulasi (s)

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

c = kecepatan transmisi kanal (bps)

Sedangkan *delay* dekapsulasi dirumuskan sebagai berikut:

$$t_{dec} = \frac{W_{frame\ total} - W_{data}}{c} \times 8 \quad (2-18)$$

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:

$$t_{proc} = t_{enc} + t_{dec} \quad (2-19)$$

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:

$$t_{prop} = \frac{d_{max}}{v} \quad (2-20)$$

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)

$$t_{trans} = \frac{w}{c} \times 8 \quad (2-21)$$

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:

$$\begin{aligned} \mu &= \frac{c}{w} \\ \lambda_w &= \mu\rho \\ t_w &= \frac{\lambda_w}{\mu(\mu-\lambda_w)} + \frac{1}{\mu} \end{aligned} \quad (2-22)$$

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*

2.4.2 Probabilitas Packet Loss

Adalah besarnya kemungkinan jumlah paket data yang hilang pada saat transmisi. Probabilitas *packet loss total* pada WiMAX ditentukan berdasarkan *packet loss* pada jaringan yang berbasis protokol UDP/RTP/IP seperti ditunjukkan pada persamaan (Pritchard. Et.al, 1993)

$$\rho_{tot} = 1 - [(1 - \rho_{net})(1 - \rho_{video})] \quad (2.23)$$

dengan:

ρ_{tot} = Probabilitas *packet loss* total

ρ_{net} = Probabilitas *packet loss* pada jaringan WiMAX

ρ_{video} = Probabilitas *packet loss* untuk *Video Conference*

Besarnya probabilitas *packet loss* dalam persen dirumuskan dalam persamaan 2.24.

$$\rho_{tot}(\%) = \rho_{tot} \times 100 \% \quad (2.24)$$

a) Probabilitas *Packet Loss* pada Server

Packet Loss yang terjadi pada layanan *video conference* dihitung melalui persamaan

$$\rho = P_{size} \cdot \rho_b \quad (2.25)$$

dengan:

P_{size} = Ukuran paket data yang terdiri dari *payload* dan *header* (byte)

ρ_b = BER (10^{-7})

b) Probabilitas *Packet Loss* pada Jaringan

$P_{network}$ secara umum dapat didefinisikan (Pritchard, et.al, 1993)

$$P_{network} = \frac{e^{-\frac{Eb}{No}}}{2\sqrt{\pi\left(\frac{Eb}{No}\right)}} \quad (2.26)$$

c) Signal to Noise Ratio (SNR)

Signal to Noise Ratio merupakan perbandingan antara daya yang diterima oleh penerima terhadap noise pada saat proses propagasi. Besar SNR pada skripsi ini dilihat mulai dari *transmitter* sampai ke *user*. Besarnya SNR dinyatakan dalam persamaan berikut berikut (Mischa Schwartz, 1994):

$$SNR = 10 \text{ Log } \frac{P_r}{N_o} \quad (2-27)$$

dengan:

SNR = *signal to noise ratio* (dB)

P_r = daya yang diterima oleh penerima (mW)

N_o = daya *noise* pada saluran transmisi (mW)

Dengan daya noise pada saluran transmisi dinyatakan dalam persamaan berikut :

$$N_o = 10 \text{ log } kT + 10 \text{ log } B + NF \quad (2-28)$$

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

B = bandwidth (Hz)

Dan dengan daya yang dapat diterima oleh penerima dapat dinyatakan dengan persamaan (Robert G. Winch, 1998: 184) :

$$P_r \text{ (dBm)} = P_t - FSL - L_t - L_r + G_r + G_t \quad (2-29)$$

Sedangkan nilai FSL (*Free Space Loss*) dapat menggunakan persamaan (Andrea Goldsmith, 2005: 49) :

$$FSL = 20 \log \frac{4\pi d}{\lambda} \quad (2-30)$$

dengan:

P_r = daya terima receiver (dBm)

P_t = daya pancar transmitter (dBm)

FSL = free space loss (dB)

L_t = transmitter losses (cable loss) (dB)

L_r = receiver losses (body loss) (dB)

G_r = gain receiver (dBi)

G_t = gain transmitter (dBi)

λ = panjang gelombang (m)

f = frekuensi kerja sistem (Hz)

d = jarak antara transmitter dan receiver (m)

c = kecepatan cahaya (3×10^8 m/s)

d) Perhitungan bit rate

Bit rate pada modulasi adalah kecepatan pengiriman informasi melalui media transmisi. *Bit rate* adalah kecepatan tiap bit per sekon. *Bit rate* ini tergantung dengan jenis modulasi yang digunakan yang ditandai dengan banyaknya bit per simbol yang dikirim pada tiap jenis modulasi. Perhitungan *bit rate* dinyatakan dengan persamaan berikut (Stallings, 2005):

$$R = 2B \times \log_2 n \quad (2-31)$$

dengan:

n = banyaknya bit pada suatu jenis modulasi

B = bandwidth jaringan yang dipergunakan (Hz)

R = bit rate (bps)

e) Energy Bit-to-Noise Ratio

E_b/N_0 adalah suatu parameter penting dalam komunikasi digital. Parameter ini berhubungan dengan SNR yang biasanya digunakan untuk menentukan laju data digital dan sebagai ukuran mutu standar untuk kinerja sistem komunikasi digital. *Energy Bit to Noise Ratio* adalah perbandingan energi sinyal per bit terhadap noise. E_b/N_0 ini dipengaruhi oleh SNR, dan bit rate pada modulasi.

Perhitungan E_b/N_0 , terutama digunakan ketika akan menentukan performansi *Bit Error Rate* (BER) pada skema modulasi digital yang berbeda. Energi per bit dalam sebuah sinyal dijelaskan dalam persamaan berikut (William Stallings, 2007):

$$\frac{E_b}{N_0} = \text{SNR} - 10 \log \frac{B}{R} \quad (2-32)$$

dengan:

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

SNR = signal to noise ratio sistem (dB)

B = bandwidth sistem (Hz)

R = bit rate (bps)

2.4.3 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).

$$\lambda = \frac{(1-\rho)}{t_{trans}[1+(\alpha-1)\rho]} \quad (2-33)$$

dengan:

λ = throughput (paket/s)

ρ = probabilitas paket loss yang diterima

Parameter α dihitung dengan menggunakan persamaan 2.82. (Mischa Schwartz, 1987)

$$\alpha = 3 + \frac{2t_p}{t_1} \quad (2.34)$$

Waktu transmisi *frame* ditentukan dengan persamaan 2.84. (Mischa Schwartz, 1987)

$$t_1 = \frac{(W_{\text{frame total}}) \times 8}{C_{\text{trans}}} \quad (2.35)$$

- α = Konstanta perbandingan
 t_p = *Delay* propagasi total (s)
 t_1 = Waktu transmisi sebuah *frame* (s)
 $W_{\text{frame total}}$ = *total payload frame* (byte)

2.5 Rekomendasi dan Perangkat Pendukung

2.5.1 Rekomendasi ITU-T G.1010

Berdasarkan ITU-T G.1010, Aplikasi *video conference* memiliki persyaratan *packet loss* yang berbeda-beda berdasarkan media yang dikirimkan. Berikut adalah tabel yang menunjukkan syarat *packet loss* berdasarkan ITU-T G.1010

Tabel 2.5 Standar *Packet Loss* ITU-T G.1010

Medium	Application	Degree of Symmetry	Information Loss
Audio	<i>Conversational Voice</i>	<i>Two-way</i>	< 3% <i>Packet Loss Ratio (PLR)</i>
Audio	<i>Voice Messaging</i>	<i>One-way</i>	< 3% <i>PLR</i>
Audio	<i>High Quality Audio Streaming</i>	<i>One-way</i>	< 1% <i>PLR</i>
Video	<i>Videophone</i>	<i>Two-way</i>	< 1% <i>PLR</i>
Video	<i>Streaming</i>	<i>One-way</i>	< 1% <i>PLR</i>

(Sumber: ITU-T G.1010, 2002)

2.5.2 Rekomendasi ITU-T G.114

Berdasarkan ITU-T G.114, memiliki persyaratan delay pada *transmission system and media, digital system and networks* seperti yang ditunjukkan pada tabel yang dibawah

Tabel 2.6 Standar *Delay* ITU-T G.114

<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

(Sumber: ITU-T G.114, 2011)

2.5.3 Wireshark

Wireshark merupakan perangkat lunak berbasis *open-source* dan gratis. Wireshark digunakan untuk menyelesaikan permasalahan pada jaringan, analisis, perangkat lunak dan pengembangan protokol komunikasi.



Gambar 2.20 Logo Wireshark.
Sumber: <http://www.wireshark.org>

Wireshark memiliki fungsi sebagai *packet sniffer*, yang memiliki 3 proses utama, antara lain:

- *Capture*. Wireshark menangkap paket data yang melewati adapter kabel jaringan maupun wireless pada pengguna.
- *Decode*. *Decode* atau dekode adalah proses mengubah suatu protokol menjadi sebuah informasi yang dapat diketahui.
- *Analyze*. *Analyze* membuat wireshark menjadi program paling disenangi *network analyst* karena dapat menampilkan beberapa parameter terkait performansi maupun karakteristik paket data.

2.5.4 Wincap

WinPcap merupakan perangkat lunak berbasis *open source* yang digunakan untuk mengambil dan mengirimkan paket-paket jaringan dengan melewati tumpukan-tumpukan protokol dan bahkan memiliki fitur-fitur seperti *packet filtering*, *network statistic* dan *remote packet capture*.

2.5.5 OpenMCU

OpenMCU merupakan aplikasi dengan berlisensi gratis yang dikembangkan sebagai *open source* untuk mendukung *video conference* berdasarkan protokol atau *codec* H.323 dan protokol SIP juga. Aplikasi OpenMCU dapat berjalan pada *operating system* Windows, Linux dan FreeBSD.

2.5.6 MyPhone3

Myphone3 merupakan salah satu aplikasi berlisensi gratis yang mendukung sistem *video conference* pada aplikasi OpenMCU.

2.5.7 Traffic Generator

Traffic Generator merupakan perangkat lunak yang berfungsi untuk mengirimkan satu paket atau banyak paket-paket dalam jaringan. Traffic generator bertujuan untuk mengetahui performansi pengujian beban maksimal pada jaringan.