

BAB II

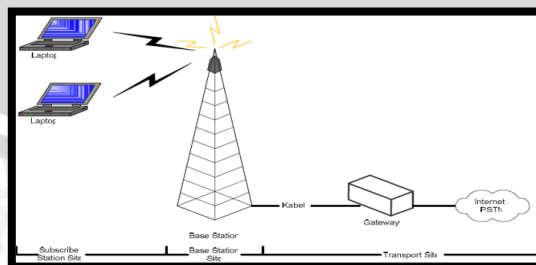
TINJAUAN PUSTAKA

2.1 *Worldwide Interoperability for Microwave Access (WiMAX)*

Worldwide Interoperability for Microwave Access (WiMAX) merupakan teknologi akses nirkabel pita lebar (*Broadband Wireless Access*) yang memiliki kecepatan tinggi serta jarak jangkauan yang luas. WiMAX terbagi menjadi dua model yang masing-masing diatur oleh dua standar IEEE yang berbeda. Model pertama adalah *fixed-access* atau sambungan tetap yang menggunakan standar IEEE 802.16d. Standar ini termasuk dalam golongan layanan *fixed wireless* karena menggunakan antena yang dipasang di lokasi pelanggan. Model kedua yaitu pemanfaatan *portable* atau *mobile* yang menggunakan standar IEEE 802.16e. Standar ini khususnya diimplementasikan untuk komunikasi data pada aneka perangkat genggam, atau perangkat bergerak (*mobile*) seperti *notebook*. WiMAX memiliki jangkauan yang jauh lebih luas, mampu mencapai 50 km dan dapat didesain bukan hanya untuk kondisi LOS (*Line of Sight*) tetapi juga dalam kondisi NLOS (*Non Line of Sight*).

2.1.1 Konfigurasi jaringan WiMAX

Sistem WiMAX terdiri dari beberapa bagian, yaitu *Base Station (BS)* di sisi pusat dan *Subscriber Station (SS)* atau *Customer Premise Equipment (CPE)* di sisi pelanggan. Konfigurasi jaringan WiMAX dapat dilihat pada Gambar 2.1.berikut.



Gambar 2.1 Konfigurasi jaringan WiMAX.
(Sumber: Wibisono, 2009)

Dalam Gambar 2.2. digambarkan bahwa konfigurasi WiMAX terdiri dari:

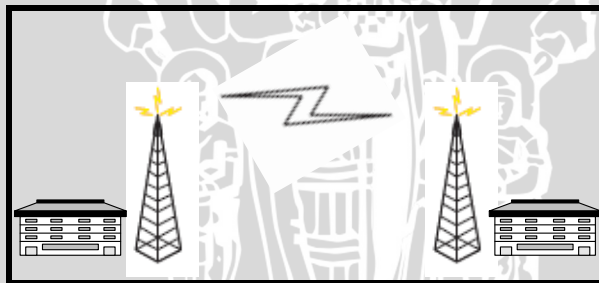
1. *subscriber station (SS) site*: bagian ini terdiri dari *Customer Premise Equipment (CPE)* atau dapat berupa laptop. Bagian ini berfungsi sebagai peralatan yang digunakan oleh *user/pengguna*.
2. *base station (BS) site*: bagian ini terdiri dari *base station (BS)*. Bagian ini berfungsi untuk menghubungkan *subscriber station (SS) site* dengan *transport site*.
3. *transport site (bagian backend)*: bagian ini terdiri dari jaringan *internet/PSTN*. Bagian ini berfungsi untuk menghubungkan *base station* dengan *internet*.

2.1.2 Topologi Jaringan WiMAX

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

a) *Point to Point*

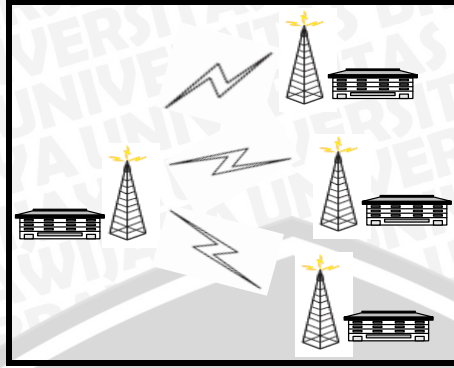
Point to Point adalah jaringan yang menghubungkan antara dua terminal. Antara sisi pemancar dan sisi penerima terdapat 1 perangkat pemancar dan 1 perangkat penerima.



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

b) *Point to Multipoint*

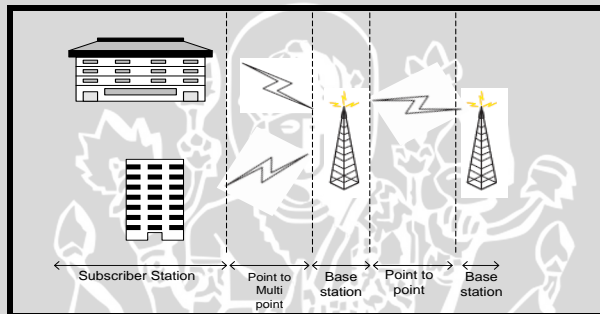
Point to Multipoint adalah jaringan yang menghubungkan antara sisi pemancar dan sisi penerima dimana 1 perangkat pemancar (*Base Station*) dapat melayani banyak pelanggan yang berbeda-beda.



Gambar 2.3 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*.

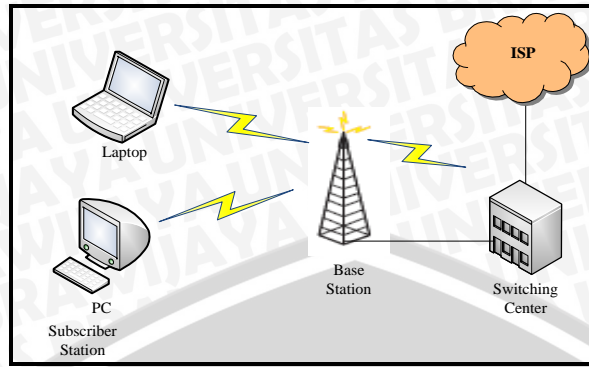


Gambar 2.4 Metode *Mesh*
(Sumber: www.sinauonline.50webs.com/GSM.html)

2.1.3 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 802.1
- *Switching center* akan mengirimkan pesan ke *internet service provider* atau *public switched telephone network* (PSTN) melalui kabel. (Gunawan Wibisono, 2009) :

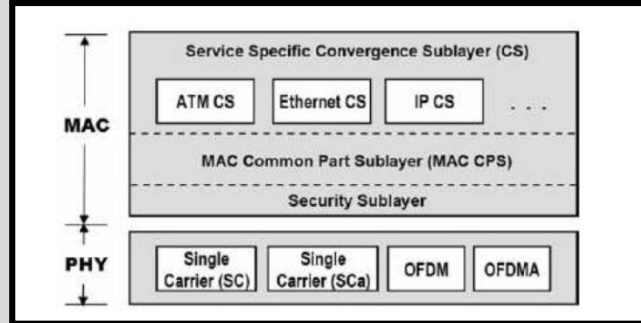


Gambar 2.5 Prinsip kerja WiMAX.

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

2.1.4 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.

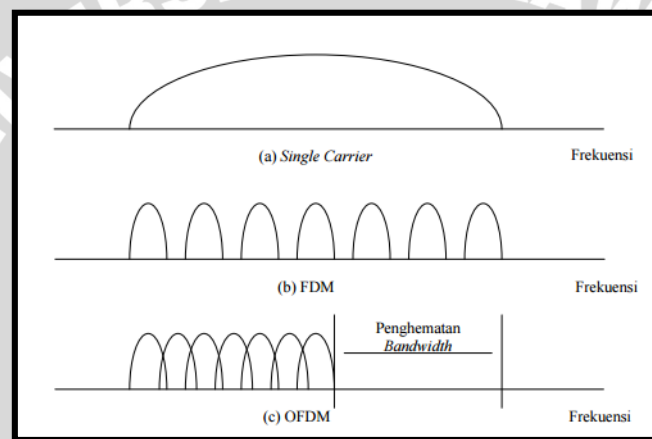
(Sumber : Kwang-Cheng Chen and J. Roberto B. de Marca, 2008)

2.1.4.1 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)*.

2.1.4.1.1. Orthogonal Frequency Division Multiple Access (OFDMA)

OFDM (*Orthogonal Frequency Division Multiplexing*) merupakan sebuah teknik transmisi dengan beberapa frekuensi (*multicarrier*) yang saling tegak lurus (*orthogonal*). Pada prinsipnya, teknik OFDM hampir sama dengan FDM (*frequency division multiplexing*) yaitu membagi lebar pita (*bandwidth*) yang ada kedalam beberapa kanal. Namun teknik OFDM membagi kanal tersebut dengan lebih efisien dibanding sistem FDM. Karena masing-masing frekuensi sudah saling tegak lurus (*orthogonal*) sehingga terjadi overlap antarfrekuensi yang bersebelahan, maka tidak diperlukan *guard band*. Sehingga dapat menghemat *bandwidth*, dapat dilihat pada Gambar 2.7 berikut



Gambar 2.7 OFDM menghemat bandwidth
(Sumber : <http://repository.usu.ac.id/bitstream/>)

Prinsip kerja OFDM adalah deretan data informasi yang akan dikirim dikonversikan ke dalam bentuk paralel, sehingga bila *bit rate* semula adalah R , maka *bit rate* di tiap-tiap jalur paralel adalah R/M dimana M adalah jumlah jalur paralel (sama dengan jumlah *sub-carrier*). Setelah itu, modulasi dilakukan pada tiap-tiap *sub-carrier*. Kemudian sinyal yang telah termodulasi tersebut diaplikasikan ke dalam *Inverse Discrete Fourier Transform* (IDFT), untuk pembuatan simbol OFDM. Penggunaan IDFT ini memungkinkan pengalokasian frekuensi yang saling tegak lurus. Setelah itu simbol-simbol OFDM dikonversikan lagi ke dalam bentuk serial, dan kemudian sinyal dikirim.

Pada OFDM, frekuensi-frekuensi *multicarrier* tersebut saling tegak lurus, yang berarti bahwa *crosstalk* di antara *sub-channels* dihilangkan dan *inter-carrier guard bands*

tidak diperlukan. Pada OFDM, sinyal didesain sedemikian rupa agar *orthogonal*, sehingga jika 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 DFT. Solusi yang termudah adalah dengan menambah jumlah *subchannel* sehingga periode simbol menjadi lebih panjang, dan distorsi bisa diabaikan jika dibandingkan dengan periode simbol. Keunggulan OFDM adalah tingginya tingkat efisiensi dalam pemakaian frekuensi.

2.1.4.2 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)

2.1.4.2.1 Service Class

Teknologi WiMAX dapat menjalankan QoS dengan berbagai kebutuhan aplikasi. Sebagai contoh aplikasi streaming dan conferencing memerlukan latency yang rendah tetapi masih bisa mentolerir beberapa error rate. Sebaliknya aplikasi-aplikasi data pada umumnya sangat sensitif terhadap error rate, sedangkan faktor latency bukan menjadi pertimbangan kritis. Perubahan parameter QoS bisa diminta oleh SS ke BS dengan sambungan masih tetap terjaga. Berdasarkan jenisnya, QoS pada WiMAX ini dapat dikelompokkan menjadi lima jenis yaitu *Real Time Packet Service* (rtPS), *Non-Real Time Packet Service* (nrtPS) dan *Best Effort* (BE).

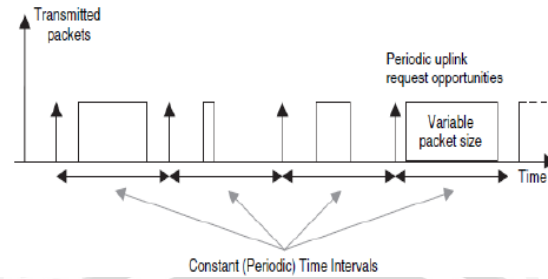
a. Real Time Polling Service (rtPS)

Efektif untuk layanan yang sensitif terhadap *throughput* dan *latency*, garansi *rate* dan syarat *Delay* telah ditentukan. Jenis penjadwalan layanan rtPS dirancang untuk

mendukung aliran real-time data terdiri dari paket data berukuran variabel yang dikeluarkan pada interval waktu periodic seperti pada Gambar 2.8.



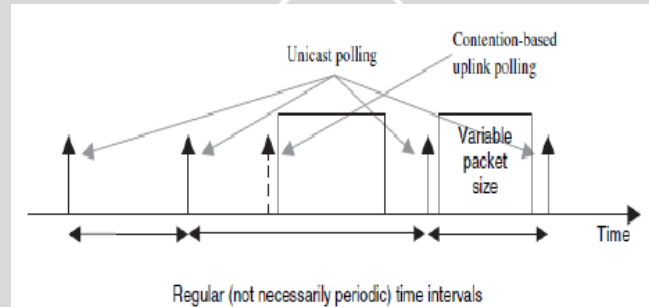




Gambar 2.8 Mekanisme alokasi uplink pada rtPS

b. *Non-Real Time Polling Service (nrtPS)*

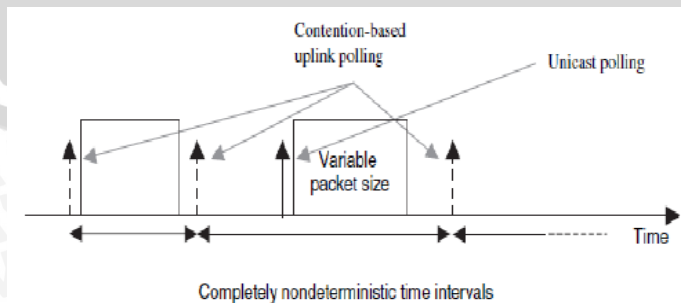
Untuk pelanggan yang membutuhkan bandwidth yang besar, namun bisa mentolelir *latency*, memiliki ciri-ciri sebagai berikut, efektif untuk aplikasi yang membutuhkan *throughput* yang baik. garansi rate diperlukan namun *Delay* tidak digaransi.



Gambar 2.9 Mekanisme alokasi uplink pada nrtPS

c. *Best Effort (BE)*

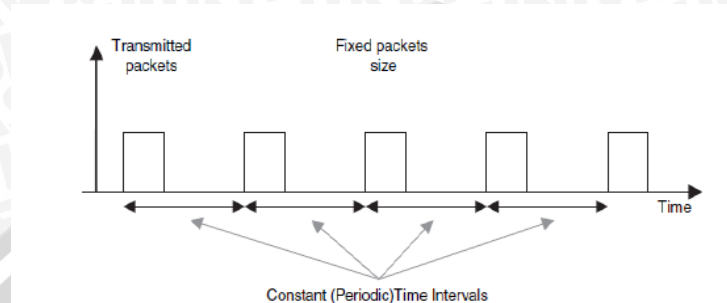
Best Effort adalah mode yang digunakan jika masalah kecepatan data dan *Delay* tidak terlalu diperhatikan namun sensitif terhadap *error rate*, berikut adalah ciri-ciri dari mode *Best Effort*, untuk trafik yang tidak membutuhkan jaminan kecepatan data (*best effort*), tidak ada jaminan (*requirement*) pada *rate* dan *Delay*nya, sensitif terhadap *error rate*.



Gambar 2.10 Mekanisme alokasi uplink pada BE

d. *Unsolicited grant service (UGS)*

Jenis penjadwalan layanan UGS dirancang untuk mendukung aliran data real-time yang terdiri dari paket data dengan ukuran yang tetap yang dikeluarkan pada interval periodic seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.11.



Gambar 2.11 Mekanisme alokasi *uplink* pada UGS

e. *Extended real time polling service (ErtPS)*

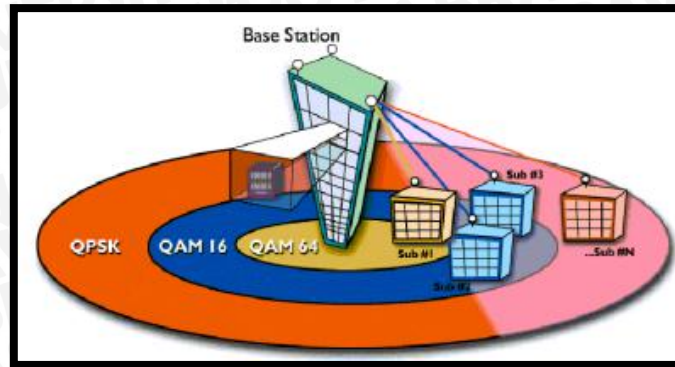
Jenis penjadwalan layanan yang kelima ditambahkan pada 802.16e. Kelas ertPS (*extended real-time Polling Service*) ditambahkan pada amandemen 802.16e Standar tersebut menunjukkan bahwa ertPS adalah mekanisme penjadwalan yang tercipta dari penggabungan efisiensi antara UGS dan rtPS.

2.1.5 Teknologi pada WiMAX

Teknologi WiMAX didesain untuk kondisi LOS dan NLOS. Teknologi WiMAX dapat mampu mengatasi dan mengurangi permasalahan tersebut dikarenakan memiliki keunggulan yang disebabkan oleh penggunaan :

2.1.5.1. Adaptive Modulasi

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 2.12 Adaptive Modulation.

(Sumber: Intel in Communication)

Gambar 2.12 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).

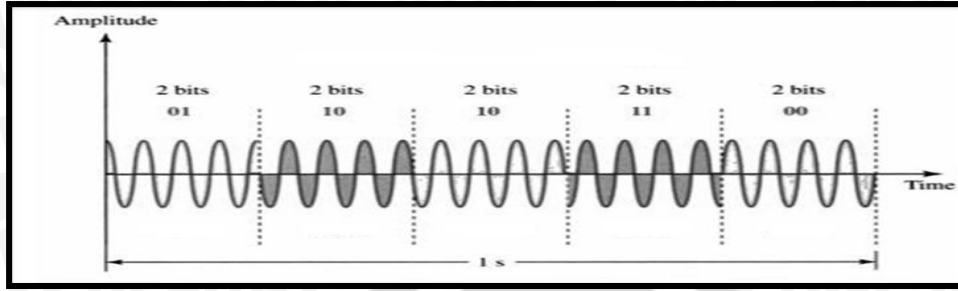
Pada *mobile* WiMAX, digunakan beberapa teknik modulasi digital diantaranya

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.

b. **Quadrature Phase Shift Keying (QPSK)**

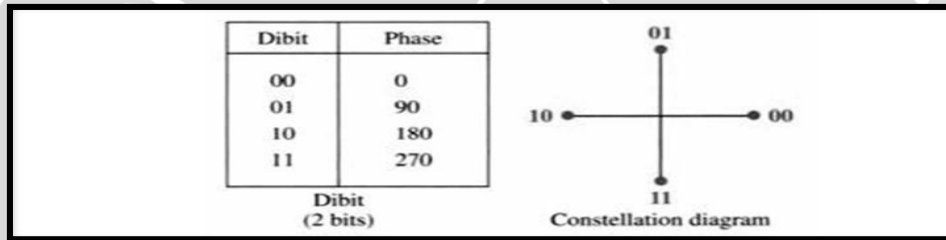
Modulasi QPSK merupakan jenis transmisi data PSK 4-er (4-ary PSK) yakni $M=2^N$, dengan $N=2$. Setiap symbol tersusun atas dua bit, sehingga terdapat empat symbol yang masing-masing symbol direpresentasikan oleh fasa. Misalnya, *phase* 0° merepresentasikan bit 00, *phase* 90° merepresentasikan bit 01, *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.



Gambar 2.13 Sinyal pada *Quadrature Phase Shift Keying* (QPSK).

(Sumber : Behrouz A. Forouzan, 2000)

Gambar 2.13 menjelaskan hubungan antara *phase* dengan bit pada QPSK. Gambar 2.14 juga disebut dengan *constellation* atau *phase state diagram* yang menunjukkan hubungan yang sama dengan mengilustrasikan *phase*-nya.



Gambar 2.14 *Quadrature Phase Shift Keying* (QPSK) constellation.

(Sumber : Behrouz A. Forouzan, 2000)

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*. 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

$$M = 2^N$$

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.

2.1.6 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).

2.2 VoIP

VoIP merupakan sebuah istilah populer dari pengguna internet untuk berkomunikasi dengan menggunakan suara. VoIP adalah teknologi yang mampu melewati trafik suara yang berbentuk paket melalui jaringan IP dengan teknik *packet voice*, dimana suara akan dikonversi menjadi bentuk digital kemudian diperkecil dan akhirnya dibagi menjadi beberapa paket suara untuk kemudian dikirim ke penerima via jaringan paket. Jaringan IP sendiri merupakan jaringan komunikasi data yang berbais *packet switch*, jadi dalam bertelpon menggunakan jaringan IP atau internet.

2.2.1 Protocol

Protokol adalah komponen berupa seperangkat aturan atau rule komunikasi antar *User Agent*, antar *Proxy* atau *User Agent* dengan *Proxy*. Protokol tersebut harus dipenuhi agar akses komunikasi dalam hal ini komunikasi VoIP dapat melewati jaringan Internet. Protokol yang saat ini digunakan untuk membangun jaringan VoIP adalah H.323 dan *Session Initiation Protocol* (SIP).

H.323 merupakan rekomendasi dari *International Telecommunication Union – Telecommunication* (ITU-T) yang mendefinisikan protocol mengenai komunikasi multimedia melalui internet. SIP adalah protocol signaling yang dikembangkan oleh *Internet Engineering Task Force* (IETF). Dalam spesifikasinya, H.323 mengambil pendekatan lebih tradisional disbanding SIP. H.323 merupakan protocol yang sangat kompleks yang terdiri dari beragam sub-protokol, sedangkan SIP protocol yang lebih sederhana dan berfungsi menciptakan, mengatur dan mengakhiri session (pertukaran data) antar *internet end-point*.

2.2.2 Codec

Codec merupakan kependekan dari *Compression/Decompression*. Codec merupakan teknologi yang memaketkan data *voice* ke dalam format lain dengan perhitungan matematis tertentu, sehingga menjadi lebih teratur dan mudah dipaketkan. Codec bertujuan untuk mengurangi penggunaan bandwidth di dalam transmisi sinyal pada setiap pemanggilan tanpa mengorbankan kualitas suara.

ITU-T membuat beberapa standar untuk voice coding yang direkomendasikan untuk implementasi VoIP. Beberapa standar yang populer digunakan antara lain: G.711, G.723.1, G.726, G.728, dan G.729.

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 Standarisasi kompresi suara menurut ITU-T

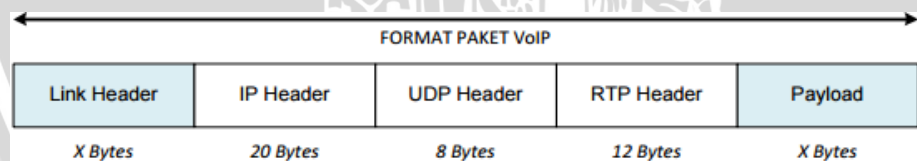
| Teknik Kompresi | Bit Rate (Kbps) | Payload Size (Byte) | Sample/Frame Size (ms) | MOS |
|-----------------|-----------------|---------------------|------------------------|------|
| G.711 | 64 | 80 | 10 | 4.1 |
| G.726 | 32 | 60 | 20 | 3.85 |
| G.728 | 16 | 40 | 2.5 | 3.61 |
| G.729 | 8 | 20 | 10 | 3.92 |
| G.723. 1a | 6.3 | 24 | 30 | 3.9 |
| G.723. 1b | 5.3 | 20 | 30 | 3.65 |

(Sumber : ITU-T codec)

Tabel 2.1 menunjukkan variasi standarisasi kompresi suara yang dikeluarkan ITU-T. Kolom *bit rate* menunjukkan lebar bandwidth yang digunakan untuk mengirimkan suara yang dikompres menggunakan teknik kompresi tertentu. *Sample/Frame size* adalah waktu yang dibutuhkan untuk melakukan kompresi. Mean Opinion Score (MOS) adalah nilai opini pendengar di penerima.

2.2.3 Format Paket VoIP

Format paket yang digunakan dalam VoIP terdiri atas dua bagian, yaitu header dan payload (beban). Header terdiri atas header IP, *User Datagram Protocol* (UDP), *Real-time Transport Protocol* (RTP) dan link header seperti ditunjukkan pada Gambar 2.15 berikut :

**Gambar 2.15** Format Paket VoIP

(Sumber : www.cisco.com)

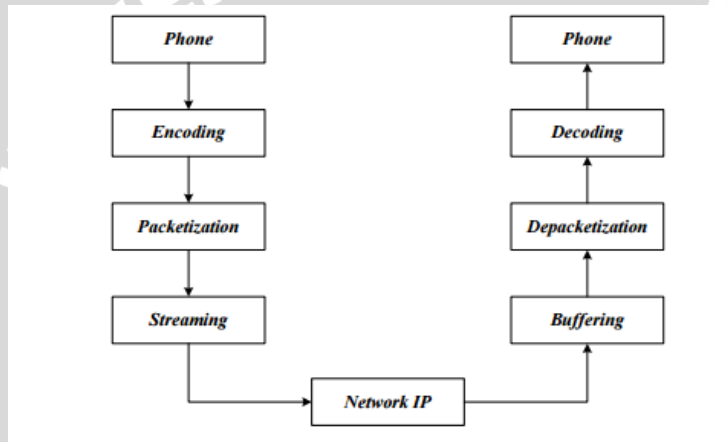
IP header berisikan informasi routing untuk mengirimkan paket-paket ke tujuan. Pada tiap header IP disertakan tipe layanan atau *type of service* (ToS) yang memungkinkan paket tertentu seperti paket suara diperlakukan berbeda dengan paket yang *non real time*.

UDP header memiliki ciri tertentu yaitu tidak menjamin paket akan mencapai tujuan sehingga UDP cocok digunakan pada aplikasi real time yang sangat peka terhadap *Delay* dan *latency*. RTP header adalah header yang dapat dimanfaatkan untuk melakukan framing dan segmentasi data *real time*. Seperti UDP, RTP juga mendukung realibilitas paket untuk

sampai di tujuan. RTP menggunakan protokol kendali yang mengendalikan RTCP (*real-time transport control protocol*) yang mengendalikan QoS dan sinkronisasi media stream yang berbeda.

2.2.4 Cara Kerja VoIP

VoIP merupakan teknologi yang mengirimkan komunikasi suara melalui jaringan computer seperti Internet atau jaringan lain berbasis IP. Teknologi VoIP diimplementasikan untuk menyediakan layanan telepon dan memberikan penghematan biaya dengan memanfaatkan kemampuan Internet berupa packetswitching. Desain arsitektur jaringan VoIP secara umum ditunjukkan pada Gambar 2.16 sebagai berikut (Ebna Masum, 2011) :



Gambar 2.16 Desain arsitektur jaringan VoIP
(Sumber : Ebna Masum, 2011)

Konsep cara kerja VoIP yaitu dengan melakukan pengiriman sebuah sinyal secara digital. Sebelum proses transmisi (pengiriman) dilakukan, data yang berupa sinyal analog akan dikonversikan dengan ADC (*Analog to Digital Converter*) menjadi bentuk data digital. Selain diubah menjadi format digital, data suara juga mengalami proses kompresi agar penggunaan bandwidth di dalam proses transmisi dapat dikurangi. Data digital yang telah dikompresi kemudian dienkapsulasi kedalam paket-paket sehingga dapat dengan mudah ditransmisikan melalui IP.

Setelah itu, data digital akan ditransmisikan ke tujuan. Setelah sampai, data digital akan didekapsulasi dan dikonversi kembali menjadi sinyal analog dengan DAC (*Digital to Analog Converter*) sehingga dapat diterima sesuai dengan data sinyal yang ditransmisikan.

2.3 Performansi VoIP melalui *Mobile WiMAX*

Dalam penelitian ini akan dianalisis beberapa parameter yang dapat memberikan gambaran performansi VoIP pada WiMAX

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).

Nilai payload paket data pada audio ditentukan dengan menggunakan persamaan :

$$P_{LA} = B_{codec} \times \text{frame rate} \quad (2.1)$$

maka banyaknya bit yang terisi dalam paket VoIP ditentukan dengan persamaan :

$$P_A - \text{size} = \text{header}_{UDP/RTP/IP} + P_{LA} \quad (2.2)$$

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

$$P_A = \frac{B_{codec}}{P_{LA}} \quad (2.3)$$

Sehingga bandwidth audio dapat diperoleh dengan persamaan :

$$B_A = P_{A-size} \times P_A \quad (2.4)$$

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.

2.3.2 *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).

$$\lambda = \frac{(1-\rho)}{t_{trans}[1+(\alpha-1)\rho]} \quad (2.5)$$

dengan:

- λ = *throughput* (paket/s)
- ρ = probabilitas paket loss yang diterima

Parameter α dihitung dengan menggunakan persamaan 2.6 (Mischa Schwartz, 1987)

$$\alpha = 3 + \frac{2t_p}{t_1} \quad (2.6)$$

Waktu transmisi *frame* ditentukan dengan persamaan 2.7 (Mischa Schwartz, 1987)

$$t_1 = \frac{(W_{frame\ total}) \times 8}{C_{trans}} \quad (2.7)$$

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

2.3.3 Packet Loss

Analisis Probabilitas paket salah ini merupakan analisis probabilitas bit salah (error bit probability) P_{be} pada penerima. Besarnya P_{be} dipengaruhi oleh perbandingan *energy bit* terhadap *noise* $\left(\frac{E_b}{N_o}\right)$.

Energy bit to noise $\left(\frac{E_b}{N_o}\right)$ merupakan rasio energi sinyal per bit terhadap energi *noise per Hertz*. $\left(\frac{E_b}{N_o}\right)$ adalah *Signal to Noise Ratio* (SNR) ternormalisasi, yang juga dinamakan SNR per bit. $\left(\frac{E_b}{N_o}\right)$ berguna saat membandingkan kinerja *Bit Error Rate* (BER) dari skema modulasi digital yang berbeda tanpa memperhitungkan bandwidth, $\left(\frac{E_b}{N_o}\right)$ juga digunakan untuk menilai kualitas sinyal yang dikirimkan oleh pemancar. *Energy bit to noise* $\left(\frac{E_b}{N_o}\right)$ dari tipe modulasi tertentu dapat dihitung dengan menggunakan persamaan :

$$\frac{E_b}{N_o} = P_t\ dbm + G_t\ dbi - P_L\ db - N_o\ dbm + R_{dB} \quad (2.8)$$

dengan :

- P_L = Path loss/rugi-rugi propagasi (dB)
- P_t = daya pancar (dBm)
- G_t = gain antena pemancar (dBi) 37
- R = laju data (dB)
- N_o = daya noise saluran transmisi (dBm)

Dalam pembahasan sebelumnya, telah disebutkan bahwa semakin banyak bit data yang ditransmisikan, menghasilkan laju data yang semakin tinggi. Semakin meningkatnya laju data, mengakibatkan $\left(\frac{E_b}{N_o}\right)$ yang dibutuhkan semakin tinggi, hal ini dilakukan untuk tetap mempertahankan transmisi pada nilai BER tertentu. Dengan demikian, tipe modulasi 64 QAM yang membawa 6 bit data tiap simbolnya akan memiliki nilai *energy bit to noise* $\left(\frac{E_b}{N_o}\right)$ paling besar diantara tipe modulasi lainnya, yaitu QPSK dan 16 QAM.

Untuk melakukan perhitungan Probabilitas bit salah pada teknik modulasi QPSK $\frac{1}{2}$ diperlukan parameter $\left(\frac{E_b}{N_o}\right)$. Probabilitas packet loss aplikasi VoIP dengan menggunakan persamaan *header UDP/RTP/IP* dan yaitu :

$$Q(x) = \frac{1}{2} \operatorname{erfc} \frac{x}{2} \quad (2.9)$$

$$\rho_{UDP/RTP/IP} = P_{size} x \rho_b \quad (2.10)$$

Maka probabilitas bit salah yang terjadi pada tipe modulasi QPSK adalah (Rappaport, 2002) :

$$P_{be} = Q \left(2 \sqrt{\frac{E_b}{N_o}} \right) \quad (2.11)$$

Pada teknik modulasi 16 QAM dan 64 QAM, probabilitas bit salah yang terjadi dapat dihitung sesuai dengan persamaan adalah (Rappaport, 2002) :

$$P_{be} = \frac{4}{K} \left(1 - \frac{1}{M} \right) Q \left(\sqrt{\frac{3K E_b}{M-1 N_o}} \right) \quad (2.12)$$

Persamaan 2-19 dan Persamaan 2-20 menunjukkan hubungan antara *probabilitas bit salah* dengan *energy bit to noise* $\left(\frac{E_b}{N_o}\right)$. Berdasarkan kedua persamaan tersebut diperoleh bahwa semakin besar *energy bit to noise* $\left(\frac{E_b}{N_o}\right)$ yang dibutuhkan pada tipe modulasi tertentu mengakibatkan probabilitas bit salah yang terjadi akan semakin besar, begitu pula sebaliknya.

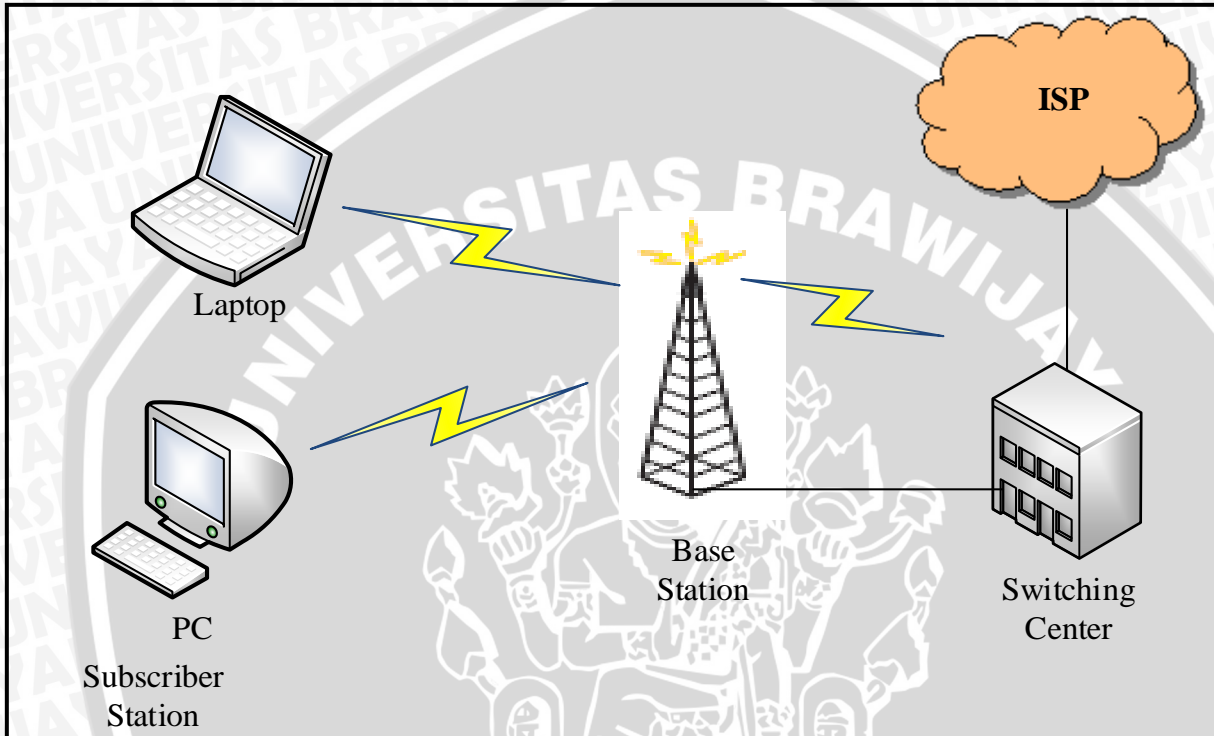
Probabilitas packet loss total merupakan banyaknya probabilitas paket yang diterima dalam keadaan salah di penerima. Probabilitas *packet loss* total aplikasi VoIP pada suatu jaringan ditentukan berdasarkan pada probabilitas paket loss pada jaringan tersebut serta probabilitas *packet loss* aplikasi VoIP yang berbasis protocol 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] :

$$\rho_{total} = 1 - 1 - \rho_{network} 1 - \rho_{UDP/RTP/IP} \quad (2.13)$$

2.3.4 Delay

Delay adalah waktu total yang dibutuhkan untuk mengirimkan paket data dari sumber sampai ke tujuan. Delay end-to-end pada jaringan IP merupakan penjumlahan Delay-Delay yang terjadi dalam perjalanan paket dari sumber ke tujuan. Pada aplikasi VoIP yang bersifat full duplex, maka Delay dihitung dari penerima ke sumber sampai ke penerima lain.



Gambar 2.17 Delay pada proses

Delay sangat mempengaruhi kualitas layanan suara, karena pada dasarnya suara memiliki karakteristik "timing". Urutan pengucapan tiap suku kata yang ditransmisikan harus sampai ke sisi penerima dengan urutan yang sama pula sehingga dapat terdengar dengan baik secara real-time. ITU G.114 membagi karakteristik waktu tunda berdasarkan tingkat kenyamanan user, seperti ditunjukkan pada Tabel 2.2

Tabel 2.2 Pengelompokkan waktu tunda berdasarkan ITU-T.G.11.4

| Waktu Tunda | Kualitas |
|-------------|----------|
| 0-150 ms | Baik |
| 150-300 ms | Cukup |
| > 300 ms | Buruk |

Delay end-to-end dapat dituliskan sebagai berikut:

$$t_{end\ to\ end} = t_{codec} + t_{MAN} \quad (2.14)$$

dengan :

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

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

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

2.3.4.1. Delay Codec

Delay codec adalah waktu yang dibutuhkan 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. *Delay* ini terjadi pada sisi encoder dan decoder.

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

$$t_{codec\ ms} = t_{encoding\ ms} + t_{decoding\ ms} \quad (2.15)$$

dengan :

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

2.3.4.2. Delay pada MAN

Delay MAN merupakan keseluruhan *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:

$$t_{MAN} = t_{proses} + t_{prop} + t_{trans} + t_w \quad (2.16)$$

dengan:

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

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

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

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

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

2.3.4.2.1. 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* dekapsulasi. *Delay* proses terdiri dari beberapa proses sebagai berikut:

$$W_{message} = W_{data} + Header_{RTP} \quad (2.17)$$

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

dengan:

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

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

$Header_{UDP}$ = 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:

$$W_{datagram} = W_{segmen} + Header_{IP} \quad (2.18)$$

dengan:

W_{segmen} = panjang segmen TCP (byte)

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

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

Kemudian datagram IP dienkapsulasi dengan header pada layer 2, pada penelitian ini akan digunakan Ethernet sebagai layer pada datalink.

$$W_{frame} = W_{datagram} + Header_{ethernet} \quad (2.19)$$

dengan:

W_{frame} = panjang frame Ethernet (byte)

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

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

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

$$W_{frame\ total} = W_{frame} + Header_{MAC} \quad (2.20)$$

dengan:

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

Sedangkan *delay* enkapsulasi adalah:

$$t_{enc} = \frac{w_{frame\ total}}{c} \times 8 \quad (2.21)$$

dengan:

t_{enc} = Delay enkapsulasi (ms)

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

c = kecepatan transmisi kanal (bps)

Sedangkan *Delay* dekapsulasi dirumuskan:

$$t_{dec} = \frac{w_{frame\ total}}{c} \times 8 \quad (2.22)$$

dengan:

t_{dec} = Delay dekapsulasi (ms)

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

c = kecepatan transmisi kanal (bps)

Sehingga *delay* proses dapat dituliskan sebagai berikut

$$t_{proc} = t_{enc} + t_{dec} \quad (2.23)$$

dengan: t_{proc} = Delay proses (ms)

t_{enc} = Delay enkapsulasi (ms)

t_{dec} = Delay dekapsulasi (ms)

2.3.4.2.2. 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:

$$t_{prop} = \frac{d_{max}}{v} \quad (2.24)$$

dengan:

t_{prop} = Delay propagasi (ms)

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

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

2.3.4.2.3. Delay transmisi

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

$$t_{trans} = \frac{w_{frame\ total}}{c} \times 8 \quad (2.25)$$

dengan:

t_{trans} = Delay transmisi (ms)

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

c = kecepatan transmisi kanal (bps)

2.3.4.2.4. 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 dalam menangani paket 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:

$$\mu = \frac{c}{w_{frame\ total}} \quad (2.26)$$

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

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

dengan:

t_w = Delay antrian (ms)

x = waktu rata-rata pelayanan (ms)

c = kapasitas kanal (bps)

λ_w = kecepatan kedatangan (paket/detik)

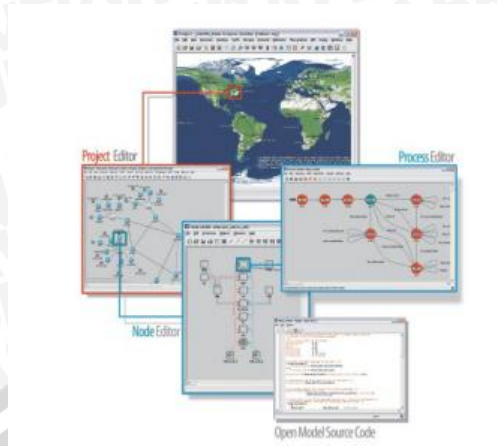
μ = kecepatan pelayanan (paket/detik)

ρ = faktor utilitas sistem nirkabe

2.4 *Optimized Network Engineering Tool (OPNET) Modeler* versi 14.5

Optimized Network Engineering Tool (OPNET) Modeler adalah sebuah network simulator yang dirancang oleh OPNET Technologies Inc. Dengan menggunakan simulasi, network designers dapat mengurangi biaya penelitian dan memastikan kualitas produk yang optimal. Teknologi terbaru OPNET Modeler menyediakan sebuah lingkungan untuk mendesain protokol dan teknologi juga menguji dan mendemonstrasikan dengan skenario yang realistis sebelum diproduksi. OPNET Modeler mengakselerasikan R&D network, dan meningkatkan kualitas produk serta digunakan perusahaan perlengkapan jaringan terbesar di dunia untuk meningkatkan desain dari network devices, teknologi seperti VoIP, TCP, OSPFv3, MPLS, IPv6 dan lain-lainnya.

Optimized Network Engineering Tool (OPNET) Modeler menyediakan lingkungan pengembangan yang komprehensif untuk menganalisis spesifikasi, simulasi dan kinerja suatu jaringan komunikasi. Berbagai macam sistem komunikasi dari LAN tunggal hingga jaringan satelit global dapat didukung software tersebut. OPNET menggunakan metode discrete event simulations sebagai sarana untuk menganalisis kinerja sistem dan perilaku mereka (Xinjie Chang, 1999). Terdapat beberapa software simulasi seperti NS-2. Namun, OPNET adalah salah satu yang paling populer, akurat dan dapat diterapkan di dunia nyata dibidang simulasi jaringan dan diakui memiliki tingkat keandalan yang tinggi. Oleh karena itu, banyak laboratorium, lembaga publik, dan perusahaan yang terlibat dalam informasi dan komunikasi lebih memilih dan menggunakan OPNET. 44 OPNET menyediakan empat editor untuk mengembangkan representasi dari sistem yang akan dimodelkan. Editor tersebut adalah: network, node, process, and parameter editors yang diselenggarakan secara hirarkis, seperti ditunjukkan pada Gambar 2.18.



Gambar 2.18 OPNET

(Sumber : http://www.opnet.com/solutions/network_rd/modeler.html)

Setiap tingkatan hirarki menggambarkan aspek yang berbeda dari model lengkap yang disimulasikan. Model yang dikembangkan pada satu tingkat hirarki yang digunakan (atau diwariskan) oleh model pada tingkat yang lebih tinggi berikutnya. Ini mengarah ke lingkungan simulasi yang sangat fleksibel di mana generik model dapat dikembangkan dan digunakan dalam berbagai skenario.

