

BAB II

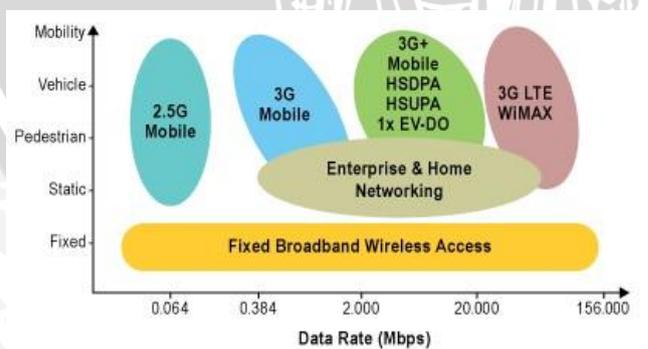
TINJAUAN PUSTAKA

2.1 *Worldwide Interoperability for Microwave Access (WiMAX)*

Perkembangan dunia telekomunikasi di era globalisasi ini tumbuh sangat pesat. Hal ini sesuai dengan kebutuhan manusia akan teknologi komunikasi yang handal dalam mengirimkan data dengan kecepatan tinggi dan efisien. 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.



Gambar 2.1 Evolusi teknologi radio.

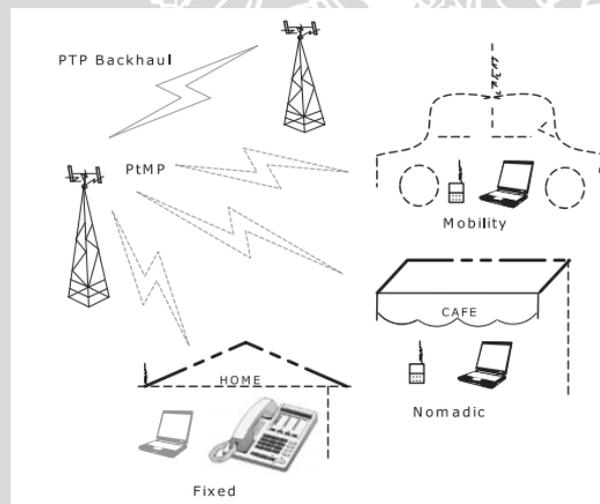
(Sumber: altera.com)

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.

2.2 Standar 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 jangkau yang luas, dan menggunakan perangkat bergerak. Dengan data rate yang tinggi memungkinkan jaringan tersebut dapat melayani berbagai macam transmisi, baik transmisi data, voice maupun video. Berdasarkan standar IEEE 802.16e, *air interface* yang digunakan pada *mobile* WiMAX adalah *Orthogonal Frequency Division Multiple Access* (OFDMA). Penggunaan OFDMA bertujuan meningkatkan *multipath performance* pada lingkungan *non-line-of-sight* (NLOS). Profil *mobile* WiMAX yang pertama kali dikeluarkan oleh IEEE mencakup *channel bandwidth* 5, 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]



Gambar 2.2 Sistem dan aplikasi WiMAX

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

Dari gambar 2.2 menunjukkan 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 seperti yang ditunjukkan pada tabel 2.1 berikut :

Tabel 2.1 Standar WiMAX IEEE 802.16d dan 802.16e

<i>Parameter Perbandingan</i>	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 Bandwith</i>	<i>Up to 75 Mbps in 20 MHz Channel Bandwith</i>	<i>Up to 15 Mbps in 5 MHz Channel and 30 Mbps 10 MHz Bandwith</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 Bandwith</i>	<i>20 MHz, 25 MHz and 28 MHz</i>	<i>(1.75 – 20) MHZ</i>	<i>(1.75 – 20) MHZ</i>
<i>Radius cell</i>	<i>1-3 mil</i>	<i>4-6 mil</i>	<i>1-3 mil</i>

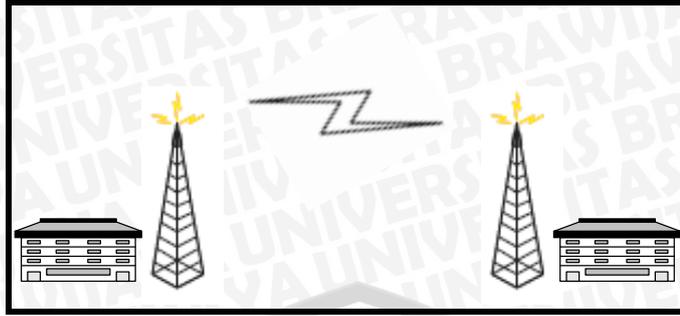
(Sumber: Zerihun Abate, WiMAX RF System Engineering 2009)

2.3 Topologi 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.

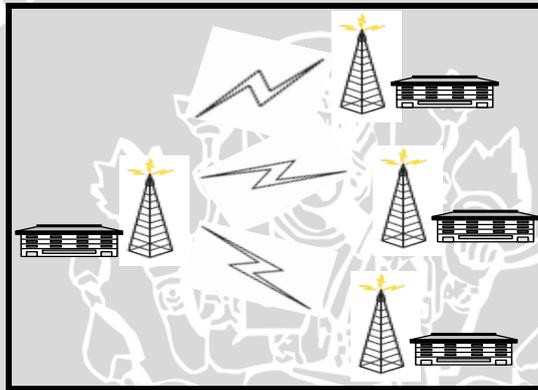


Gambar 2.3 Metode *Point to Point*

(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.

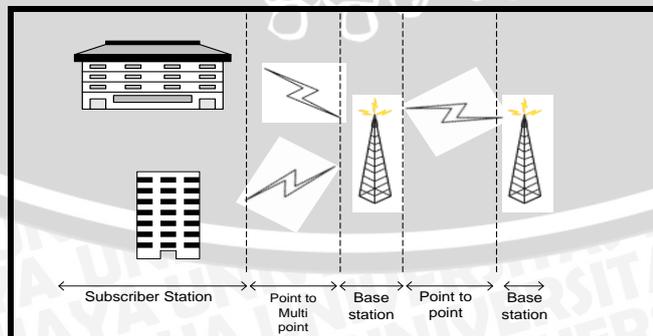


Gambar 2.4 Metode *Point to Multipoint*

(Sumber: www.wimaxforum.org)

c. Pengembangan

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

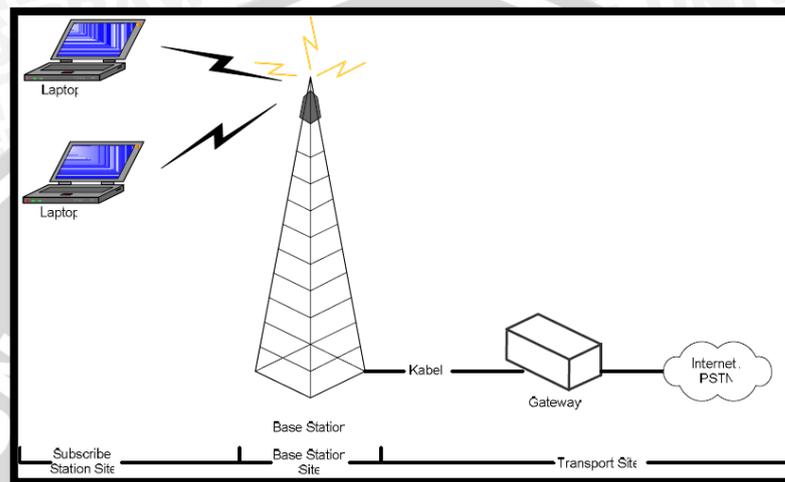


Gambar 2.5 Metode *Mesh*

(Sumber: www.sinauonline.50webs.com/GSM.html)

2.3.1 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 2.6 berikut :



Gambar 2.6 Konfigurasi jaringan WiMAX.

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

Dalam Gambar 2.6 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 uder* 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*.

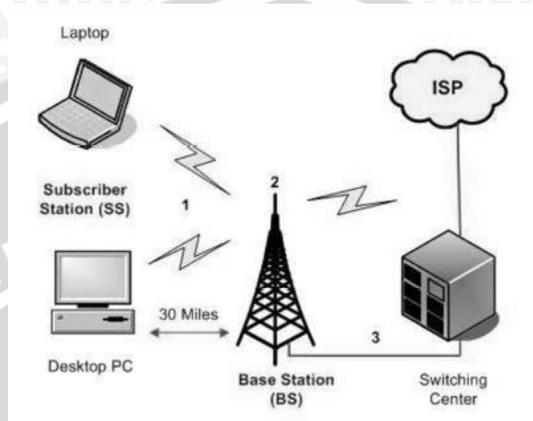
2.3.2 Prinsip Kerja WiMAX

Secara umum prinsip kerja WiMAX adalah sebagai berikut:

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

3. *Switching center* akan mengirimkan pesan ke *internet service provider* atau *public switched telephone network (PSTN)* melalui kabel.

Ketiga proses tersebut di atas dapat dilihat pada Gambar 2.6. Pada Gambar 2.6 *laptop* dan *personal computer (PC)* berfungsi sebagai *subscriber station (SS)*, *tower*, antenna, beserta perangkatnya berfungsi sebagai *base station (BS)* dan *switching center* sebagai pengatur pilihan koneksi ke *internet service provider (ISP)*. (Gunawan Wibisono, 2009) :

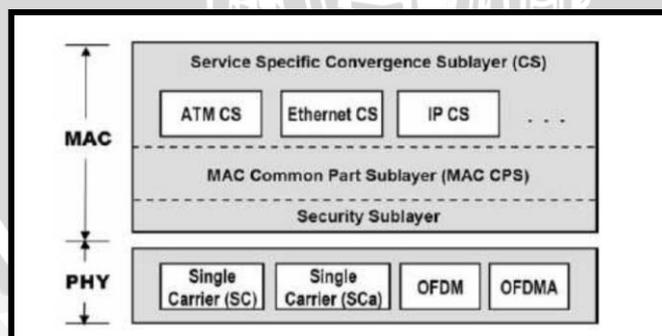


Gambar 2.7 Prinsip kerja WiMAX.

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

2.3.3 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 2.8 Protokol IEEE 802.16/16e.

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

2.3.3.1 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.

2.3.3.2 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 Spesific 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).

2.4 Kelebihan dan Kelemahan WiMAX 802.16e

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

a. Kelebihan

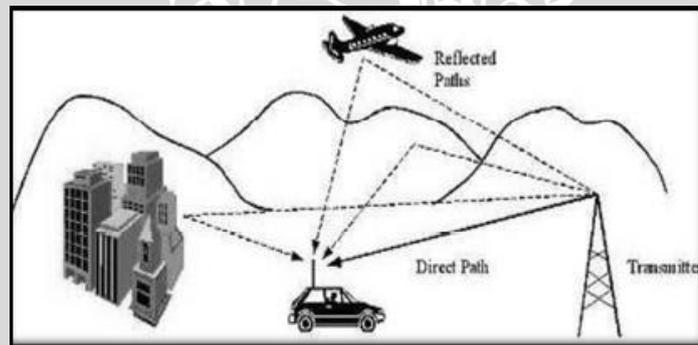
- dapat melayani *user* baik *fixed user* maupun *mobile user*,

- arsitektur yang lebih sederhana, dibandingkan dengan teknologi akses lainnya seperti CDMA dan GSM,
- jaringan telah berbasis IP, WiMAX mudah diintegrasikan dengan jaringan berbasis IP tanpa memerlukan *layer adaptation*,
- dapat meningkatkan SNR tiap *user* ,
- *bandwidth* yang digunakan bersifat *scalable*.

b. Kelemahan

WiMAX 802.16e memiliki kelemahan di dalam sistemnya, yaitu timbulnya *fading* yang diakibatkan adanya penghalang pada saat sebuah sinyal dikirimkan, sehingga sinyal tersebut terpantulkan oleh penghalang. Pada saat sinyal terpantulkan, maka akan terbentuk sinyal-sinyal pantulan. Pada saat sinyal utama mencapai *receiver*, maka sinyal pantulan akan juga berusaha mencapai *receiver*. Ketika keduanya berada pada posisi yang sama, maka keduanya akan saling menguatkan atau saling melemahkan.

Gambar 2.9 menunjukkan terjadinya proses perambatan lintasan jamak (*multipath*) yang disebabkan oleh pantulan-pantulan dari struktur bangunan gedung atau medan (*terrain*) yang tidak rata antara antenna pemancar dengan penerima. Hal inilah yang akan menyebabkan terjadinya *multipath fading*.



Gambar 2.9 *Multipath* (lintasan jamak) pada sistem komunikasi *wireless*.
(Sumber : Shabbar Ali Khan, 2005)

2.5 VoIP (Voice Over Internet Protocol)

IP Telephony, *Internet Telephony*, atau yang diistilahkan dengan VoIP (*Voice Over Internet Protocol*) merupakan teknologi yang memanfaatkan IP (*Internet Protocol*) untuk menyediakan komunikasi suara secara *real-time*. VoIP merupakan teknologi yang mampu melewati trafik suara, yang berbentuk paket melalui jaringan IP. Jaringan IP sendiri merupakan jaringan komunikasi data yang berbasis *packet-switch*. Sinyal suara sebelum

dipaketkan mengalami *voice coding* atau perubahan format suara kedalam bentuk digital agar dapat dilewatkan melalui jaringan IP (Winarno,2007).

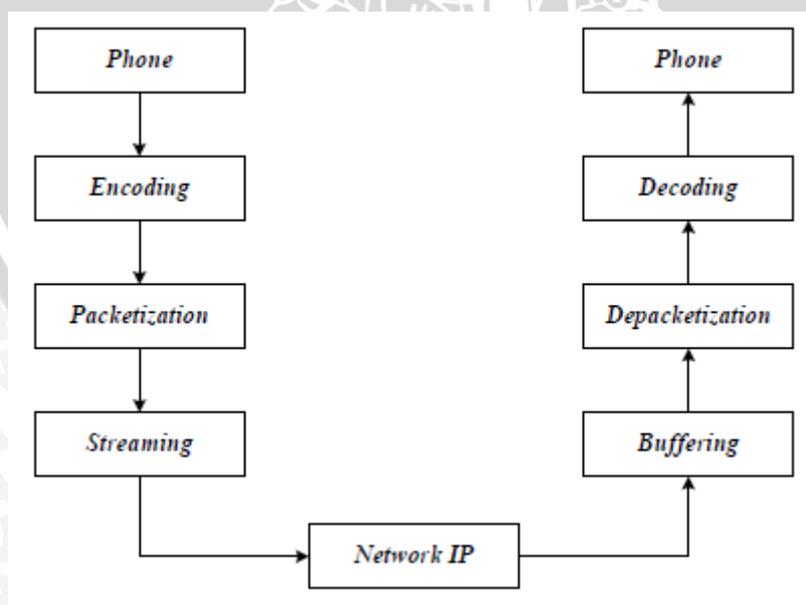
VoIP memberikan nilai ekonomis bila dibandingkan dengan telekomunikasi menggunakan jaringan telekomunikasi secara terpisah. Nilai ekonomis dapat dicapai karena jaringan VoIP tidak membutuhkan pemasangan jaringan baru, melainkan dapat melalui jaringan internet yang telah ada. Untuk membangun jaringan VoIP secara umum terdapat unsur-unsur pembentuk jaringan VoIP.

2.6 Cara Kerja VoIP

Prinsip 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 *bandwith* 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.

Berikut ini arsitektur jaringan VoIP secara umum ditunjukkan pada Gambar 2.10 :



Gambar 2.10 Desain arsitektur jaringan VoIP
(sumber: Ebna Masum, 2011)

2.7 Unsur Pembentuk VoIP

Ada empat unsur pembentuk jaringan VoIP, yaitu : *User agent*, *Proxy*, *Protocol*, dan CODEC (*Coder-Decoder*). Dari unsur-unsur tersebut jaringan VoIP terbentuk. Untuk memahami lebih dalam, berikut akan dipaparkan satu persatu dari unsur-unsur pembentuk VoIP tersebut :

2.7.1 *User agent*

User agent seperti layaknya telepon yang kita kenal, berfungsi untuk melakukan pemanggilan atau menerima telepon. *User agent* dapat berupa *software* atau biasa disebut dengan *softphone*. Contoh *user agent* dengan jenis *softphone* adalah : *Sjphone*, *X-Lite*, *QuteCom*, *NetMeetin*, *VoIP Rakyat Communicator* dan masih banyak lagi.

2.7.2 *Proxy*

Proxy yang dimaksud dalam teknologi VoIP merupakan aplikasi *server* yang mengatur jaringan VoIP. *Proxy* merupakan komponen yang menerima registrasi *user agent* dan bertugas mengatur penomoran dan *call routing*. Terdapat dua jenis *Proxy* yang digunakan, yaitu berupa *hardware* mesin IPPBX dan berupa *software* yang disebut sebagai *softswitch*. *Softswitch* versi *open source* yang terkenal dan teruji kehandalannya adalah *Asterisk* dan *SER (SIP Express Router)*, dan *Yate*, sedangkan untuk versi *non-open source* adalah *Axon* dan *OnDo SIP server*.

2.7.3 *Protocol*

Dalam membangun jaringan VoIP diperlukan protokol agar komunikasi antar terminal (*user agent*), antar terminal dengan *proxy*, maupun antar *proxy* bisa terjadi. Protokol merupakan sebuah standart yang harus dipenuhi agar komunikasi VoIP terjadi. Ada tiga macam protokol yang digunakan, yaitu IETF (*Internet Engineering Task Force*) yang lebih dikenal dengan *Session Initiation Protokol (SIP)*, protokol H.323 yang dikembangkan oleh ITU-T (*International Telecommunication Union-Telecommunication*) dan protokol asterisk yang dikenal dengan sebutan IAX (*The Inter-Asterik Exchange*). (Winarno, 2007).

2.7.3.1 H.323

H.323 merupakan protokol yang pertama kali ada diantara protocol VoIP yang lain. Protokol ini merupakan protokol yang stabil dan andal. Protokol ini terdiri dari kumpulan beberapa protokol lain yang berfungsi untuk mengatur *session* dan media transfer.

2.7.3.2 SIP (*Session Initiation Protocol*)

SIP (*Session Initiation Protocol*) adalah standar IETF (*Internet Engineering Task Force*) yaitu protocol pensinyalan pada layer aplikasi yang berbasis ASCII dan berfungsi untuk membangun, memodifikasi, dan mengakhiri suatu sesi multimedia yang melibatkan satu atau beberapa pengguna. Sesi multimedia adalah pertukaran arus data antar pengguna yang meliputi suara, video, atau teks.

2.7.3 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 *bandwith* di dalam transmisi sinyal pada setiap pemanggilan tanpa mengorbankan kualitas suara.

International Telecommunication Union – Telecommunication (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.

Tabel 2.2 Teknik kompresi standar ITU-T

Teknik Kompresi	Bit Rate (kbps)	Sample/Frame Size (ms)	Ukuran Voice Payload (Bytes)	Delay Codec	MOS
G.711	64	20	160	0.75 ms	4.1
G.726	32	20	80	1 ms	3.85
G.728	16	2.5	60	3-5 ms	3.61
G.729	8	10	20	10 ms	3.92
G.723. 1a	6.3	30	24	30 ms	3.9
G.723. 1b	5.3	30	20	30 ms	3.65

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

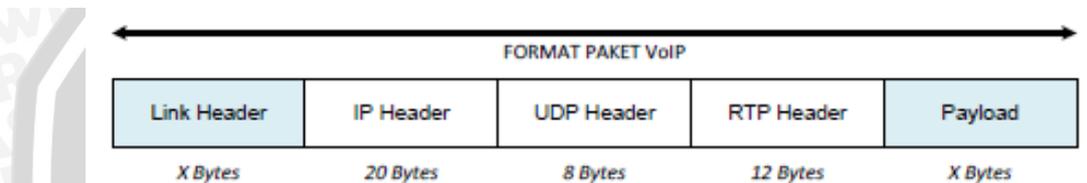
2.7.4 Format paket VoIP

Format paket VoIP terdiri atas dua bagian, yakni *header* dan *payload* (beban). *Header* terdiri atas *IP header*, Real-time Transport Protocol, User Datagram Protocol (UDP), dan *link header*.

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

UDP *header* memiliki ciri-ciri tertentu yang tidak menjamin paket akan mencapai tujuan sehingga UDP cocok digunakan pada aplikasi voice *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 tidak mendukung paket untuk mencapai ke tujuan. RTP menggunakan protokol kendali yang disebut RTCP (Real-time Transport Control Protocol) yang mengendalikan QoS dan sinkronisasi media stream yang berbeda. Untuk *link header*, besarnya sangat tergantung pada media yang digunakan. Format paket VoIP dapat dilihat pada gambar 2.11 berikut :



Gambar 2.11. Format Paket VoIP

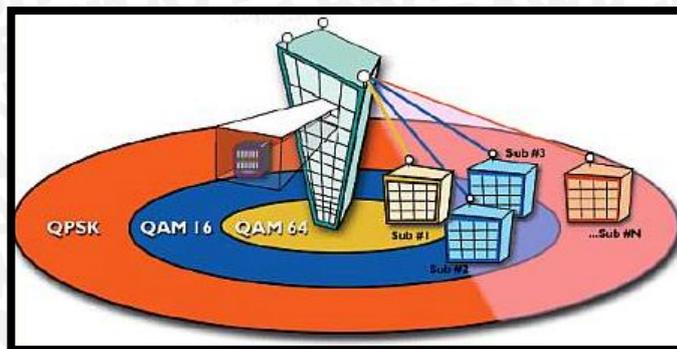
(Sumber : www.cisco.com)

2.8 Teknik Modulasi

Modulasi merupakan proses penumpangan sinyal informasi pada sinyal *carrier* agar sinyal informasi dapat ditransmisikan ke tempat yang lebih jauh. Pada OFDMA setiap bit data paralel akan dimodulasikan pada sebuah *subset subcarrier*. Setiap *subset subcarrier* dapat dimodulasikan secara berbeda. (WiMAX Forum, 2006)

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.

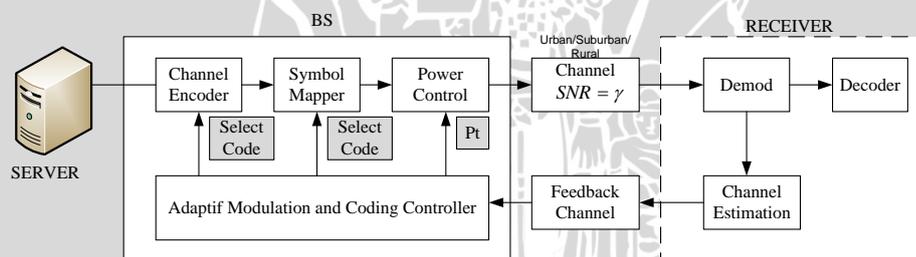
Fitur modulasi adaptif ini menyediakan sistem untuk melawan *time-selective-fading* dimana kunci dari modulasi adaptif adalah meningkatkan rentang pola modulasi untuk dapat digunakan pola modulasi dengan kualitas yang terbaik. Ini dikarenakan sistem dapat mengalihkan kondisi *fading*. Sebagai sarana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



Gambar 2.12. Modulasi Adaptif pada WiMAX

(Sumber: Lingga Wardhana, 2010)

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).



Gambar 2.13. Diagram Blok Modulasi Adaptif

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

Gambar 2.13 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:

$$P_b = P_s = Q\left(\sqrt{\frac{2E_b}{N_0}}\right) \quad (2-1)$$

dengan

P_b : kemungkinan untuk terjadinya simbol *error*

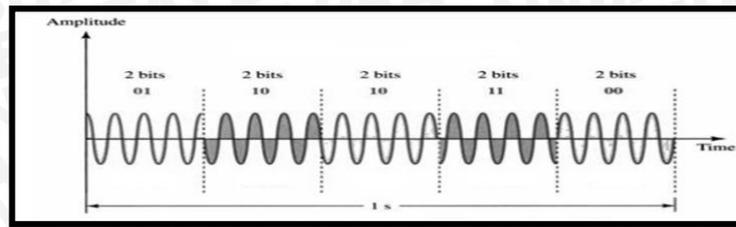
P_s : kemungkinan untuk terjadinya bit *error*

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)

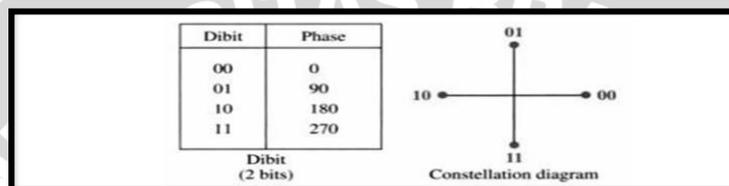
Modulasi QPSK merupakan jenis transmisi data PSK 4-er (4-ary PSK) yakni $M=2^N$, dengan $N=2$. Setiap symbol tersusun atas dua bit, sehingga terdapat empat symbol yang masing-masing symbol direpresentasikan oleh fasa. Misalnya, *phase* 0° merepresentasikan bit 00, *phase* 90° merepresentasikan bit 01, *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 2.14 Sinyal pada *Quadrature Phase Shift Keying* (QPSK).

(Sumber : Behrouz A. Forouzan, 2000)

Gambar 2.14 menjelaskan hubungan antara *phase* dengan bit pada QPSK. Gambar 2.15 juga disebut dengan *constellation* atau *phase state diagram* yang menunjukkan hubungan yang sama dengan mengilustrasikan *phase*-nya.



Gambar 2.15 *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 $E_s \text{ QPSK} = 2x E_b$.

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

$$P_b = \frac{1}{2} \text{erfc} \left(\sqrt{\frac{E_b}{N_0}} \right) \quad (2-3)$$

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:

$$s(t) = I(t)\cos(2\pi f_0 t) + Q(t)\sin(2\pi f_0 t) \quad (2-4)$$

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

$$M = 2^N \quad (2-5)$$

dimana:

M : skema modulasi yang digunakan

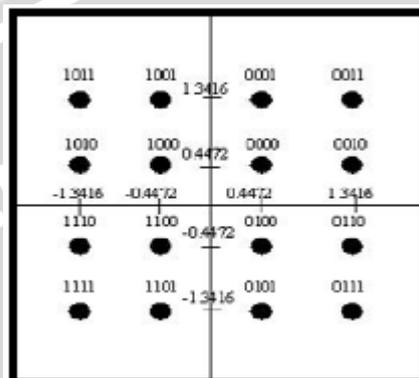
N : jumlah bit per simbol

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.

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



Gambar 2.16-QAMconstellation

(Sumber : Behrouz A. FOROUZAN, 2000)

2.8.1 Coding Rate

Coding rate merupakan rate informasi dari kode *convolutional* yang digunakan dalam proses *error coding*. Besarnya nilai *code rate* menyatakan berapa besar bagian informasi yang berguna dari besarnya data yang dikirimkan antara suatu *transmitter* dan *receiver*.

Penggunaan teknik koreksi kesalahan, erat kaitannya dengan *coding rate* yang digunakan dalam modulasi. Dimana dalam mentransmit suatu bit yang akan dikirimkan didalam modulasi yang akan digunakan pada suatu waktu, bit yang dikirimkan tidak sepenuhnya dikirimkan akan tetapi dibedakan menjadi bit informasi dan bit *redundance*. Bit informasi merupakan bita yang akan diterima dalam mengirimkan suatu data, sedangkan bit *redundancy* mengecek adanya kesalahan didalam penerimaan suatu bit data tersebut.

Jika *coding rate* adalah k/n , maka k menunjukkan jumlah bit yang berisi informasi data, dari total n bit data yang dikirimkan, sedangkan bit *redundancy* diperoleh sebesar $n-k$ bit .

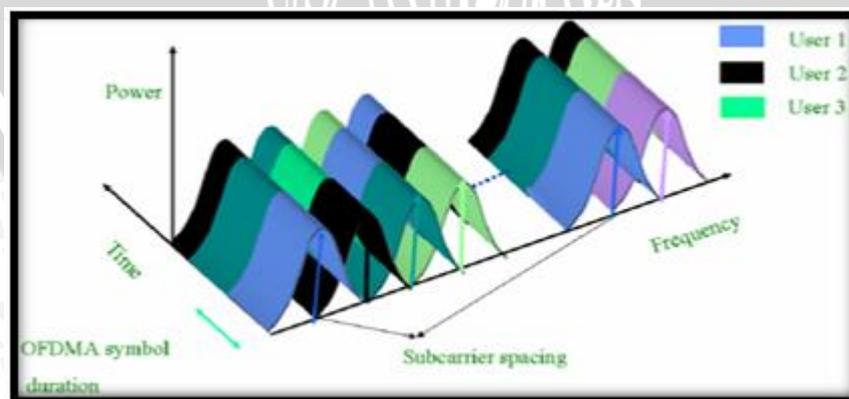
Tabel 2.3 Laju data pada tiap-tiap tipe modulasi pada kanal 10 MHz

Tipe Modulasi	Coding Rate	Laju data pada kanal 10 MHz (Mbps)	Coded Bits per Subcarrier
QPSK	$\frac{1}{2}$	6,34	2
	$\frac{3}{4}$	9,50	
16 QAM	$\frac{1}{2}$	12,67	4
	$\frac{3}{4}$	19,01	
64 QAM	$\frac{1}{2}$	25,34	6
	$\frac{3}{4}$	28,51	

Tabel 2.3 menunjukkan digunakan 3 modulasi yang berbeda, yaitu QPSK, 16 QAM dan 64 QAM. Pada masing-masing tipe modulasi, digunakan 2 variasi *coding rate* yang berbeda. Tabel tersebut juga menunjukkan bahwa masing-masing modulasi menghasilkan jumlah bit data yang berbeda untuk setiap simbolnya. QPSK membawa 2 bit data, 16 QAM membawa 4 bit data, sedangkan 64 QAM membawa 6 bit data untuk tiap simbolnya. Dengan demikian, 64 QAM memiliki laju data paling tinggi dibandingkan dengan modulasi 16 QAM dan QPSK.

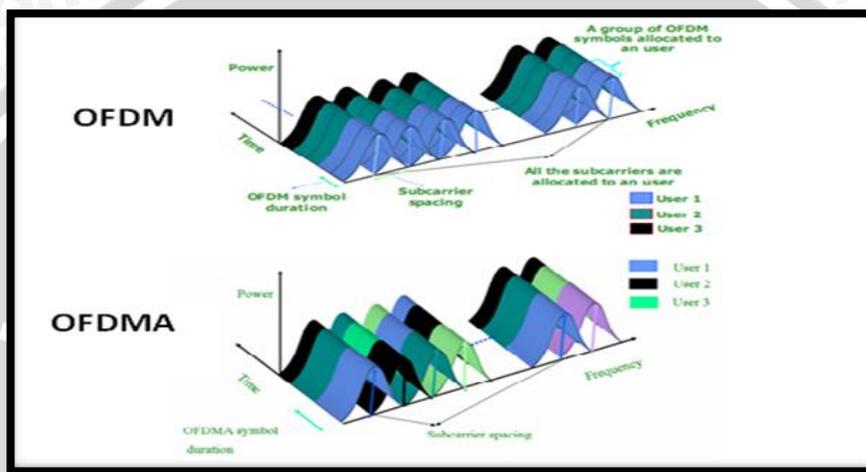
2.8.2 Orthogonal Frequency Division Multiple Access (OFDMA)

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 2.17 (Srikanth, 2007).

**Gambar 2.17.** 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 2.18. (Srikanth, 2007)



Gambar 2.18. 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)

2.9 Performansi VoIP melalui *Mobile WiMAX IEEE 802.16e*

Menurut ITU-T E. 800, QoS adalah : “Sekumpulan efek performansi yang menentukan derajat kepuasan pengguna terhadap service yang diperlukan oleh jaringan”. Sedangkan dari sudut pandang jaringan telekomunikasi QoS adalah: “Kemampuan suatu jaringan untuk menyediakan layanan yang lebih baik pada trafik data tertentu pada berbagai jenis platform teknologi” (Onno W. Purbo, 2001 : 125).

2.9.1 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 dapat kualitas suara yang baik.

Bandwidth yang diperlukan saat berkomunikasi suara tergantung pada codec yang digunakan. Untuk menghitung *bandwidth* yang dibutuhkan, maka sangat penting untuk mengetahui model susunan protocol IP. Untuk VoIP, protocol yang terkait diantaranya : RTP, UDP, IP dan Network Interface (seperti ethernet dan tokenring). Untuk mencari nilai *payload* maka digunakan persamaan:

$$P_{LA} = B_{codec} \times \text{frame rate} \quad (2-6)$$

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

$$P_{A-size} = \text{header}_{IP/UDP/RTP} + P_{LA} \quad (2-7)$$

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

$$P_A = \frac{B_{codec}}{P_{LA}} \quad (2-8)$$

Sehingga *bandwidth* audio dapat dihitung dengan persamaan :

$$B_A = P_{A-size} \times P_A \quad (2-9)$$

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

2.9.2 Perhitungan SNR

Signal to Noise Ratio (SNR) merupakan perbandingan antara sinyal dengan noise yang terjadi pada sistem, Besarnya pengaruh redaman sinyal terhadap sinyal yang ditransmisikan dapat dinyatakan dengan perbandingan antara sinyal dengan noise (SNR) yang dinyatakan dalam persamaan berikut [E. Glatz, 1999] :

$$SNR_{(dB)} = P_r(dBm) - N_o(dBm) \quad (2-10)$$

dengan :

SNR = *signal to noise ratio* (dB)

P_r = daya yang diterima (dBm)

N_o = daya *noise* saluran transmisi (dBm)

Daya yang diterima oleh penerima sangat dipengaruhi oleh propagasi sinyal dari pemancar ke penerima. Pada sistem komunikasi yang menggunakan OFDMA, daya yang

diterima juga dipengaruhi oleh jumlah *subcarrier* yang digunakan. Sehingga daya yang diterima pada sistem *multicarrier* dinyatakan dalam persamaan berikut [Wang, 2004] :

$$P_r = P_t + G_t + G_r - PL - 10\log_{10}(N) \quad (2-11)$$

dengan :

P_r = daya terima (dBm)

P_t = daya pancar (dBm)

G_t = *gain* antena pemancar (dBi)

G_r = *gain* antena penerima (dBi)

PL = rugi-rugi propagasi (dB)

N = jumlah *subcarrier*

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

$$N_o \text{ (dBm)} = 10 \log k.T + 10 \log B + NF \quad (2-12)$$

dengan :

N_o = daya *noise* saluran transmisi (dBm)

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

T = suhu *absolute* (300° K)

NF = *noise figure* (7 dB)

B = *bandwidth* (Hz)

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

$$SNR_{sistem} = (1 - \alpha_{CP})SNR \quad (2-13)$$

dengan :

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

SNR = *signal to noise ratio* (dB)

α_{cp} = faktor *cyclic prefix* (0,0625)

2.9.3 Perhitungan kapasitas kanal

Pada analisis performansi VoIP melalui *mobile* WiMAX menggunakan lebar kanal 10 MHz pada frekuensi 2500 MHz. Besarnya kapasitas kanal dapat ditentukan dengan menggunakan teorema Shannon dengan persamaan sebagai berikut: (Wilson, 1996)

$$C = B_{kanal} \log_2(1 + SNR_{sistem}) \quad (2-14)$$

dengan :

C = kapasitas kanal sistem (bps)

B_{kanal} = bandwidth kanal (Hz)

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

2.9.4 Perhitungan Path Loss

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

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

$$P_L = P_t + G_t + G_r - P_r \quad (2-15)$$

dengan :

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

P_t = daya pancar (dBm)

G_t = gain antenna pemancar (dBi)

G_r = gain antenna penerima (dBi)

P_r = daya terima (dBm)

Tabel 2.4 Sensitivitas penerima minimum pada *bandwidth* kanal 10 MHz

Jenis Modulasi	Batas Daya Terima Minimum
QPSK-1/2	-85 dBm
QPSK-3/4	-83 dBm
16 QAM-1/2	-78 dBm
64 QAM-3/4	-76 dBm
16 QAM-2/3	-71 dBm
64 QAM-3/4	-70 dBm

(Sumber : Peraturan Dirjen Pos dan Telekomunikasi, 2008)

2.9.5 Redaman Propagasi Ruang Bebas

2.9.5.1 Perhitungan jarak maksimum yang dapat dijangkau

Pada propagasi gelombang radio, semakin jauh jarak antara pemancar dan penerima akan mengakibatkan daya sinyal yang diterima oleh penerima semakin kecil. Hal ini disebabkan adanya redaman saat pentransmisian sinyal dari pemancar ke penerima maupun sebaliknya, baik pada kondisi *line of sight* (LOS) maupun *non-line of sight* (NLOS). WiMAX 802.16e bekerja pada kondisi NLOS, maka *pathloss* (PL) pada saluran WiMAX 802.16e dapat ditentukan dengan persamaan [Kwang-Cheng Chen, 2008] :

$$PL = A + 10\gamma \log_{10} \left(\frac{d}{d_0} \right) + s + \Delta PL_f + \Delta PL_h \quad (2-16)$$

dengan :

PL = rugi-rugi propagasi (dB)

A = *pathloss* referensi (dB)

γ = eksponen *pathloss*

d = jarak pemancar ke penerima (m)

d_0 = jarak referensi *pathloss* (100 m)

s = efek *shadow* (dB)

ΔPL_f = faktor koreksi terhadap frekuensi kerja yang digunakan

ΔPL_h = faktor koreksi terhadap tinggi antenna penerima

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

$$A = 20 \log_{10} \left(\frac{4\pi f d}{c} \right) \quad (2-17)$$

dengan :

A = *pathloss* referensi (dB)

f = frekuensi operasi (Hz)

d = jarak pemancar ke penerima (m)

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

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

$$\gamma = a - b \cdot h_b + \frac{c}{h_b} \quad (2-18)$$

dengan :

γ = eksponen *pathloss*

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

h_b = tinggi antenna *base station* (m)

Besarnya Nilai a, b, c dan s adalah konstanta berdasarkan daerah yang akan dilayani, yaitu berdasarkan tipe daerah/ bangunan yang ada di daerah tersebut. Adapun nilai a, b, c dan s dapat dilihat dalam Tabel 2.5.

Tabel 2.5 Model parameter 802.16 rev. e untuk tipe *Terrain* yang Berbeda

Parameter	Tipe Urban	Tipe Suburban	Tipe Rural
A	4.6	4	3.6
B	0.0075	0.0065	0.005
C	12.6	17.1	20
Efek shadow (s)	10.6	9.6	8.2

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

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

$$\Delta PL_f = 6 \log_{10} \left(\frac{f}{2 \times 10^9} \right) \quad (2-19)$$

dengan :

f = frekuensi operasi sistem (Hz)

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

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

$$\Delta PL_h = -10,8 \log_{10} \left(\frac{h}{2} \right), \text{ untuk tipe } terrain \text{ C}$$

dengan :

h = tinggi antenna penerima (m)

Besarnya jarak maksimal dari pemancar ke penerima (d) sehingga penerima dapat menerima paket data dengan baik dapat dihitung pada nilai *Sistem Operating Margin* sebesar 10 dB sampai dengan 15 dB untuk *fading*, pantulan, dan *multipath* pada sinyal radio [Onno W. Purbo, www.ilmukomputer.com].

2.9.6 Perhitungan *delay end to end* dan *throughput*

2.9.6.1 Perhitungan *delay end to end*

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.

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 2.6.

Tabel 2.6. Pengelompokan waktu tunda berdasarkan ITU-T G.114

Waktu Tunda	Kualitas
0-150 ms	Baik
150-400 ms	Cukup
>400 ms	Buruk

Delay end-to-end dapat dituliskan sebagai berikut:

$$t_{end-to-end} = t_{codec} + t_{MAN} \quad (2-20)$$

Dengan :

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

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

- *Delay codec*

Delay ini terjadi pada sisi encoder terdiri dari waktu untuk mengakumulasi sample suara ke dalam frame suara, waktu untuk mengkompresi paket suara, waktu untuk memuat frame suara ke dalam paket dan mentransfer paket tersebut ke jaringan transport dan *delay* hardware yang bersifat tetap. Atau waktu yang dibutuhkan untuk mengkompresi satu blok sample PCM. *Delay* CODEC pada aplikasi VoIP dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

$$t_{CODEC}(ms) = t_{encoding}(ms) + t_{decoding}(ms) \quad (2-21)$$

Dengan :

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

- *Delay pada MAN*

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

$$t_{MAN} = t_{proces} + t_{pros} + t_{trans} + t_w \quad (2-22)$$

Dengan:

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

$$t_{proces} = \text{delay proses}$$

$$t_{pros} = \text{delay propagasi}$$

$$t_{trans} = \text{delay transmisi}$$

$$t_{proces} = \text{delay antrian}$$

- *Delay proses*

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

$$W_{segmen} = \text{Header}_{RTP} + \text{Header}_{UDP} \quad (2-23)$$

Dengan :

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

$$\text{Header}_{RTP} = \text{panjang header RTP (12 byte)}$$

$$\text{Header}_{UDP} = \text{panjang header UDP (8 byte)}$$

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.

$$W_{frame} = W_{datagram} + \text{Header}_{IP} \quad (2-24)$$

Dengan :

$$W_{frame} = \text{panjang segmen TCP (byte)}$$

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

$$\text{Header}_{IP} = \text{panjang header (20 byte)}$$

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

$$W_{frame} = W_{datagram} + \text{Header}_{ethernet} \quad (2-25)$$

Dengan:

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

$$W_{frame} = \text{panjang datagram IP (byte)}$$

$$\text{Header}_{ethernet} = \text{panjang header Ethernet (14 byte)}$$

Sedangkan *delay* enkapsulasi adalah:

$$t_{enc} = \frac{W_{frame}}{C_{pros}} \times 8 \quad (2-25)$$

Dengan :

$$t_{enc} = \text{delay enkapsulasi}$$

$$W_{frame} = \text{panjang frame Ethernet}$$

C_{pros} = kecepatan pemrosesan data

Sedangkan *delay* dekapsulasi dirumuskan :

$$t_{enc} = \frac{W_{frame}}{C_{pros}} \times 8 \quad (2-26)$$

Dengan :

t_{doc} = *delay* dekapsulasi (s)

W_{frame} = panjang frame Ethernet

C_{pros} = kecepatan pemrosesan data

Sehingga *delay* proses dapat dituliskan sebagai berikut

$$t_{proc} = t_{enc} + t_{doc} \quad (2-27)$$

Dengan :

t_{proc} = *delay* proses

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

t_{doc} = *delay* dekapsulasi (s)

- *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 :

$$t_{prop} = \frac{d_{MAX}}{v} \quad (2-28)$$

Dengan :

t_{prop} = *delay* propagasi

d_{MAX} = jarak maksimum pemancar dengan penerima (km)

v = kecepatan sinyal pada media wireless

- *Delay* transmisi

Delay transmisi adalah waktu yang dibutuhkan untuk mentransmisikan paket data.

Delay transmisi dirumuskan pada persamaan:

$$t_{trans} = \frac{W_{total-frame}}{C_{trans}} \times 8 \text{ byte} \quad (2-29)$$

Dengan :

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

$W_{total-frame}$ = panjang total frame yang dikirimkan (bit)

C_{trans} = kecepatan transmisi kanal wireless

- *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:

$$\begin{aligned}\mu &= \frac{c}{W_{frame\ total}} \\ \lambda_w &= \mu x \rho \\ t_w &= \frac{1}{\mu} + \frac{\lambda_w}{\mu^2(1-\rho)}\end{aligned}\quad (2-30)$$

2.9.6.2 Throughput

Throughput merupakan salah satu parameter yang menunjukkan kinerja dari suatu komunikasi data, yaitu menunjukkan jumlah data yang diterima dengan benar pada penerima setelah melewati media transmisi pada data *link* layer dari *client* to *client*. *Throughput* ditentukan dengan persamaan (Schwartz, Mischa. 1987:129)

$$\lambda = \frac{1}{t_v} = \frac{(1-\rho)}{t_1[1+(\alpha-1)\rho]} \quad (2-31)$$

Dimana :

$$\alpha = \left(1 + \frac{t_{out}}{t_1}\right)$$

$$t_{out} = 2t_{prop} + 2t_1$$

$$\alpha = \left(1 + \frac{2t_{prop} + 2t_1}{t_1}\right) = \left(3 + \frac{2t_{prop}}{t_1}\right) \quad (2-32)$$

$$t_1 = \frac{L}{C_{kanal}}$$

Keterangan :

λ = *Throughput* (paket/s)

ρ = probabilitas paket loss yang diterima

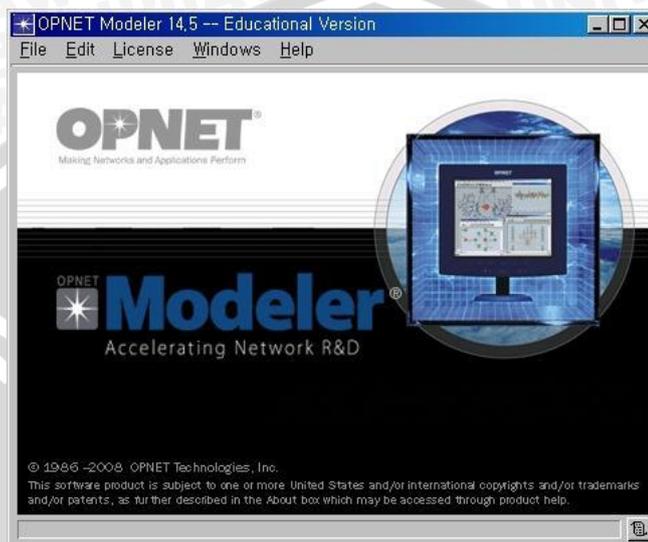
α = kontanta propagasi

L = ukuran paket yang dikirimkan (byte)

2.10 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*, mengurangi *time-to-market*, 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. Gambar 2.19 menunjukkan tampilan awal dari *software* OPNET Modeler.



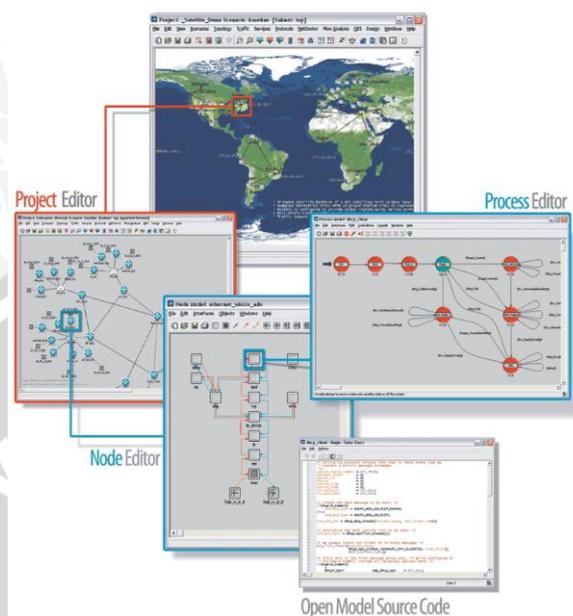
Gambar 2.19. Tampilan awal OPNET Modeler 14.5 – *Educational Version*
(Sumber: <http://www.opnet.com>)

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*.

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 2.20. 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.



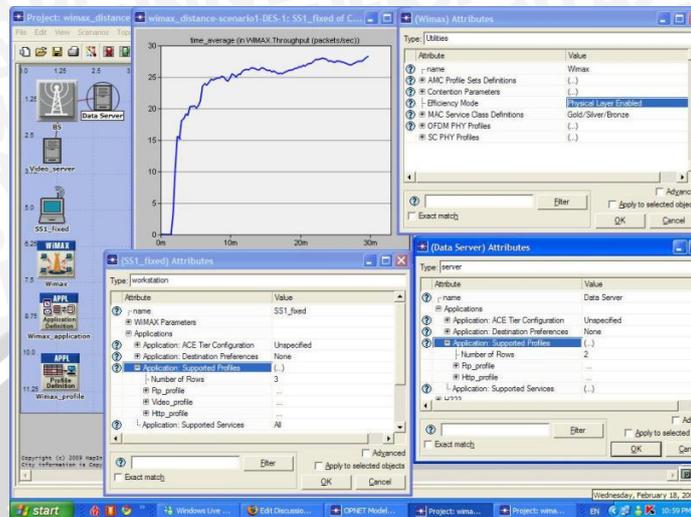
Gambar 2.20. OPNET Graphic Editors untuk Network, Node, and Process Models
(Sumber: http://www.opnet.com/solutions/network_rd/modeler.html)

2.10.1 Kelebihan OPNET Modeler v.14.5

Berikut adalah beberapa alasan digunakannya OPNET Modeler versi 14.5 dalam penelitian ini: (Jinhua Guo, 2007)

- OPNET jauh lebih mudah digunakan daripada *network simulator* lain seperti: NS-2. OPNET menyediakan Graphic User Interface (GUI) yang sangat nyaman dan mudah untuk dipelajari,
- OPNET dapat digunakan untuk membuat model pada seluruh jaringan, termasuk router, switch, protokol, server, dan aplikasi lain yang mendukung. Berbagai macam sistem komunikasi mulai LAN tunggal hingga antarmajalah global dapat didukung,
- *Software* OPNET (dengan model *source code*) tersedia secara gratis untuk penelitian akademis dan mengajar masyarakat,
- *Discrete event simulation* (DES) *engine* pada OPNET untuk simulasi jaringan adalah tercepat. Biasanya diperlukan waktu beberapa menit untuk menyelesaikan simulasi percobaan laboratorium,
- OPNET memiliki komunitas pengguna yang besar. OPNET telah digunakan lebih dari 500 perusahaan, penyedia layanan, dan organisasi pemerintah di seluruh dunia. siswa

yang memiliki pengalaman dengan simulator OPNET akan memiliki peluang kerja jauh lebih baik di masa depan dalam industri.



Gambar 2.21 Tampilan proses simulasi dengan menggunakan OPNET Modeler (sumber: <http://www.opnet.com>)



