

**PROPOSAL SKRIPSI**  
**PERFORMANSI VOIP (*VOICE OVER INTERNET PROTOCOL*)**  
**MELALUI MOBILE WIMAX 802.16e MENGGUNAKAN *OPNET***  
***MODELER* v.14.5**

**KONSENTRASI TELEKOMUNIKASI**



Disusun oleh :

**SAHADA PRAMANDANA**

**NIM. 0810630092**

**KEMENTERIAN PENDIDIKAN NASIONAL**

**UNIVERSITAS BRAWIJAYA**

**FAKULTAS TEKNIK**

**MALANG**

**2012**

## 1. JUDUL

SIMULASI DAN ANALISIS PERFORMANSI VOIP (*VOICE OVER INTERNET PROTOCOL*) MELALUI MOBILE WIMAX 802.16e

## 2. LATAR BELAKANG

Telepon merupakan salah satu kebutuhan telekomunikasi utama saat ini. Bahkan bagi beberapa segmen masyarakat, telepon merupakan salah satu kebutuhan primer. Menyadari besarnya kebutuhan akan media komunikasi tersebut, mendorong sebagian orang mencari alternatif untuk melakukan percakapan telepon dengan biaya yang lebih murah, mengingat biaya telepon di Indonesia masih tergolong cukup mahal.

Tidak dapat disangkal bahwa teknologi komunikasi data mengalami perkembangan yang sangat pesat yang dipicu munculnya jaringan data global berbasis pada protokol komunikasi TCP/IP yang dikenal dengan Internet. Perkembangan ini memunculkan inovasi untuk melewatkan suara dalam jaringan komunikasi data yang saat ini dikenal dengan teknologi *Voice over Internet Protocol* (VoIP).

*Voice over Internet Protocol* (VoIP) merupakan teknologi yang memungkinkan komunikasi suara dapat menggunakan jaringan berbasis *Internet Protocol* (IP) untuk dijalankan pada infrastruktur jaringan *packet network*. Teknologi ini bekerja dengan cara merubah suara menjadi format data digital tertentu yang dapat dikirimkan melalui jaringan IP.

*Worldwide Interoperability for Microwave Access* (WiMAX) merupakan salah satu teknologi yang mampu memberikan layanan komunikasi data kecepatan tinggi dengan biaya yang efektif. Teknologi dan standar dari WiMAX dikembangkan oleh *Institute of Electrical and Electronics Engineers* (IEEE), yang merupakan salah satu pemimpin asosiasi profesional dunia untuk kemajuan komunikasi dan teknologi komputer.

IEEE 802.16e merupakan standar teknologi *Broadband Wireless Access* (BWA) yang disediakan untuk pelanggan bergerak atau dikenal dengan *mobile* WiMAX yang merupakan pengembangan dari standar IEEE 802.16a untuk *user* yang *mobile*. Menggunakan frekuensi yang cukup tinggi (2-11GHz) serta *bandwidth* kanal yang cukup lebar, WiMAX mampu memberikan *data rate* dan *throughput* yang tinggi tanpa tergantung pada jaringan kabel atau modem.

Pada skripsi ini akan meneliti performansi *Voice over Internet Protocol* (VoIP) melalui *mobile* WiMAX IEEE 802.16 rev E. Analisis ini dilakukan dengan

menggunakan sebuah *network simulator* yakni *Optimized Network Engineering Tool* (OPNET) versi 14.5. Performansi VoIP melalui *mobile WiMAX 802.16e* dapat diketahui melalui hasil simulasi terhadap parameter *delay end to end*, *packet loss* dan *throughput* pada *mobile WiMAX*.

### 3. RUMUSAN MASALAH

Berdasarkan penjelasan dari latar belakang di atas maka penelitian ini dititikberatkan pada masalah :

- 1) Bagaimana mengimplementasikan dan mensimulasikan layanan VoIP melalui *mobile WiMAX 802.16e* dengan menggunakan simulator *Optimized Network Engineering Tool* (OPNET) versi 14.5,
- 2) Bagaimana pengaruh tipe modulasi yang digunakan terhadap performansi VoIP melalui *mobile WiMAX 802.16e* yang meliputi *delay end to end*, probabilitas *packet loss*, dan *throughput*,
- 3) Bagaimana pengaruh penambahan jumlah *user* terhadap performansi VoIP melalui *mobile WiMAX 802.16e* yang meliputi *delay end to end*, probabilitas *packet loss*, dan *throughput*.

### 4. RUANG LINGKUP

Berdasarkan rumusan masalah di atas, agar pembahasan terfokus pada pokok pembahasan maka batasan masalah pada penelitian antara lain :

- 1) Penelitian ini dibatasi pada teknologi *mobile WiMAX* yang disesuaikan dengan standar *Institute of Electrical and Electronics Engineers* (IEEE) 802.16 rev E,
- 2) Jenis *codec* yang digunakan adalah *audio codec* sesuai ITU G.711,
- 3) Tipe modulasi yang digunakan QPSK, 16-QAM, dan 64-QAM,
- 4) Teknik pentransmisiannya yang digunakan berupa *Orthogonal Frequency Division Multiple Access* (OFDMA),
- 5) Parameter performansi yang akan dibahas adalah *delay end to end*, probabilitas *packet loss*, dan *throughput*,
- 6) Simulasi dilakukan dengan menggunakan *network simulator Optimized Network Engineering Tool* (OPNET) versi 14.5,
- 7) Tidak melakukan analisis terhadap masalah biaya perencanaan.

## 5. TUJUAN

Tujuan penelitian ini adalah menganalisis performansi VoIP melalui *mobile* WiMAX 802.16e yang meliputi analisis *delay end to end*, probabilitas *packet loss*, dan *throughput* dengan menggunakan *network simulator Optimized Network Engineering Tool* (OPNET) versi 14.5.

## 6. SISTEMATIKA PENULISAN

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

### BAB I PENDAHULUAN

Memuat tentang latar belakang, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan, metodologi, dan sistematika penulisan.

### BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Memuat dasar teori yang membahas dasar teori VoIP baik dari segi protokol yang digunakan, jenis *codec* yang digunakan dan beberapa parameter yang digunakan dalam simulasi.

Memuat dasar teori yang membahas dasar teori WiMAX yang dipersempit pada penjelasan *mobile* WiMAX sesuai dengan standar IEEE 802.16 rev E dan beberapa parameter yang digunakan dalam simulasi dan pengenalan terhadap *software network simulator Optimized Network Engineering Tool* (OPNET) versi 14.5.

### BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Memuat studi literatur mengenai VoIP dan *mobile* WiMAX, metode pengambilan data-data sekunder yang digunakan dalam penelitian, metode simulasi, dan metode pengambilan kesimpulan dari hasil simulasi yang akan dilakukan.

### BAB IV PERANCANGAN SIMULASI JARINGAN

Membahas mengenai topologi jaringan yang digunakan dalam simulasi, spesifikasi perangkat yang dibutuhkan, tahap instalasi dan menjalankan simulasi.

### BAB V PEMBAHASAN DAN HASIL

Membahas mengenai hasil penelitian yang dilakukan dan analisis terhadap hasil yang diperoleh, yang meliputi *delay end to end*, probabilitas *packet loss* dan *throughput*.

## BAB VI PENUTUP

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

## 7. TINJAUAN PUSTAKA

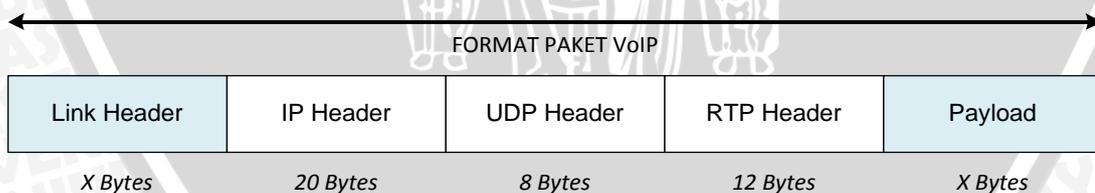
### 7.1 Voice over Internet Protocol (VoIP)

*Voice over Internet Protocol (VoIP)* dikenal juga dengan istilah *IP Telephony*, *Internet Telephony* atau *Digital Phone*. Secara umum, VoIP merupakan teknologi yang memanfaatkan *Internet Protocol (IP)* untuk menyediakan komunikasi suara secara *real-time*. VoIP mentransmisikan sinyal suara dengan mengubahnya kedalam bentuk digital melalui proses *voice coding*, dan dikelompokkan menjadi paket-paket data yang dikirim dengan menggunakan platform IP. Jaringan IP sendiri adalah jaringan komunikasi data yang berbasis *packet-switch*. (Winarno, 2007)

Manfaat berkomunikasi dengan menggunakan jaringan data antara lain efisiensi alokasi *bandwidth*, kemampuan untuk menggunakan metode kompresi suara, menekan biaya penggunaan, kemampuan menggunakan *single interface*, meningkatkan keandalan (*reliability*) jaringan komputer.

#### 7.1.1 Format Paket VoIP

Format paket yang digunakan dalam VoIP terdiri atas dua bagian, yaitu *header* dan *payload* (beban). Header terdiri atas *header IP*, *Real-time Transport Protocol (RTP)*, *User Datagram Protocol (UDP)*, dan *link header* seperti ditunjukkan pada Gambar 1 berikut :



**Gambar 1.** Format Paket VoIP

(sumber: [www.cisco.com](http://www.cisco.com))

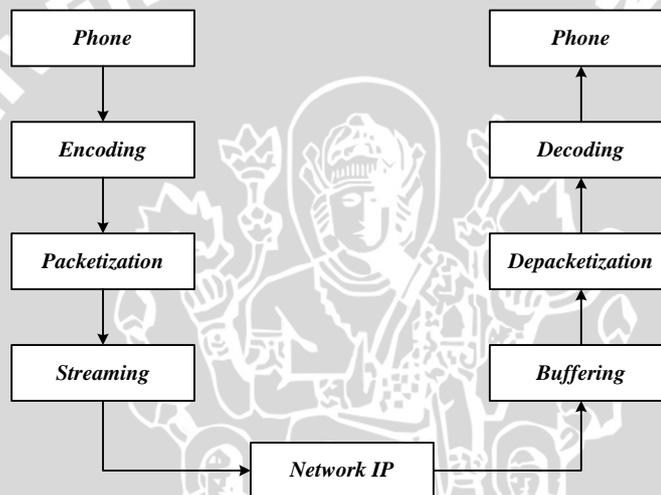
IP header bertugas menyimpan informasi *routing* untuk mengirimkan paket-paket ke tujuan. Pada tiap *header IP* disertakan tipe layanan atau *type of service (ToS)* yang memungkinkan paket tertentu seperti paket suara diperlakukan berbeda dengan paket yang *non real time*.

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.

### 7.1.2 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 *packet-switching*. Desain arsitektur jaringan VoIP secara umum ditunjukkan pada Gambar 2 sebagai berikut:



**Gambar 2.** 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.

### 7.1.3 Komponen VoIP

VoIP memiliki empat komponen utama, yaitu *User Agent*, *Proxy*, *Protokol*, dan *Codec*. Berikut penjelasan mengenai masing-masing komponen dalam jaringan VoIP.

#### a. *User agent*

*User agent* seperti layaknya telepon yang kita kenal berfungsi untuk melakukan panggilan atau menerima telepon. *User agent* dapat berupa *software* atau biasa disebut dengan *softphone*. Contoh *user agent* dengan jenis *softphone* adalah: *Siphone*, *X-Lite*, *QuteCom*, *Ekiga*, *ZoIPer*, *NetMeeting*, *VoIP Rakyat Communicator* dan masih banyak yang lainnya. Gambar 3 menunjukkan salah satu *interface user agent* dengan jenis *softphone*, yakni *X-Lite softphone*.



**Gambar 3.** *X-Lite softphone* yang digunakan sebagai *user agent*

Jenis *user agent* yang berupa *hardware* disebut *hardphone*. *Hardphone* saat ini memiliki ragam dan kemampuan serta fitur yang berbeda. Beberapa *hardphone* yang dapat digunakan sebagai *user agent* dalam jaringan VoIP adalah: *IP-Phone*, *USB-Phone*, *Internet Telephony Gateway (ITG)*, dan *Analog Telephony Adapter (ATA)*.

#### b. *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*.

#### c. *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).

#### d. *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.

*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.

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 1.** Standarisasi kompresi suara menurut ITU-T

<b>Teknik Kompresi</b>	<b>Bit Rate (Kbps)</b>	<b>Sample/Frame Size (ms)</b>	<b>MOS</b>
G.711	64	20	4.1
G.726	32	20	3.85
G.728	16	2.5	3.61
G.729	8	10	3.92
G.723. 1a	6.3	30	3.9
G.723. 1b	5.3	30	3.65

(sumber: ITU-T *codec*)

Tabel 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 Opinin Score* (MOS) adalah nilai opini pendengar di penerima

## 7.2 *Worldwide Interoperability for Microwave Access (WiMAX) 802.16 rev. E*

### 7.2.1 *Broadband Wireless Access (BWA)*

*Broadband wireless* merupakan perpaduan dari dua teknologi telekomunikasi yaitu teknologi *wireless* dan *broadband*, keduanya menjadi populer dan berkembang cepat karena kebutuhan masyarakat akan komunikasi data sangat tinggi. Perpaduan antara teknologi *broadband* dan *wireless*, menjadi solusi dari keterbatasan kedua teknologi tersebut.

Teknologi *broadband* berawal dari munculnya teknologi *Digital Subscriber Line* (DSL), dan keterbatasan teknologi ini masih menggunakan media kabel sebagai media transmisinya. Namun, teknologi ini mampu memberikan berbagai macam layanan *multimedia* dan Internet dengan kecepatan tinggi. Sedangkan teknologi *wireless* menjadi sangat populer karena pengguna dapat menikmati layanan dimana-mana, sebatas masih dalam jangkauan jaringan *wireless* tersebut. Tetapi keterbatasan teknologi ini adalah masih kurangnya layanan yang diberikan karena keterbatasan kecepatan akses data, sehingga kurang mendukung layanan *multimedia* dan Internet kecepatan tinggi. Dari keterbatasan kedua teknologi tersebut, hadirilah teknologi *broadband wireless access* (BWA) yang memberikan layanan *broadband* dengan kecepatan tinggi tanpa kabel.

Standar *Broadband Wireless Access* (BWA) yang saat ini umum diterima dan secara luas digunakan adalah standar yang dikeluarkan oleh *Institut of Electrical and Electronics Engineering* (IEEE). Beberapa standar BWA antara lain adalah standar 802.11 untuk jaringan *Wireless Fidelity* (WiFi), 802.15 untuk *Personal Area Network* (PAN), dan 802.16 untuk jaringan *Worldwide Interoperability for Microwave Access* (WiMAX). (Gunawan Wibisono, 2009)

### 7.2.2 *Mobile Worldwide Interoperability for Microwave Access (WiMAX)*

*Mobile WiMAX* merupakan salah satu teknologi sistem *Broadband Wireless Access* (BWA) yang menyediakan *data rate* tinggi. *Mobile WiMAX* merupakan pengembangan dari standar WiMAX yang sebelumnya. Sehingga *mobile WiMAX* merupakan solusi *broadband wireless access* yang juga memungkinkan penggabungan antara jaringan *mobile broadband* dan *fixed broadband* dengan cakupan area layanan yang luas serta arsitektur jaringan yang fleksibel. Sistem ini memiliki standar *bandwidth* 5 MHz hingga 10 MHz. Sedangkan jumlah *subcarrier* yang dapat digunakan pada *mobile WiMAX* bersifat *scalable*. (Amitabh Kumar, 2008)

### 7.2.3 Standar WiMAX 802.16

Varian-varian WiMAX dimaksudkan untuk mengembangkan performansi dan kemampuan dari teknologi yang digunakan, agar menjadi lebih handal dan dapat meluas penggunaannya. Untuk mengembangkan jangkauan dan daya jualnya, maka standar IEEE 802.16 direvisi menjadi IEEE 802.16a. Standar teknis IEEE 802.16a inilah yang banyak digunakan oleh perangkat-perangkat dengan sertifikasi WiMAX. Selain IEEE 802.16a, varian lainnya adalah IEEE 802.16b yang banyak menekankan segala keperluan dan permasalahan dengan *quality of service* (QoS), IEEE 802.16c banyak menekankan pada *interoperability* dengan protokol-protokol lain, IEEE 802.16d merupakan revisi dari IEEE 802.16c ditambah dengan kemampuan untuk *access point*, serta IEEE 802.16e menekankan pada masalah mobilitas. Varian-varian standar IEEE 802.16 dapat dilihat pada Tabel 2.

**Tabel 2.** Varian Standar IEEE 802.16

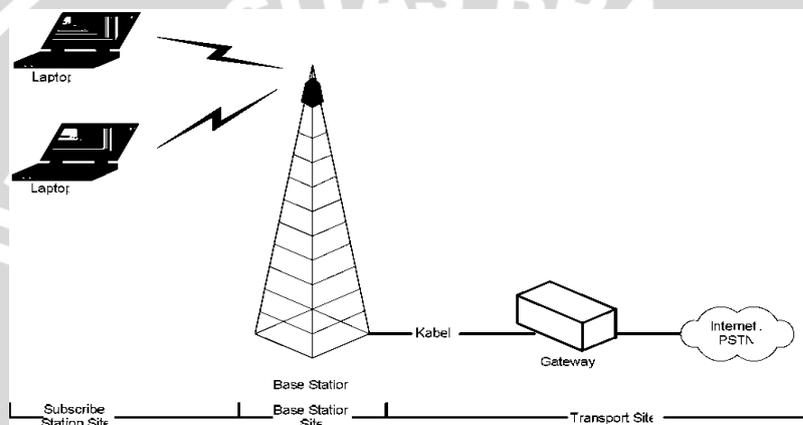
Parameter Perbandingan	802.16	802.16a/ Rev d	802.16e
<b>Lisensi Keluaran</b>	Desember, 2001	802.16a Jan 2003 802.16 Revd : Juni 2004	Pertengahan 2005
<b>Spectrum</b>	10–66 GHz	2-11 GHz	2-6 GHz
<b>Aplikasi</b>	<i>Backhaul</i>	<i>Wireless DSL dan Backhaul</i>	<i>Internet Mobile</i>
<b>Kondisi Kanal</b>	<i>Line of Sight</i> (LOS)	<i>Non Line of sight</i> (NLOS) dan LOS	NLOS dan LOS
<b>Bit Rate</b>	32-134 Mbps pada lebar kanal 28 MHz	Mencapai 70 Mbps pada lebar kanal 20 MHz	Mencapai 15 Mbps pada kanal 5 MHz
<b>Modulasi</b>	QPSK, 16QAM dan 64 QAM	OFDM 256sub-carriers, QPSK, dan 64 QAM	OFDMA
<b>Pergerakan</b>	Tetap	Tetap	<i>Mobile pedestrian</i>
<b>Badwidth Kanal</b>	20, 25 dan 28 MHz	Bandwidth kanal disesuaikan antara 1,5 dan 20 MHz	<i>Up-Link</i> sub kanal untuk penghematan daya
<b>Tipe Radius sel</b>	1 – 3 mil	4 – 6 mil	1 – 3 mil

(Sumber: Siyamta, 2005)

#### 7.2.4 Konfigurasi Jaringan WiMAX

Konfigurasi jaringan WiMAX secara umum ditunjukkan pada Gambar 4. Konfigurasi tersebut dibagi dalam tiga bagian utama antara lain:

- *subscriber station (SS) site*: terdiri dari *Customer Premise Equipment (CPE)* yang berfungsi sebagai peralatan yang digunakan oleh *subscriber*/pelanggan. Berdasarkan letak CPE dibagi menjadi dua tipe yaitu *Outdoor CPE* dan *Indoor CPE*.
- *base station (BS)*: terdiri dari *base station (BS)* yang berfungsi menghubungkan *subscriber station (SS) site* dengan *transport site*.
- *transport site (bagian backend)*: terdiri dari jaringan Internet/PSTN yang berfungsi untuk menghubungkan *base station* dengan jaringan Internet.



Gambar 4. Konfigurasi Jaringan WiMAX

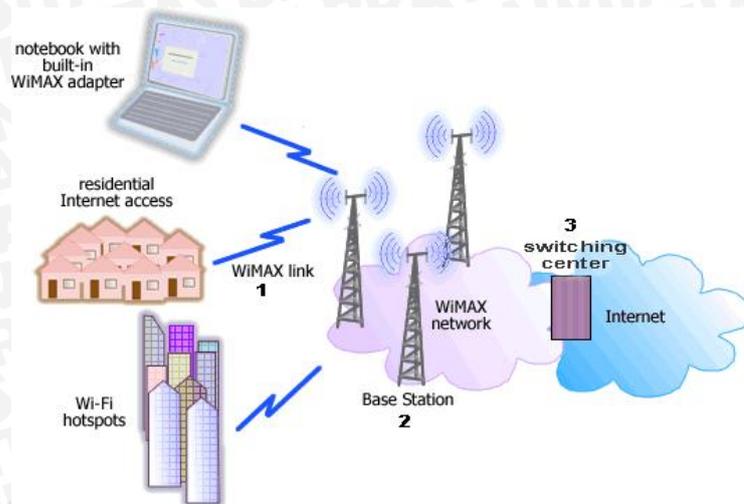
(sumber: Gunawan Wibisono, 2009)

SS berada pada lingkungan *subscriber* pelanggan, dalam sistem IEEE 802.16e terdapat dua tipe *user* yaitu *fixed* dan *mobile user*. Posisi BS biasanya berada satu lokasi dengan bagian operator (jaringan Internet atau jaringan PSTN).

#### 7.2.5 Prinsip Kerja WiMAX

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

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



**Gambar 5.** Prinsip kerja WiMAX

(sumber: [www.conniq.comslashInternetAccess/WiMAX.gif](http://www.conniq.comslashInternetAccess/WiMAX.gif))

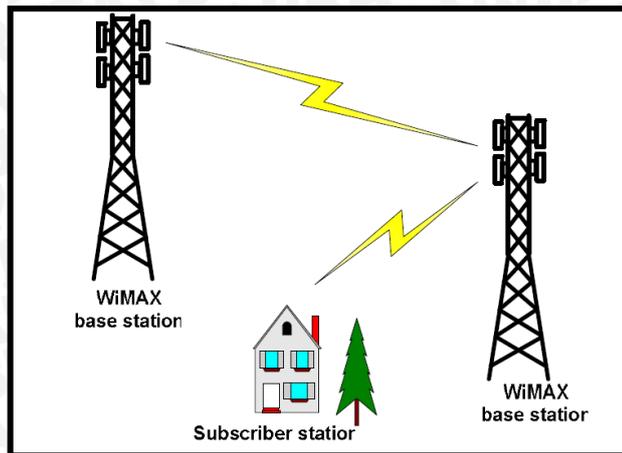
Ketiga proses tersebut di atas dapat dilihat pada Gambar 5. Pada Gambar 5, terdapat tiga jenis *subscriber station* (SS) yaitu *laptop*, *Wi-Fi hotspot* dan *residential Internet access*, sedangkan *tower*, *antena*, beserta perangkatnya berfungsi sebagai *base station* (BS) dan *switching center* sebagai pengatur pilihan koneksi ke *internet service provider* (ISP).

### 7.2.6 Topologi Jaringan WiMAX

Terdapat beberapa jenis topologi jaringan WiMAX yang dapat digunakan antara lain: *Point to Point* (PtP) dan *Point to Multi Point* (PtMP) serta dapat dikembangkan menjadi jaringan berbentuk *mesh*. Pada topologi *mesh*, *base station* (BS) digunakan sebagai *interface* ke *core network*. Untuk menjangkau pelanggan yang berada di luar jangkauan suatu *base station* (BS), *Customer Premise Equipment* (CPE) yang dapat bertindak sebagai *router* atau *repeater* bagi terminal pelanggan lainnya. (Gunawan Wibisono, 2009)

#### 7.2.6.1 Topologi *Point to Point* (PtP)

Komunikasi dalam topologi *Point to Point* (PtP) dilakukan satu lawan satu, yaitu: *base station* (BS) dengan *base station* (BS), ataupun *base station* dengan *single subscriber station* (SS). Gambar 6 menunjukkan topologi *Point to Point* (PtP).



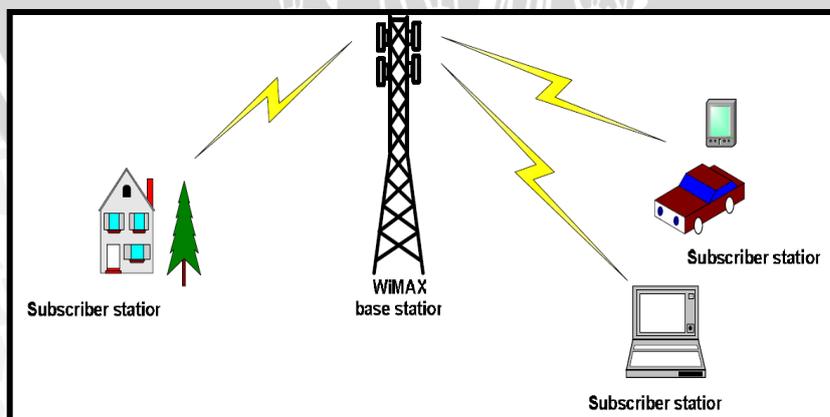
**Gambar 6.** Topologi *point to point* (PtP)

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

Pada Gambar 6 dijelaskan bahwa komunikasi dalam topologi *point to point* (PtP) dilakukan antara BS dengan BS, ataupun BS dengan *single SS*.

#### 7.2.6.2 Topologi *Point to Multi Point* (PtMP)

Topologi *Point to Multi Point* (PtMP) digunakan untuk melayani akses langsung ke pelanggan. Dalam topologi ini *base station* (BS) WiMAX digunakan untuk mengontrol beberapa *subscriber station* (SS). Kemampuan dari jumlah *subscriber station* (SS) tergantung dari tipe *Quality of Service* (QoS) yang ditawarkan oleh operator. Bila tiap *subscriber station* (SS) mendapatkan *bandwidth* yang cukup besar, maka dapat disimpulkan bahwa kapasitas jumlah *user* akan berkurang, dan sebaliknya. Apabila *bandwidth* yang dialokasikan semakin sedikit, maka kapasitas jumlah *user* akan semakin besar. Gambar 7 menunjukkan WiMAX yang diimplementasikan dengan menggunakan topologi PtMP.

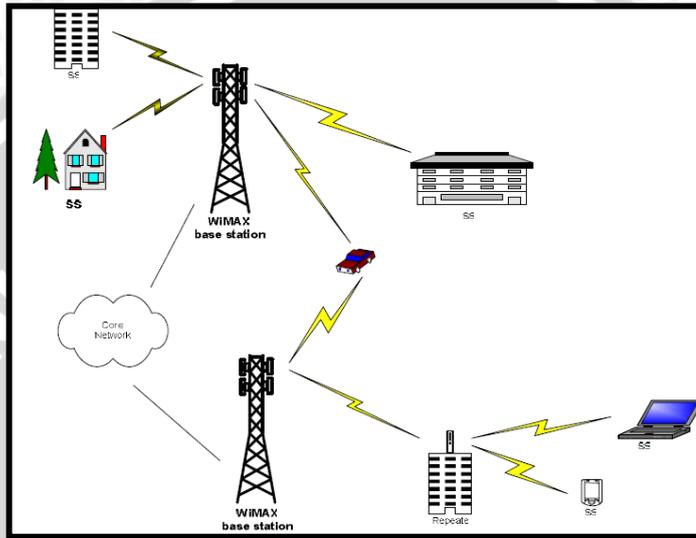


**Gambar 7.** Topologi *point to multi point* (PtMP)

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

### 7.2.6.3 Topologi Pengembangan

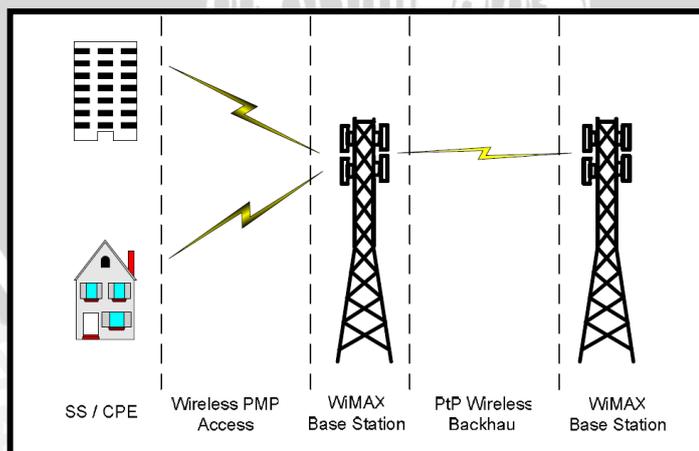
Topologi pengembangan merupakan varian dari topologi dasar *point to point* dan *point to multipoint*. Topologi pengembangan ini dibuat dengan cara menggabungkan beberapa topologi dasar. Dengan penggabungan beberapa topologi dasar ini, terbentuklah topologi pengembangan, seperti *mesh*, maupun gabungan antara *point to point* dan *point to multipoint*. Ilustrasi konfigurasi *mesh* ditunjukkan pada Gambar 8.



Gambar 8. Topologi *mesh*

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

Gambar 9 menunjukkan konfigurasi jaringan yang menggunakan kombinasi antara topologi PtMP yang digunakan untuk ke CPE dengan topologi PtP yang digunakan untuk menghubungkan BS dengan BS yang lain.



Gambar 9. Topologi gabungan PtP dengan PtMP

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

### 7.2.7 Kelebihan dan Kelemahan WiMAX 802.16e

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

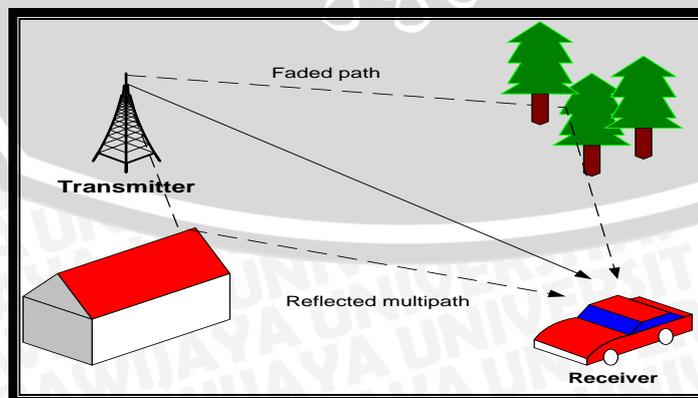
#### a. Kelebihan

- dapat meningkatkan SNR tiap *user*,
- *bandwidth* yang digunakan bersifat *scalable*,
- 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*, dan
- mudah dikembangkan.

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

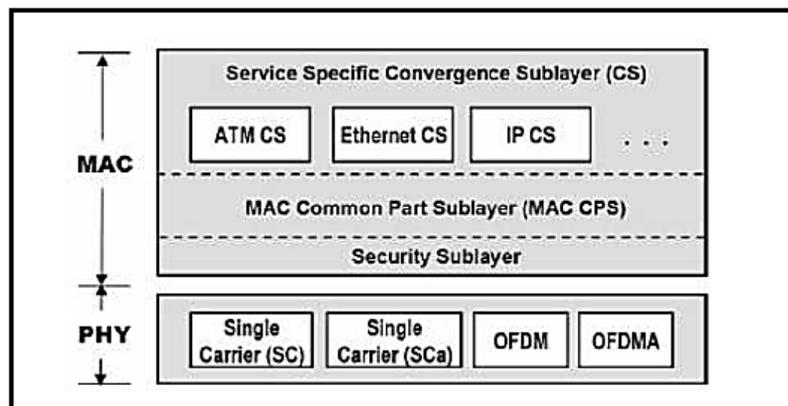


**Gambar 10.** *Multipath* (lintasan jamak) pada sistem komunikasi *wireless*

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

### 7.2.8 Protokol IEEE 802.16e

Fungsi-fungsi komunikasi dibagi menjadi suatu rangkaian *layer* yang hierarkis. Masing-masing lapisan menampilkan subrangkaian fungsi-fungsi yang masih berkaitan yang diperlukan untuk berkomunikasi dengan sistem yang lain. Karakteristik standar 802.16e ditentukan oleh spesifikasi teknis dari *layer Physical* (PHY) dan *Medium Access Control* (MAC). Gambar 11 menunjukkan protokol IEEE 802.16/16e.



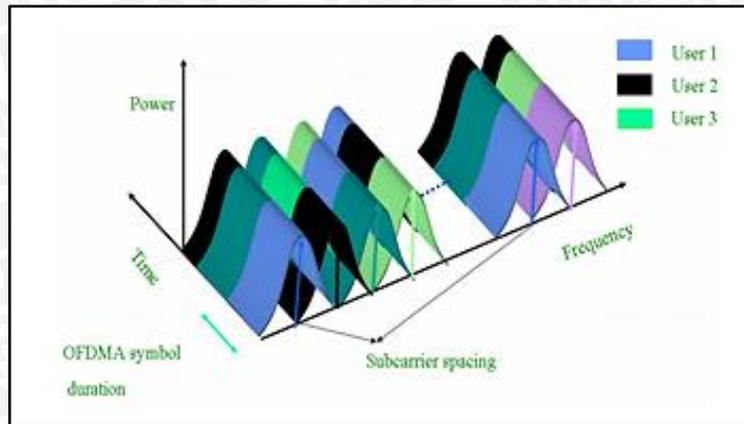
**Gambar 11.** Protokol IEEE 802.16/16e

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

*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. MAC *layer* dibagi lagi menjadi tiga sub *layer* yaitu *Service Specific Convergence Sublayer* (SS-CS) yaitu *sublayer* untuk mengakomodasi perkembangan teknologi masa depan, *MAC Common Part Sublayer* dan *Security Sublayer*. MAC *layer* juga berfungsi untuk mengakomodasi *throughput* data kecepatan tinggi melalui *physical layer*. (Kwang-Cheng Chen and J. Roberto de Marca, 2008)

### 7.2.9 Orthogonal Frequency Division Multiple Access (OFDMA)

*Orthogonal Frequency Division Multiple Access* (OFDMA) merupakan salah satu teknik *multiple access* yang menggunakan beberapa frekuensi (*multicarrier*) yang saling tegak lurus (*orthogonal*). 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). (Srikanth, 2007)

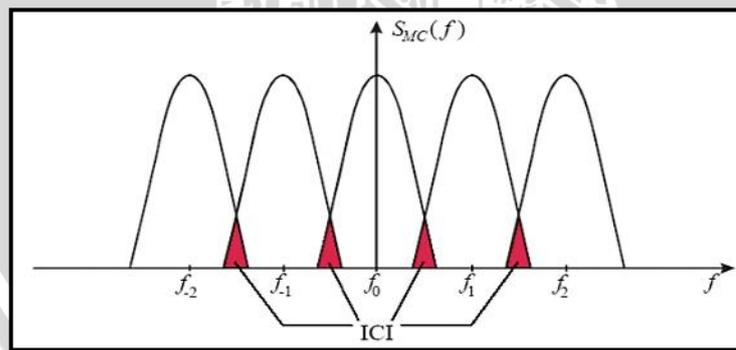


**Gambar 12.** Sinyal OFDMA dilihat dalam domain frekuensi dan domain waktu.

(Sumber: Srikanth S., 2007)

Prinsip kerja dari OFDMA adalah membagi sebuah  $M$  laju data yang tinggi (*single high-rate bit stream*) menjadi  $N$  bit laju data, dimana  $N$  bit laju data ini dapat digunakan oleh satu *user* atau lebih yang memiliki simbol OFDMA yang berbeda. Setiap bit data paralel akan dimodulasikan pada sebuah *subset subcarrier*. Setiap *subset subcarrier* dapat dimodulasikan secara berbeda, misalnya *Quadrature Phase Shift Keying* (QPSK) atau *Quadrature Amplitude Modulation* (QAM).

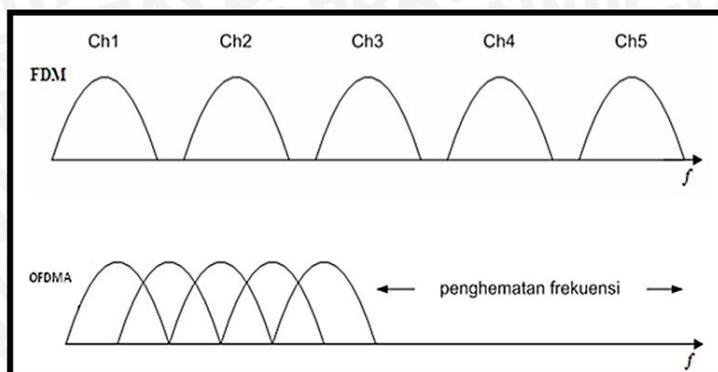
OFDMA merupakan teknik *multiple access* berdasarkan pada *Orthogonal Frequency Division Multiplexing* (OFDM). Oleh karena itu, OFDMA mewarisi segala keunggulan yang dimiliki oleh OFDM. Salah satunya adalah mengatasi masalah terjadinya tumpang tindih frekuensi yang berbeda yang disebut dengan istilah *Inter Carrier Interference* (ICI) yang terjadi pada *Frequency Division Multiplexing* (FDM).



**Gambar 13.** *Inter Carrier Interference* (ICI).

(Sumber: [http://enr.sjsu.edu/rmorelos/ee252s03/Tutorial\\_Hiperlan2.pdf](http://enr.sjsu.edu/rmorelos/ee252s03/Tutorial_Hiperlan2.pdf))

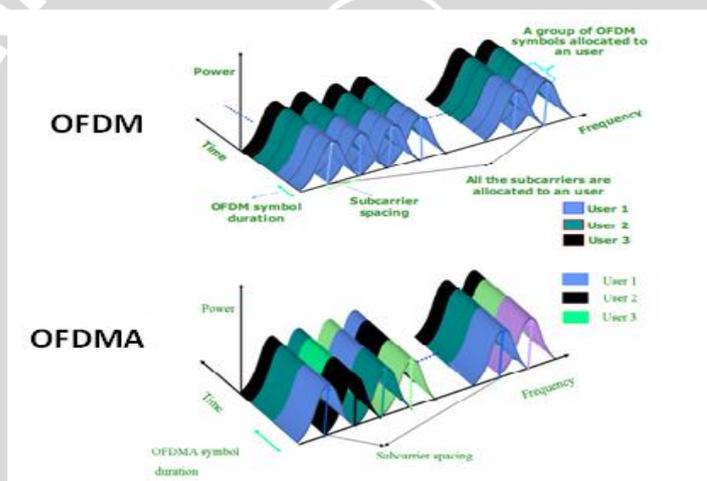
Hal ini dikarenakan pada OFDMA juga menggunakan sinyal *orthogonal*, dimana awal spektrum frekuensi berada tepat di spektrum sebelumnya sehingga *overlapping* dari frekuensi *carrier* tidak mempengaruhi sinyal. Dengan demikian akan menghilangkan adanya *band Guard*, sehingga penggunaan *bandwidth* lebih efisien.



**Gambar 14.** Efisiensi penggunaan *bandwidth* pada OFDMA.

(Sumber: Ramjee Prasaad, 2004)

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.



**Gambar 15.** Perbandingan sinyal OFDM dan sinyal OFDMA dilihat dalam domain frekuensi dan domain waktu.

(Sumber: Srikanth S., 2007)

Salah satu keuntungan OFDMA bila dibandingkan dengan OFDM adalah memungkinkannya mengurangi daya transmisi. Hal ini dapat terjadi karena dengan teknologi OFDMA masing-masing *mobile station* (MS) akan menduduki *subset* kecil dari *subcarrier*. Oleh karena itu, masing-masing *mobile station* (MS) mentransmisikan daya yang lebih rendah. (Jeffrey G. Andrews, 2006)

### 7.2.9.1 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, teknik-teknik modulasi yang digunakan adalah: (WiMAX Forum, 2006)

### 1) *Phase Shift Keying (QPSK)*

QPSK merupakan teknik modulasi yang paling sering digunakan diantara teknik modulasi *M-ary PSK* lainnya karena tidak mengalami penurunan *bit error rate (BER)* ketika efisiensi *bandwidth* ditingkatkan. Sinyal QPSK didefinisikan sebagai :

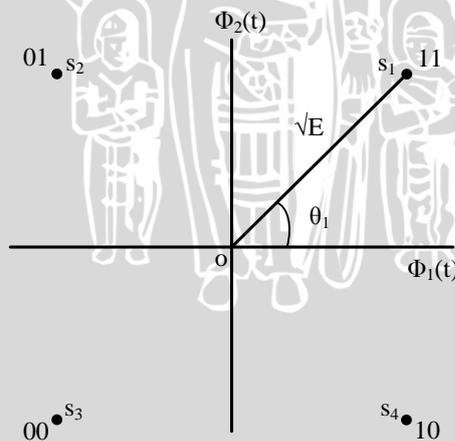
$$s_i(t) = A \cos(2\pi f_c t + \theta_i), \quad 0 \leq t \leq T, i = 1, 2, 3, 4 \quad (1)$$

dengan:

$$\theta_i = \frac{(2i - 1)\pi}{4}$$

Fasa sinyal awal adalah  $\pi/4, 3\pi/4, 5\pi/4, 7\pi/4$ . Frekuensi pembawa dipilih sebagai kelipatan dari *symbol rate* (laju simbol). Oleh karena itu, fasa sinyal awal merupakan salah satu dari empat fasa sinyal QPSK.

Pada QPSK, setiap konstelasi simbol merepresentasikan 2 bit biner (*dibit*) sehingga terdapat  $2^n = 4$  simbol yang ditransmisikan. Setiap simbol yang ditransmisikan merepresentasikan *dibit* 00, 01, 10, dan 11. Gambar 16 menunjukkan hubungan antara *phase* dengan bit pada QPSK yang disebut juga dengan *constellation* atau *phase state diagram*.



**Gambar 16.** *Quadrature Phase Shift Keying (QPSK) constellation*

(Sumber: Behrouz A. Forouzan, 2000)

Koordinat dari titik-titik sinyal ditunjukkan pada Tabel 4 berikut ini:

**Tabel 4.** Koordinat Sinyal QPSK

Dibit	Fasa $\theta_i$	$s_{i1} = \bar{E} \cos \theta_i$	$s_{i2} = \bar{E} \sin \theta_i$
11	$\pi/4$	$+\sqrt{E/2}$	$+\sqrt{E/2}$
01	$3\pi/4$	$-\sqrt{E/2}$	$+\sqrt{E/2}$
00	$-3\pi/4$	$-\sqrt{E/2}$	$-\sqrt{E/2}$
10	$-\pi/4$	$+\sqrt{E/2}$	$-\sqrt{E/2}$

Sinyal QPSK untuk setiap saat pada sumbu  $t$  dapat ditulis sebagai :

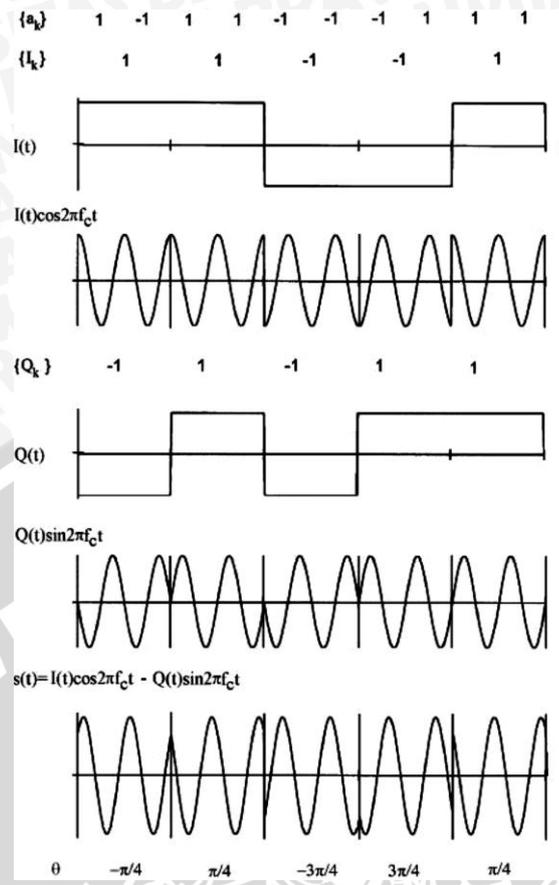
$$s(t) = \frac{A}{2} I(t) \cos 2\pi f_c t - \frac{A}{2} Q(t) \sin 2\pi f_c t, \quad -\infty < t < \infty \quad (2)$$

dengan  $I(t)$  dan  $Q(t)$  adalah deretan pulsa yang ditentukan oleh bit-urutan ganjil dan bit-urutan genap secara berturut-turut.

$$I(t) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} I_k p(t - kT)$$

$$Q(t) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} Q_k p(t - kT)$$

dengan  $I_k = \pm 1$  dan  $Q_k = \pm 1$ . Pemetaan diantara *logic data* dan  $I_k$  atau  $Q_k$  adalah 1 untuk 1 dan 0 untuk -1.  $P(t)$  adalah fungsi pembentuk sinyal *rectangular*. Bentuk gelombang sinyal QPSK dengan menggunakan konstelasi QPSK pada Gambar 16 ditunjukkan pada Gambar 17 berikut ini:



Gambar 17. Bentuk sinyal pada *Quadrature Phase Shift Keying* (QPSK)

2) *Quadrature Amplitude Modulation* (QAM)

*Quadrature Amplitude Modulation* (QAM) merupakan teknik modulasi yang mengkombinasikan antara teknik *Amplitude Shift Keying* (ASK) dan teknik *Phase Shift Keying* (PSK). Hal ini berarti pada QAM, amplitudo dan *phase* sinyal *carrier* berubah terhadap perubahan amplitudo sinyal informasi, sehingga sinyal termodulasi direpresentasikan dalam besaran amplitudo dan pergeseran *phase*.

Sinyal pada QAM didefinisikan sebagai:

$$s_i t = A_i \cos(2\pi f_c t + \theta_i), \quad i = 1, 2, \dots, M \tag{3}$$

Untuk sinyal *M*-ary square QAM (seperti 16-QAM dan 64-QAM), persamaan sinyal dapat didefinisikan sebagai:

$$\begin{aligned} s_i t &= I_i \frac{\overline{E_0}}{E_p} p t \cos 2\mu f_c t - Q_i \frac{\overline{E_0}}{E_p} p t \sin 2\mu f_c t \\ &= I_i \frac{\overline{E_0}}{2} \phi_1 t - Q_i \frac{\overline{E_0}}{2} \phi_2 t \end{aligned} \tag{4}$$

dengan  $E_0$  adalah energi sinyal dengan amplitudo terendah, dan  $(I_i, Q_i)$  merupakan pasangan bilangan bulat yang menunjukkan lokasi titik-titik sinyal pada konstelasi



QAM. Nilai minimum dari  $(I_i, Q_i)$  adalah  $(\pm 1, \pm 1)$ . Pasangan  $(I_i, Q_i)$  adalah elemen dari matriks  $L \times L$ , yaitu :

$$I_i, Q_i = \begin{pmatrix} -L + 1, L - 1 & -L + 3, L - 1 & \dots & L - 1, L - 1 \\ -L + 1, L - 3 & -L + 3, L - 3 & \dots & L - 1, L - 3 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ (-L + 1, -L + 1) & -L + 3, -L + 1 & \dots & L - 1, -L + 1 \end{pmatrix}$$

dengan  $L = \overline{M}$ ,  $M = 4^n$ ,  $n = 1, 2, 3, \dots$ .

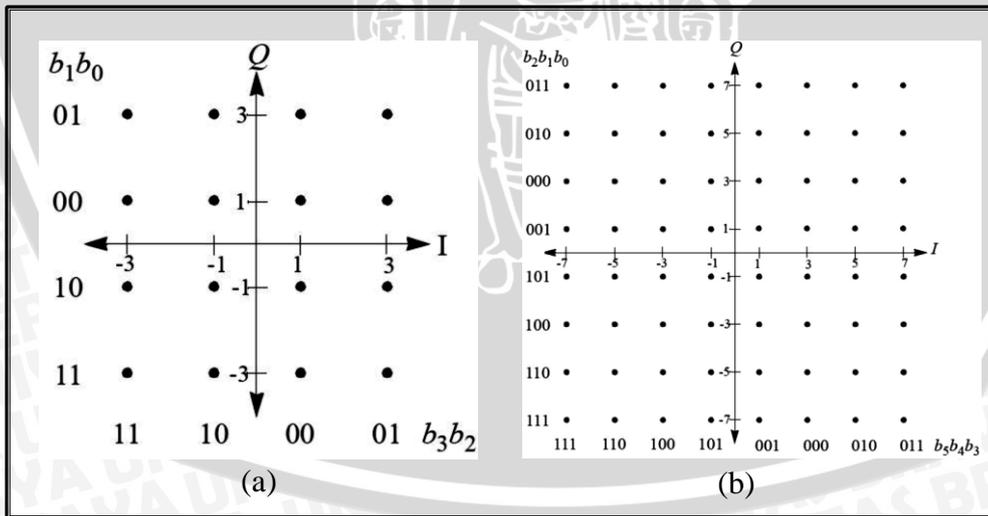
Titik-titik konstelasi sinyal disusun dalam bidang vertikal dan horizontal sehingga membentuk suatu bidang persegi. Jumlah titik-titik pada bidang merupakan  $2^{2n}$  (2, 4, 8, ...). Makin banyak jumlah titik konstelasi yang digunakan, makin besar kemungkinan untuk mentransmisikan bit-bit data untuk tiap simbol. Konstelasi sinyal dinyatakan dalam bentuk  $(I_i, Q_i)$ . Fasor untuk M-ary square QAM adalah :

$$s_i = I_i \frac{\sqrt{E_0}}{2}, Q_i \frac{\sqrt{E_0}}{2} \quad i = 1, 2, \dots, M \quad (5)$$

magnitudo dari fasor tersebut adalah:

$$s_i = \sqrt{\frac{E_0}{2} (I_i^2 + Q_i^2)} \quad (6)$$

Pada standar IEEE 802.16e, pola yang digunakan adalah 16-QAM dan 64-QAM. Gambar 18(a) menunjukkan konstelasi dari sinyal 16-QAM, sedangkan untuk 64-QAM ditunjukkan pada Gambar 18(b)



**Gambar 18. (a) Bentuk konstelasi 16-QAM, (b) Bentuk konstelasi 64-QAM.**

(Sumber: Forouzan, 2000)

### 7.3 Performansi VoIP melalui Mobile WiMAX IEEE 802.16 rev. E

#### 7.3.1 Perhitungan Bandwidth

*Bandwidth* merupakan kecepatan maksimum yang dapat digunakan untuk melakukan transmisi data antarkomputer pada jaringan IP dan Internet. Dalam VoIP, *bandwidth* merupakan suatu hal yang harus diperhitungkan agar mendapatkan kualitas suara yang baik. (Winarno, 2007)

Codec yang digunakan saat berkomunikasi suara akan menentukan *bandwidth* yang diperlukan. Untuk menentukan *bandwidth* yang dibutuhkan, harus diketahui model susunan protocol IP. Protokol yang terkait pada VoIP ditunjukkan pada Gambar 1 yang terdiri dari: IP, UDP, RTP dan *Network Interface* (berupa Ethernet dan tokenring)

Untuk mencari nilai *payload* pada VoIP dihitung dengan menggunakan persamaan:

$$P_{LA} = B_{\text{codec}} \times \text{frame rate} \quad (7)$$

$P_{LA}$  menunjukkan besarnya *payload* paket data audio, sedangkan untuk memperoleh banyaknya bit yang terisi dalam paket VoIP dihitung dengan persamaan:

$$P_{A-size} = \text{header}_{\text{IP/UDP/RTP}} + P_{LA} \quad (8)$$

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

$$P_A = \frac{B_{\text{codec}}}{P_{LA}} \quad (9)$$

dengan demikian *bandwidth* audio dapat dihitung dengan persamaan :

$$B_A = P_{A-size} \times P_A \quad (10)$$

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.

#### 7.3.2 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 SNR. Nilai SNR dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan berikut: (E. Glatz, 1999)

$$SNR_{(dB)} = P_r(dBm) - N_0(dBm) \quad (11)$$

dengan :

$$SNR = \text{signal to noise ratio (dB)}$$

$$P_r = \text{daya yang diterima (dBm)}$$

$N_o$  = daya *noise* saluran transmisi (dBm)

Sedangkan untuk perhitungan daya noise dinyatakan dalam persamaan berikut:

(E. Glatz, 1999)

$$N_{0(dBm)} = 10 \log k.T + 10 \log B_{sistem} + NF \quad (12)$$

dengan :

$N_o$  = daya *noise* saluran transmisi (dBm)

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

$T$  = suhu *absolute*

$NF$  = *noise figure*

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

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

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

dengan :

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

$SNR$  = *signal to noise ratio* (dB)

$\alpha_{cp}$  = faktor *cylic prefix*

### 7.3.3 Perhitungan Kapasitas Kanal

Besarnya kapasitas kanal dapat ditentukan dengan menggunakan teorema Shannon dengan persamaan sebagai berikut: (Wilson, 1996)

$$C = B_{kanal} \cdot \log 1 + SNR_{sistem} \quad (14)$$

dengan :

$C$  = kapasitas kanal sistem (bps)

$B_{kanal}$  = *bandwidth* kanal (Hz)

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

### 7.3.4 Perhitungan Path Loss

*Path loss* adalah rugi-rugi pada gelombang elektromagnetik yang dipancarkan dari suatu pemancar ke penerima disebabkan berbagai redaman yang terjadi selama proses perambatan akibat melewati berbagai halangan. *Path loss* mencakup semua pelemahan yang diperkirakan akan dialami sinyal ketika sinyal tersebut merambat dari *base station* ke *subscriber station*.

Untuk menganalisis besarnya pengaruh redaman sinyal terhadap kondisi tersebut maka digunakan sebuah model propagasi *outdoor* pada standar IEEE.802.16 rev E dengan mencari besarnya rugi-rugi saluran di lintasan propagasi. Besarnya nilai *path loss* dapat dihitung dengan persamaan: (V. Erceg, 2001)

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

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)

### 7.3.5 Perhitungan Jarak Jangkau

Pada propagasi gelombang radio, jarak antara *base station* dan *subscriber station* berpengaruh terhadap besar kecilnya daya sinyal yang akan diterima pada penerima. Semakin jauh jarak antara *base station* dan *subscriber station* akan mengakibatkan daya sinyal yang diterima oleh penerima semakin kecil. Hal ini disebabkan adanya redaman saat pentransmisian sinyal dari *base station* ke *subscriber station* maupun sebaliknya baik pada kondisi *line of sight* (LOS) maupun *non-line of sight* (NLOS). WiMAX 802.16e bekerja pada kondisi NLOS, maka jarak jangkauan antara *base station* dan *mobile station* dapat ditentukan dengan persamaan: (Kwang-Cheng Chen, 2008)

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

dengan :

$PL$  = rugi-rugi propagasi (dB)

$A$  = *pathloss* referensi (dB)

$\gamma$  = eksponen *pathloss*

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

$d_0$  = jarak referensi *pathloss*

$s$  = efek *shadow* (dB)

$\Delta PL_f$  = faktor koreksi terhadap frekuensi kerja yang digunakan

$\Delta PL_h$  = faktor koreksi terhadap tinggi antenna penerima

*Pathloss* referensi (*A*) dirumuskan sebagai berikut :

$$A = 10 \log_{10} \frac{4\pi \cdot f \cdot d}{c} \quad (17)$$

dengan :

- A* = *pathloss* referensi (dB)
- f* = frekuensi operasi (Hz)
- d* = jarak *base station* ke *subscriber station* (m)
- c* = kecepatan gelombang radio di udara (m/s)

untuk eksponen *pathloss* ( $\gamma$ ) dirumuskan sebagai berikut :

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

dengan :

- $\gamma$  = eksponen *pathloss*
- a, b, c* = konstanta yang tergantung pada tipe *terrain*
- h<sub>b</sub>* = tinggi antena *base station* (m)

Besarnya nilai *a*, *b*, *c* dan *s* merupakan konstanta berdasarkan daerah yang akan dilayani, yakni berdasarkan tipe daerah/bangunan yang ada pada daerah tersebut. Adapun nilai *a*, *b*, *c* dan *s* dapat dilihat dalam Tabel 5.

**Tabel 5.** Model parameter 802.16 rev. E untuk tipe *Terrain* yang Berbeda

Parameter	Tipe Urban	Tipe Suburban	Tipe Rural
<i>a</i>	4.6	4	3.6
<i>b</i>	0.0075	0.0065	0.005
<i>c</i>	12.6	17.1	20
Efek shadow ( <i>s</i> )	10.6	9.6	8.2

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

Faktor koreksi frekuensi pada *mobile* WiMAX 802.16 rev. E dinyatakan dalam persamaan berikut :

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

dengan :

- f* = frekuensi operasi sistem (Hz)

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

$$\Delta PL_h = -10,8 \log_{10} \frac{h}{2} , \text{ untuk tipe } \textit{terrain} \textit{ a dan b}$$

$$\Delta PL_h = -20 \log_{10} \frac{h}{2}, \text{ untuk tipe terrain } c$$

dengan :

$$h = \text{tinggi antenna penerima (m)}$$

### 7.3.6 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 6.

**Tabel 6.** Pengelompokan waktu tunda berdasarkan ITU-T G.114

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

*Delay end-to-end* dapat dituliskan sebagai berikut:

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

dengan:  $t_{end\ to\ end} = \text{delay end to end}$

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

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

#### ❖ *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:

$$t_{\text{codec}} \text{ ms} = t_{\text{encoding}} \text{ ms} + t_{\text{decoding}} \text{ ms} \quad (21)$$

dengan:

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

❖ *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:

$$t_{\text{MAN}} = t_{\text{proses}} + t_{\text{prop}} + t_{\text{trans}} + t_w \quad (22)$$

dengan:

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

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

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

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

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

❖ *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:

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

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

dengan:

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

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

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

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:

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

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*.

$$W_{frame} = W_{datagram} + Header_{ethernet} \quad (25)$$

dengan:

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

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

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

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

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

dengan:

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

Sedangkan *delay* enkapsulasi adalah:

$$t_{enc} = \frac{W_{frame\ total}}{c} \times 8 \quad (26)$$

dengan:

$t_{enc}$  = *delay* enkapsulasi (*ms*)

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

$c$  = kecepatan transmisi kanal (*bps*)

Sedangkan *delay* dekapsulasi dirumuskan:

$$t_{dec} = \frac{W_{frame\ total}}{c} \times 8 \quad (27)$$

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

$$t_{proc} = t_{enc} + t_{dec}$$

dengan:

$$\begin{aligned}t_{proc} &= \text{delay proses (ms)} \\t_{enc} &= \text{delay enkapsulasi (ms)} \\t_{dec} &= \text{delay dekapsulasi (ms)}\end{aligned}$$

❖ *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:

$$t_{prop} = \frac{d_{max}}{v} \quad (28)$$

dengan:

$$\begin{aligned}t_{prop} &= \text{delay propagasi (ms)} \\d_{max} &= \text{jarak jangkauan base station dan subscriber station (m)} \\v &= \text{kecepatan sinyal pada media wireless (m/s)}\end{aligned}$$

❖ *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:

$$t_{trans} = \frac{W_{frame\ total}}{c} \times 8 \quad (29)$$

dengan:

$$\begin{aligned}t_{trans} &= \text{delay transmisi (ms)} \\W_{frame\ total} &= \text{panjang total frame yang dikirimkan (byte)} \\c &= \text{kecepatan transmisi kanal (bps)}\end{aligned}$$

❖ *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:

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

dengan:

- $t_w$  = delay antrian (ms)
- $x$  = waktu rata-rata pelayanan (ms)
- $c$  = kapasitas kanal (bps)
- $\lambda_w$  = kecepatan kedatangan (paket/detik)
- $\mu$  = kecepatan pelayanan (paket/detik)
- $\rho$  = faktor utilitas sistem nirkabel

### 7.3.7 Energy Bit to Noise ( $\frac{E_b}{N_0}$ )

Nilai *energy bit to noise* ( $\frac{E_b}{N_0}$ ) digunakan untuk menilai kualitas sinyal yang dikirim oleh pemancar. Nilai *energy bit to noise* ( $\frac{E_b}{N_0}$ ) dapat dihitung dengan persamaan:

$$\frac{E_b}{N_0} = P_t \text{ dBm} + G_t \text{ dBi} - P_L \text{ dB} - N_0 \text{ dBm} + R \text{ dB} \quad (31)$$

dengan:

- $P_L$  = *path loss*/rugi-rugi propagasi (dB)
- $P_t$  = daya pancar (dBm)
- $G_t$  = gain antena pemancar (dBi)
- $R$  = laju data (dB)
- $N_0$  = daya *noise* saluran transmisi (dBm)

### 7.3.8 Probabilitas 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* ( $\frac{E_b}{N_0}$ ). Probabilitas *packet loss* aplikasi VoIP dengan menggunakan persamaan dan *header*<sub>UDP/RTP/IP</sub> yaitu :

$$Q(x) = \frac{1}{2} \operatorname{erfc} \frac{x}{2} \quad (32)$$

$$\rho_{\text{UDP/RTP/IP}} = P_{\text{size}} \times \rho_b \quad (33)$$

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

$$P_{be} = Q \left( \sqrt{2 \frac{E_b}{N_0}} \right) \quad (34)$$

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

$$P_{be} = \frac{4}{K} \left( 1 - \frac{1}{M} \right) Q \left( \sqrt{\frac{3K E_b}{M-1 N_0}} \right) \quad (35)$$

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

Maka probabilitas paket loss total pada berbagai tipe modulasi dapat dihitung dengan persamaan: (Pritchard, 1993)

$$\rho_{total} = 1 - \left( 1 - \rho_{network} \right) \left( 1 - \rho_{UDP/RTP/IP} \right) \quad (36)$$

### 7.3.9 Throughput

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

$$\lambda = \frac{(1-\rho)}{t_{trans}[1+(\alpha-1)\rho]} \quad (37)$$

dengan:

$$\begin{aligned} t_{out} &= 2t_{prop} + 2t_{trans} \\ \alpha &= \left( 1 + \frac{2t_{prop}+2t_{trans}}{t_{trans}} \right) \end{aligned} \quad (38)$$

keterangan:

$\lambda$  = *Throughput* (paket/s)

$\rho$  = probabilitas paket *loss* yang diterima

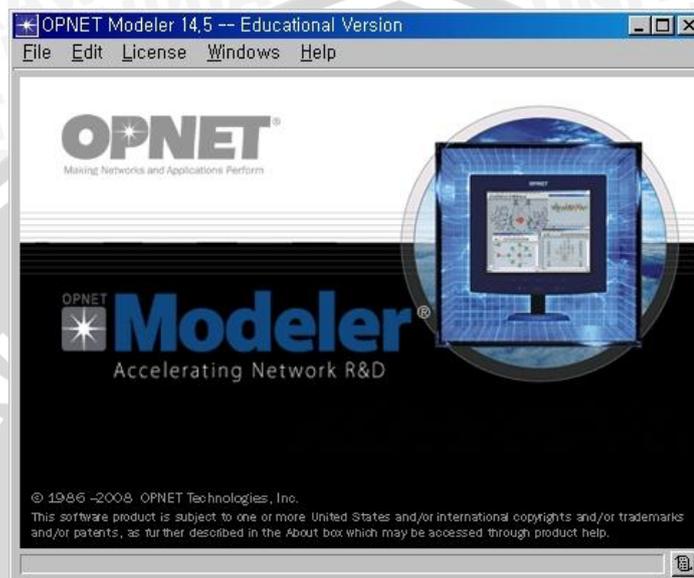
$\alpha$  = konstanta propagasi

### 7.4 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

repository.ub.ac.id

mendemonstrasikan dengan skenario yang realistik 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 19 menunjukkan tampilan awal dari *software* OPNET Modeler.



**Gambar 19.** Tampilan awal OPNET Modeler 14.5 – *Educational Version*

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

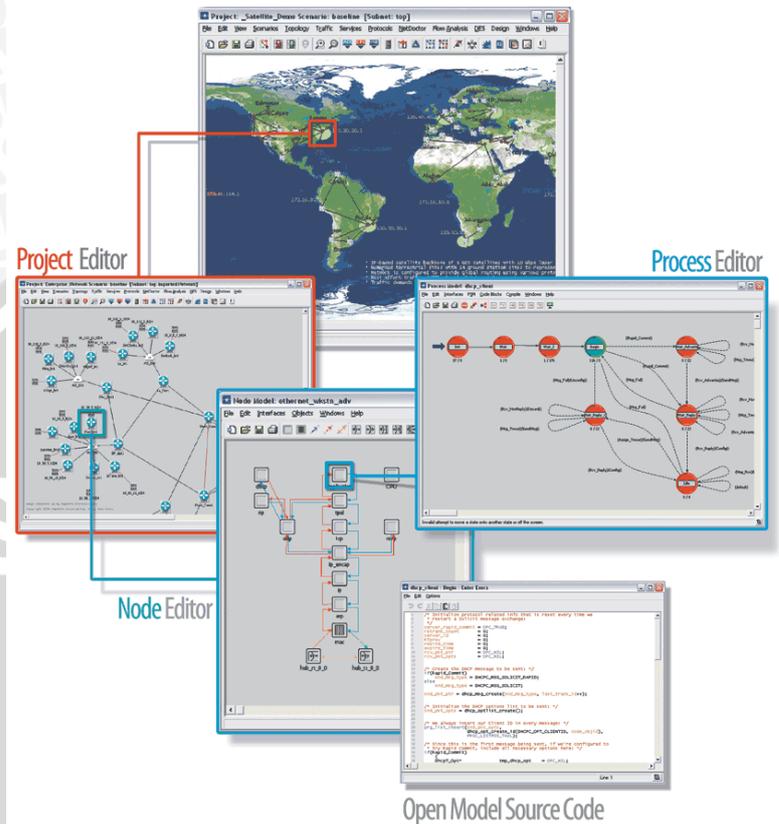
*Optimized Network Engineering Tool* (OPNET) Modeler menyediakan lingkungan pengembangan yang komprehensif untuk menganalisis spesifikasi, simulasi dan kinerja suatu jaringan komunikasi. Berbagai macam sistem komunikasi dari LAN tunggal hingga jaringan satelit global dapat didukung *software* tersebut. 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 20. Setiap tingkatan hirarki menggambarkan aspek yang berbeda dari model

UNIVERSITAS BRAWIJAYA

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 20.** OPNET Graphic Editors untuk Network, Node, and Process Models

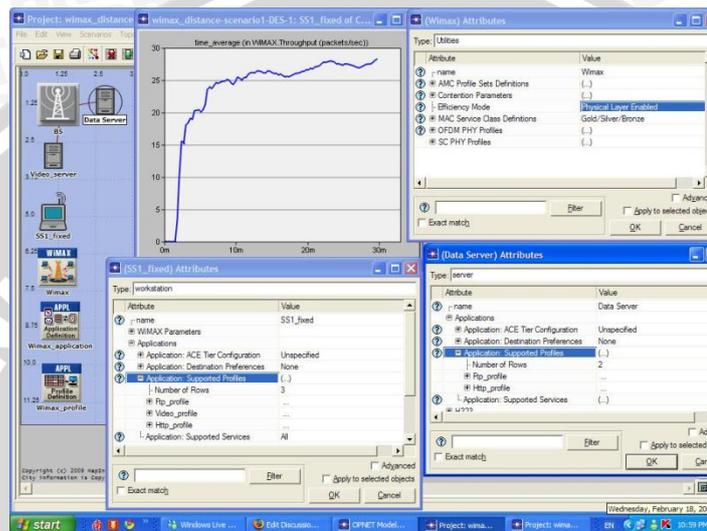
(Sumber: [http://www.opnet.com/solutions/network\\_rd/modeler.html](http://www.opnet.com/solutions/network_rd/modeler.html))

#### 7.4.1 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 antarjaringan 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 21. Tampilan proses simulasi dengan menggunakan OPNET Modeler (**sumber:** <http://www.opnet.com>)

#### 7.4.2 *Discrete event simulation* (DES)

Simulasi adalah proses mendesain suatu model yang dikomputerisasi dari sebuah sistem atau sebuah proses dan menghubungkan percobaan dengan model tersebut untuk tujuan memahami perilaku dari system atau mengevaluasi strategi yang beragam dari operasi pada system tersebut

Kelebihan dari proses simulasi adalah :

- dapat mengendalikan percobaan, dengan mengubah parameter tertentu tanpa harus mengubah atau mengganggu system yang telah ada,
- dapat lebih menghemat waktu,
- merupakan perangkat yang efektif digunakan dalam program pelatihan

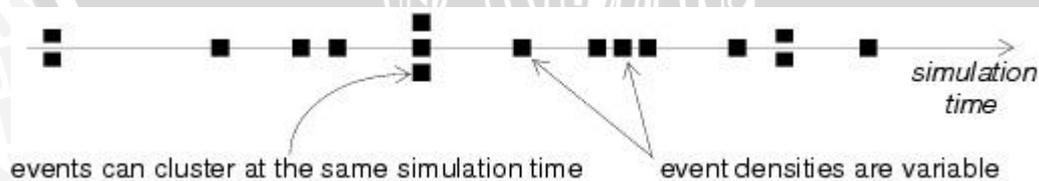
*Discrete event simulation* (DES) merupakan suatu model simulasi dimana perubahan statusnya terjadi pada titik-titik diskrit dalam waktu yang dipicu oleh suatu kejadian (*event*). Dalam titik waktu tersebut akan terjadi suatu *event*, dimana *event* didefinisikan sebagai suatu kejadian yang dapat mengubah kondisi suatu sistem.

Contohnya operator yang sebelumnya menganggur (*idle*), setelah kedatangan suatu pelanggan akan menjadi sibuk. Atau sebaliknya dari kondisi sibuk ke kondisi *idle*.

Berikut adalah beberapa kejadian yang dapat dimodelkan sebagai sebuah *event*:

- menerima sebuah paket atau sebuah perintah dalam suatu proses,
- mulai atau berakhirnya penransmisian atau penerimaan paket-paket pada suatu *link*,
- pembangkitan sebuah pesan baru, perintah, atau tugas oleh sebuah proses aplikasi,
- kegagalan (atau *recovery* dari kegagalan) pada suatu perangkat.

Ada dua pendekatan pokok yang digunakan untuk meningkatkan waktu simulasi yaitu mempercepat waktu *event* berikutnya dan mempercepat interval waktu tetap. Dengan pendekatan mempercepat *event* berikutnya, waktu simulasi diinisialisasi dengan (nol) 0 kemudian banyaknya kejadian dari suatu *event* di masa depan ditentukan. Waktu simulasi kemudian dipercepat ke waktu kejadian *event* paling dekat di masa depan, kemudian titik-titik kondisi sistem diperbarui ke setiap kejadian yang telah terjadi sehingga banyaknya *event* di masa depan juga diperbarui. Kemudian waktu simulasi dipercepat, kondisi sistem diperbarui, banyaknya *event* masa depan ditentukan dst. Proses dari waktu simulasi yang dipercepat ini dari waktu *event* satu ke yang lain kontinu sampai beberapa kondisi berhenti dan telah terpenuhi. Sejak semua perubahan kondisi hanya terjadi pada *discrete event simulation*, dimana periode tidak aktif dilompati dari satu waktu *event* ke waktu *event* lain. Waktu simulasi hanya berubah ketika *event* baru terjadi, selama satu *event* terjadi, waktu tidak dapat berubah. Waktu simulasi sekarang didefinisikan sebagai waktu *event* saat ini dieksekusi. Waktu simulasi tidak perlu dipercepat dengan besar yang sama pada setiap *event*, namun melompat pada waktu *event* selanjutnya.



**Gambar 22.** Distribusi event pada *timeline* simulasi

(sumber: OPNET tutorial.pdf)

OPNET Modeler mendukung pemodelan dalam sistem terdistribusi, dan OPNET juga memperbolehkan dilakukannya *multiple-event* terjadi secara simultan dalam simulasi dan mempengaruhi komponen-komponen yang berbeda dari sistem. Oleh karena itu, dimungkinkan untuk terjadinya beberapa *event* berbeda dalam waktu simulasi yang sama.

## 8. METODOLOGI PENELITIAN

Sesuai dengan tujuan penulisan penelitian ini, yaitu menganalisis performansi VoIP melalui *mobile* WiMAX 802.16e yang meliputi analisis *delay end to end*, probabilitas *packet loss*, dan *throughput* dengan menggunakan *network simulator Optimized Network Engineering Tool (OPNET)* versi 14.5. Metodologi yang digunakan pada penelitian ini meliputi:

### 8.1 Studi Literatur

Studi literatur dilakukan untuk mempelajari dan memahami konsep yang terkait dengan performansi VoIP melalui *mobile* WiMAX serta implementasinya pada simulasi *software* dengan menggunakan OPNET Modeler versi 14.5. Studi literatur yang dilakukan adalah mengenai karakteristik, parameter, serta teori pengantar lain yang menunjang dalam penulisan penelitian ini.

### 8.2 Pengambilan Data

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

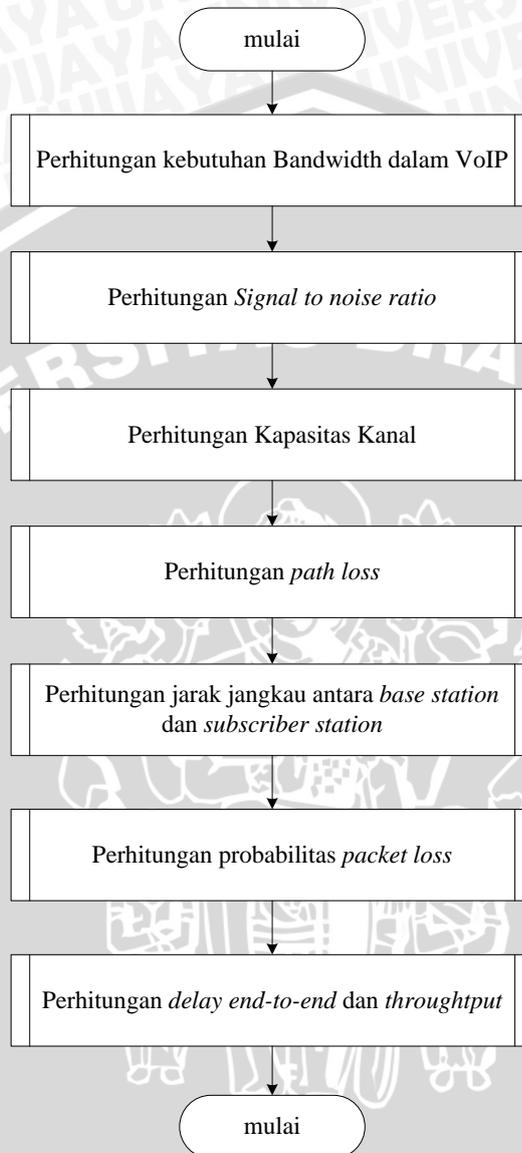
- Standar jaringan WiMAX,
- Standar jaringan VoIP,
- Konsep dasar jaringan WiMAX IEEE 802.16e (*mobile* WiMAX),
- Parameter jaringan WiMAX IEEE 802.16e (*mobile* WiMAX)

### 8.3 Simulasi dan Analisis hasil simulasi

OPNET Modeler versi 14.5 telah mendukung layanan VoIP serta tersedia *library* terkait dengan jaringan *mobile* WiMAX 802.16e. Simulasi dilakukan dengan memasukkan parameter-parameter jaringan pada elemen-elemen *network models* yang merepresentasikan kondisi sebenarnya. Kemudian dari data-data hasil simulasi tersebut dilakukan analisis terhadap performansi VoIP pada jaringan WiMAX.

### 8.3.1 Diagram Alir metode analisis perhitungan

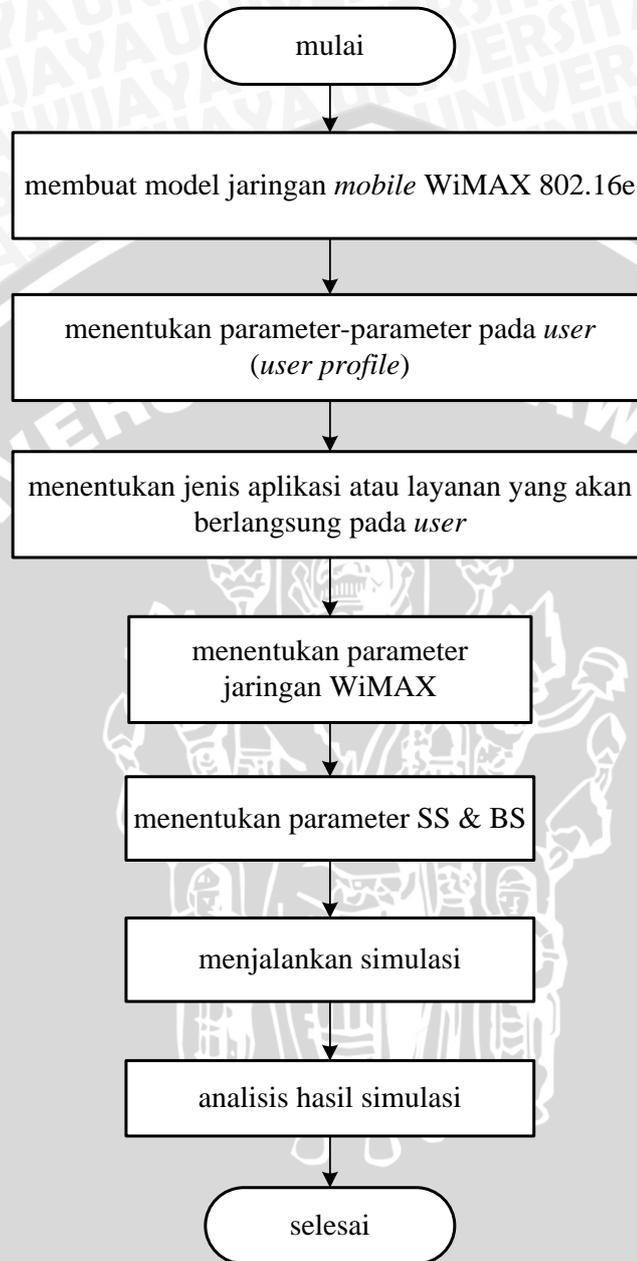
Sebagai referensi dalam melakukan simulasi perlu diketahui *workflow* analisis secara perhitungan untuk lebih memahami data-data hasil simulasi yang akan diperoleh yang meliputi:



**Gambar 23.** Diagram Alir metode analisis perhitungan  
(Sumber : Perancangan, 2012)

### 8.3.2 Diagram Alir metode simulasi menggunakan OPNET Modeler

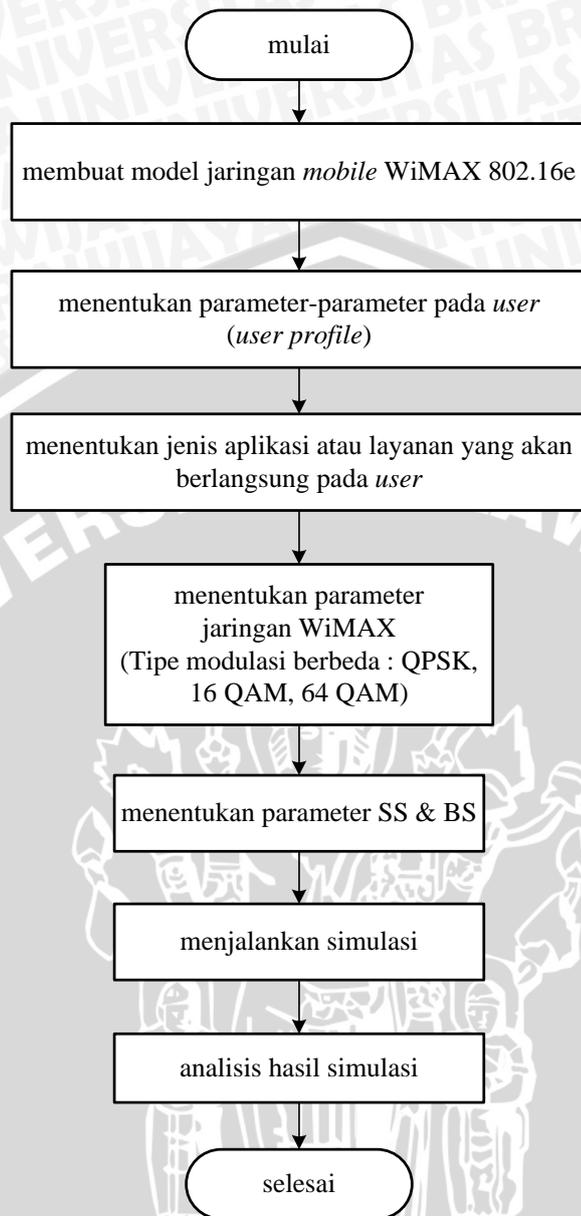
Secara umum, dalam tahap simulasi terdapat beberapa langkah-langkah yang dilakukan untuk memperoleh data hasil simulasi yang diinginkan, yaitu meliputi:



**Gambar 24.** Diagram Alir metode simulasi menggunakan OPNET Modeler

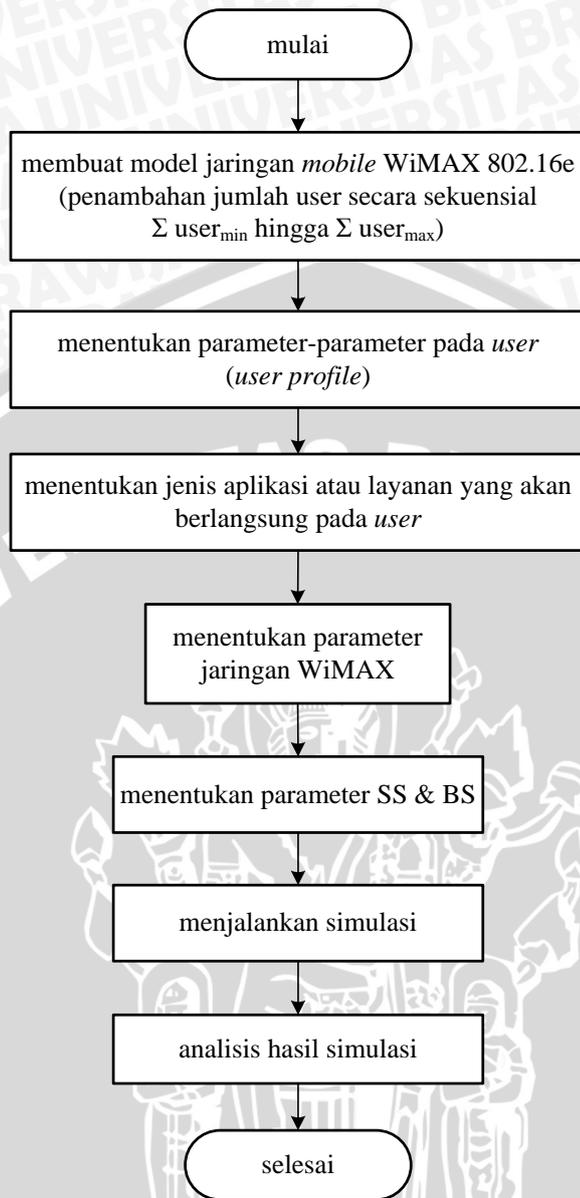
(Sumber : Perancangan, 2012)

### 8.3.3 Diagram Alir simulasi Perbedaan Tipe Modulasi



**Gambar 25.** Diagram Alir simulasi Perbedaan Tipe Modulasi  
(Sumber : Perancangan, 2012)

### 8.3.4 Diagram Alir simulasi Penambahan Jumlah User



**Gambar 25.** Diagram Alir simulasi Perbedaan Tipe Modulasi  
(Sumber : Perancangan, 2012)

### 8.4 Pengambilan Kesimpulan dan Saran

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

## 9. RENCANA KEGIATAN

Kegiatan penyusunan penelitian ini direncanakan dikerjakan dalam waktu 18 minggu dengan kegiatan setiap minggunya sebagai berikut:

No	Kegiatan	Bulan ke-				
		I	II	III	IV	V
1.	Seminar Proposal	■				
2.	Studi Literatur	■	■	■		
3.	Pencarian Data		■	■	■	
4.	Perancangan Jaringan dan Simulasi			■	■	
5.	Penyusunan Laporan			■	■	■
6.	Seminar Hasil					■

## 10. RENCANA DAFTAR ISI

### Pengantar

### Abstrak

### BAB I PENDAHULUAN

- 1.1 Latar Belakang
- 1.2 Rumusan Masalah
- 1.3 Ruang Lingkup
- 1.4 Tujuan
- 1.6 Sistematika Penulisan

### BAB II TINJAUAN PUSTAKA

- 2.1 VoIP (*Voice over Internet Protocol*)
  - 2.1.1 Format Paket VoIP
  - 2.1.2 Cara Kerja VoIP
  - 2.1.3 Komponen VoIP
- 2.2 *Worldwide Interoperability for Microwave Access (WiMAX) 802.16e*
  - 2.2.1 Umum
  - 2.2.2 *Worldwide Interoperability for Microwave Access (WiMAX) rev E*
    - 2.2.2.1 *Broadband Wireless Access (BWA)*
    - 2.2.2.2 *Worldwide Interoperability for Microwave Acces (WiMAX)*
    - 2.2.2.3 Standar WiMAX 802.16e
    - 2.2.2.4 Protokol IEEE 802.16/16e
    - 2.2.2.5 Konfigurasi Jaringan WiMAX
    - 2.2.2.6 Prinsip Kerja WiMAX

- 2.2.2.7 Topologi Jaringan WiMAX
- 2.2.2.8 Spektrum Frekuensi WiMAX
- 2.2.2.9 *Orthogonal Frequency Division Multiple Access* (OFDMA)
- 2.2.2.10 Propagasi *Outdoor* dan *Indoor*

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

- 2.3.1 *Delay end to end*
- 2.3.2 Probabilitas *packet loss*
- 2.3.3 *Throughput*

## **BAB III METODOLOGI PENELITIAN**

- 3.1 Studi Literatur
- 3.2 Pengambilan Data
  - 3.2.1 Spesifikasi VoIP
  - 3.2.2 Spesifikasi *mobile* WiMAX
- 3.3 Simulasi dan Analisis Hasil Simulasi
- 3.4 Pengambilan Kesimpulan dan Saran

## **BAB IV PERANCANGAN SIMULASI JARINGAN**

- 4.1 Umum
- 4.2 *Optimized Network Engineering Tool* (OPNET)
- 4.3 Konfigurasi Jaringan
  - 4.3.1 Komponen Jaringan
  - 4.3.2 Trafik Jaringan
  - 4.3.3 Parameter-parameter Simulasi
- 4.4 Desain Simulasi
  - 4.4.1 Skenario 1 : Perbedaan Tipe Modulasi
  - 4.4.2 Skenario 2 : Penambahan Jumlah *User*
- 4.5 Pelaksanaan Simulasi

## **BAB V PEMBAHASAN DAN HASIL**

- 5.1 Analisis performansi VoIP melalui *mobile* WiMAX
- 5.2 Skenario 1 : Perbedaan Tipe Modulasi
  - 5.2.1 *Delay end to end*
  - 5.2.2 Probabilitas *packet loss*
  - 5.2.3 *Throughput*
- 5.3 Skenario 2 : Penambahan Jumlah *User*
  - 5.2.1 *Delay end to end*
  - 5.2.2 Probabilitas *packet loss*
  - 5.2.3 *Throughput*

**BAB VI PENUTUP**

- 6.1 Kesimpulan
- 6.2 Saran

**DAFTAR PUSTAKA****LAMPIRAN****11. DAFTAR PUSTAKA**

- Andrews, Jeffrey G. 2006. *Orthogonal Frequency Division Multiple Access (OFDMA)*. United States : Pearson Education, Inc.
- Chen, Kwang-Cheng, J. Roberto B. De Marca. 2008. *Mobile WiMAX*. London : John Wiley & Sons, Inc.
- Forouzan, Behrouz A. 2000. *Data Communications and Networking 2<sup>nd</sup> edition*. Mc Graw-Hill International Edition.
- Kumar, Amitabh. 2008. *Mobile Broadcasting with WiMAX :Principles, Technology, and Applications*. Oxford : Elsevier Inc.
- Masum, Ebna, Jewel Babu. 2011. *End-to-end Delay Performance Evaluation for VoIP in the LTE network*. Blekinge Institute of Technology.
- OPNET Technologies, <http://www.opnet.com>
- Prasad, Ramjee. 2004. *OFDM for wireless communications systems*. London : Artech House.
- S. Sengupta, M. Chatterjee, dan S. Ganguly.2008. *Improving Quality of VoIP Streams over WiMAX*. IEEE Transactions on Computers.
- Siyamta. 2005. *Sistem Keamanan Pada Worldwide Interoperability for Microwave Access (WiMAX)*. IlmuKomputer.com.
- Sugeng, Winarno. 2007. *Membangun telepon berbasis VoIP*. Informatika: Bandung.
- Srikanth, Kumaran V., Manikandan C., Murugesapandian. 2007. *Orthogonal Frequency Division Multiple Access*. Anna University Press, Chennai, India.
- Wibisono, Gunawan dan Gunadi Dwi Hantoro. 2009. *Peluang dan Tantangan Bisnis WiMAX di Indonesia*. Bandung : Informatika.
- WiMAX Forum. 2006. *Mobile WiMAX - Part I : A Technical Overview and Performace Analysis*.
- WiMAX Forum. 2006. *Mobile WiMAX : The Best Personal Broadband Experience*.
- Chang, Xinjie. 1999. *Network Simulation with OPNET*, Proceedings of the 1999 Winter Simulation Conference.