

# PERFORMANSI VOICE OVER INTERNET PROTOCOL (VoIP) MELALUI MOBILE WiMAX 802.16e MENGGUNAKAN OPNET MODELER VERSI 14.5

Sahada Pramandana

Teknik Elektro Universitas Brawijaya

Dosen Pembimbing : 1. Ir. Endah Budi P., MT.

2. Gaguk Asmungi, ST., M

**Abstrak**—Voice over Internet Protocol (VoIP) merupakan teknologi 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. Skripsi ini mengevaluasi performansi VoIP yang diaplikasikan pada jaringan *mobile WiMAX 802.16e* dengan menggunakan *network simulator OPNET Modeler v.14.5*. Performansi yang diamati adalah *throughput*, probabilitas *packet loss*, dan *delay end to end* dengan pengaruh perbedaan penggunaan tipe modulasi dan penambahan jumlah *user* dalam satu *cell*. Tipe modulasi yang digunakan adalah QPSK, 16 QAM dan 64 QAM. Hasil simulasi dan analisis menyatakan bahwa semakin tinggi orde modulasi yang digunakan *throughput* semakin besar dengan probabilitas *packet loss* yang semakin kecil serta *delay end to end* yang semakin meningkat. Jumlah *user* yang semakin bertambah akan mengurangi performansi VoIP, namun masih dalam batas toleransi standar yaitu *throughput* >90% dan *delay end to end* <150 ms.

**Kata Kunci**—*delay end to end*, *mobile WiMAX*, *OPNET Modeler*, probabilitas *packet loss*, *throughput*, VoIP.

**Abstract**—Voice over Internet Protocol (VoIP) is a technology that uses Internet Protocol (IP) to provide voice communication in real-time. VoIP transmits voice signals by converting them into digital form through the process of voice coding, and are grouped into packets of data sent by using IP platform. This research evaluates performance of VoIP is applied to the mobile WiMAX 802.16e using the network simulator OPNET Modeler v.14.5. The observed performance in this research are throughput, probability of packet loss and delay end to end with the use of different types of modulation effects and increasing the number of users in a cell. Modulation types used are QPSK, 16 QAM and 64 QAM. Simulation results and analysis states that the higher-order modulation is used, throughput the greater, the probability of packet loss is smaller and the end-to-end delay is increased. An increasing number of users will reduce the performance of VoIP, but still within the standard tolerance limits which throughput > 90% and end-to-end delay <150 ms.

**Index Term**—*delay end to end*, *mobile WiMAX*, *OPNET Modeler*, probability of packet loss, *throughput*, VoIP.

## I. PENDAHULUAN

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.

Perkembangan teknologi komunikasi data berbasis pada protokol komunikasi TCP/IP memunculkan inovasi untuk melewati suara dalam jaringan komunikasi data yang saat ini dikenal dengan teknologi *Voice over Internet Protocol (VoIP)*. VoIP merupakan

sebuah teknologi yang memungkinkan komunikasi suara dapat menggunakan jaringan berbasis *Internet Protocol (IP)* untuk ditransmisikan 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. 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.

Simulasi dan analisis dalam skripsi ini dilakukan dengan menggunakan *network simulator Optimized Network Engineering Tool (OPNET)* versi 14.5 untuk mengetahui performansi VoIP melalui *mobile WiMAX 802.16e* berupa parameter *throughput*, probabilitas *packet loss* dan *delay end to end*, pada *mobile WiMAX* akibat dari penggunaan tipe modulasi yang berbeda serta pengaruh perubahan jumlah *user* yang terdapat dalam satu *cell*.

## II. TINJAUAN PUSTAKA

### A. 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* [12].

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.

Dalam analisis performansi VoIP melalui *mobile* WiMAX, digunakan beberapa parameter dari aplikasi VoIP, antara lain :

- *Audio codec* yang digunakan G.711 dengan *bit rate* 64 Kbps, dan *frame rate* 10 ms,
- Format paket VoIP dengan penambahan *header* RTP, UDP, dan IP.

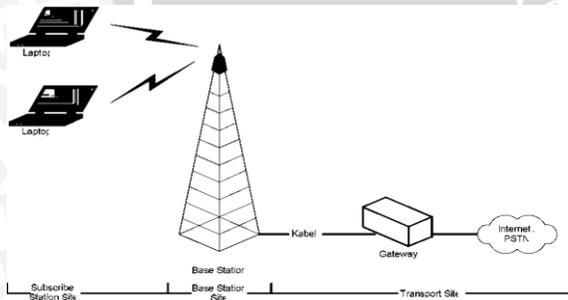
**B. Mobile Worldwide Interoperability for Microwave Access (WiMAX)**

*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* [5].

**C. Konfigurasi Jaringan WiMAX**

Konfigurasi jaringan WiMAX secara umum ditunjukkan pada Gambar 1 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 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 1. Konfigurasi Jaringan WiMAX [14].

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).

**D. 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 [15]:

- **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. 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.

- **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*. Pada standar IEEE 802.16e, pola yang digunakan adalah 16-QAM dan 64-QAM. Untuk teknik modulasi 16-QAM, jumlah bit dalam 1 simbol adalah 4 bit. Sedangkan untuk teknik modulasi 64-QAM, jumlah bit dalam 1 simbol adalah 6 bit, seperti pada Tabel 1 di bawah ini:

Tabel 1. Parameter *data rate* IEEE 802.16e pada kanal 5 MHz

Modulation	Coding	Data Rate (Mbps) at 5 MHz Channel	Coded Bits per Subcarrier
QPSK	1/2	3,17	2
	3/4	4,75	
16-QAM	1/2	6,34	4
	3/4	9,5	
64-QAM	1/2	9,5	6
	3/4	14,26	

(sumber: IEEE 802.16e)

**E. Performansi VoIP melalui Mobile WiMAX**

Parameter VoIP yang diamati adalah :

- *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. *Throughput* dalam suatu jaringan dikatakan baik, jika jumlah data yang diterima dengan benar mencapai lebih dari 90% [10]. Presentase *throughput* ditentukan dengan persamaan:

$$\text{prosentase throughput} = \frac{\text{jumlah data diterima dengan benar (bps)}}{\text{load/jumlah data yang dikirimkan (bps)}} \times 100\% \quad (1)$$

- Probabilitas *packet loss* total merupakan banyaknya probabilitas paket yang diterima dalam keadaan salah di penerima. Probabilitas *packet loss* total aplikasi VoIP pada suatu jaringan ditentukan berdasarkan pada probabilitas *packet loss* pada jaringan tersebut serta probabilitas *packet loss* aplikasi VoIP yang berbasis protokol UDP/RTP/IP.

$$\text{Packet Loss} = \frac{\text{paket dikirim} - \text{paket diterima dg benar}}{\text{paket dikirim}} \quad (2)$$

- *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. Berdasarkan ITU G.114 performansi dikatakan jika *delay end to end* tidak lebih dari 150 ms

**F. OPNET Modeler v.14.5**

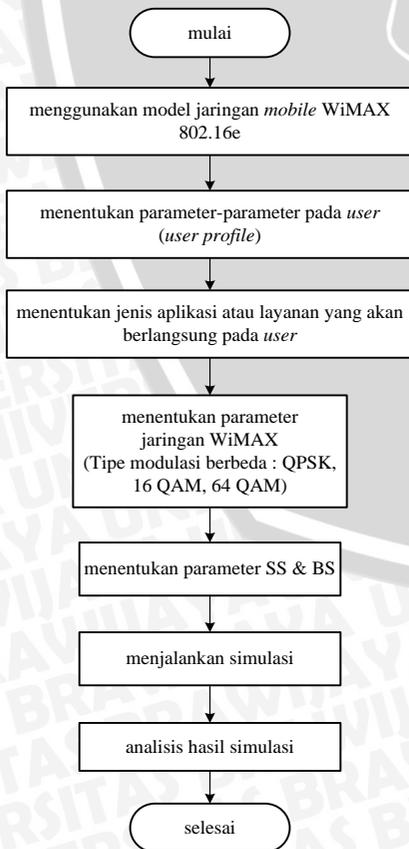
*Optimized Network Engineering Tool* (OPNET) Modeler v.14.5 adalah sebuah *network simulator* yang dirancang oleh OPNET Technologies Inc. Dengan menggunakan simulasi, *network designers* dapat mengurangi biaya penelitian dan memastikan kualitas produk yang optimal. Teknologi terbaru OPNET Modeler menyediakan sebuah lingkungan untuk mendesain protokol dan teknologi juga menguji dan mendemonstrasikan dengan skenario yang realistis sebelum diproduksi. OPNET Modeler mengakselerasikan R&D *network*, dan meningkatkan kualitas produk serta digunakan perusahaan perlengkapan jaringan di dunia untuk meningkatkan desain dari *network devices*, teknologi seperti VoIP, TCP, OSPFv3, MPLS, IPv6 dan lain-lainnya.

**III. METODE PENELITIAN**

Kajian yang digunakan dalam skripsi ini adalah kajian analisis terhadap performansi VoIP melalui *mobile WiMAX* menggunakan *network simulator* OPNET Modeler v.14.5. Data yang diperlukan terdiri dari data sekunder yang bersumber dari buku referensi, jurnal, skripsi, internet dan forum-forum resmi VoIP dan *mobile WiMAX*, serta OPNET Modeler. Data sekunder yang digunakan mencakup standar jaringan *mobile WiMAX*, standar jaringan VoIP, konsep dasar jaringan *mobile WiMAX* serta parameter jaringan *mobile WiMAX*.

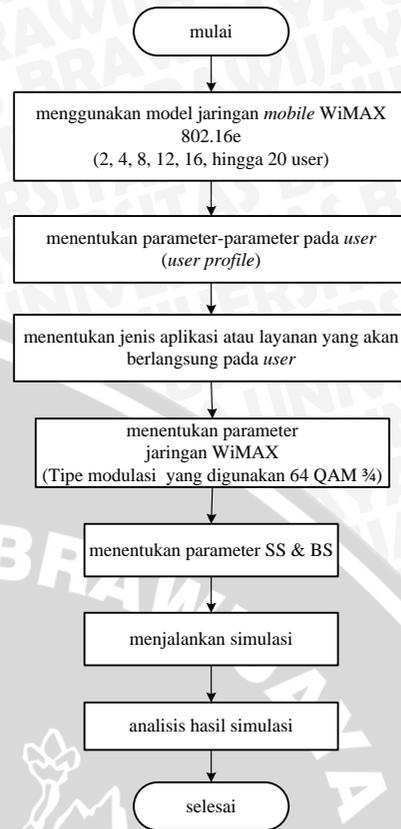
Berikut langkah-langkah simulasi untuk mendapatkan performansi yang diinginkan:

1. Simulasi perbedaan tipe modulasi :



Gambar 2. Diagram alir simulasi perbedaan tipe modulasi

2. Simulasi penambahan jumlah user



Gambar 3. Diagram Alir simulasi penambahan jumlah user

Setelah dilakukan simulasi, selanjutnya adalah pengambilan kesimpulan berdasarkan hasil dari simulasi berdasarkan teori, hasil simulasi dan analisis.

**IV. PERANCANGAN SIMULASI JARINGAN**

Tahap simulasi performansi VoIP melalui *mobile WiMAX* pada simulator OPNET Modeler, diawali dengan melakukan konfigurasi jaringan WiMAX ke dalam network model simulasi. Langkah-langkah dalam melakukan konfigurasi jaringan WiMAX, antara lain menentukan topologi jaringan yang akan digunakan, konfigurasi mobilitas MS, menambahkan trafik dalam model jaringan WiMAX, dan konfigurasi parameter WiMAX ke dalam model jaringan. Tabel 2 menunjukkan parameter-parameter standar yang akan digunakan pada simulasi ini adalah :

Tabel 2. Parameter Mobile WiMAX 802.16e

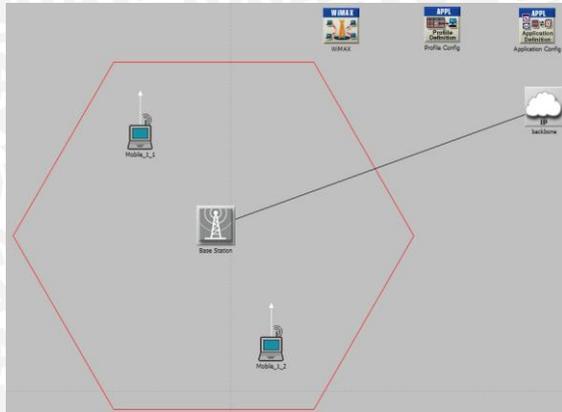
Parameter	Nilai
Frekuensi Kerja	2300 MHz
Metode Transmisi	TDD
Teknik Transmisi	OFDMA
Bandwidth	5 MHz
Teknik Modulasi	QPSK, 16-QAM, 64-QAM
Durasi <i>Cyclic Prefix</i>	1/8
Jumlah <i>Subcarrier</i>	512
Tinggi BS	32 meters
Daya Maksimum BS	35 dBm
Gain Antena BS	16 dBi
Tinggi MS	1.5 meters
Daya Maksimum MS	23 dBm
Gain Antena MS	0 dBi



Mobile Station (MS) merupakan *user* dengan karakteristik *pedestrian* dengan kecepatan rata-rata 0,5 m/s. Simulasi berlangsung selama 5 menit untuk tiap-tiap simulasi.

**A. Simulasi Perbedaan Tipe Modulasi**

Untuk melakukan analisis terhadap parameter *delay end to end*, probabilitas *packet loss* dan *throughput* akan dilakukan enam simulasi berbeda sesuai dengan jenis modulasi dan pengkodean. Tipe modulasi yang akan digunakan mengacu pada Tabel 1.



Gambar 3. Skenario simulasi perbedaan tipe modulasi dengan OPNET Modeler

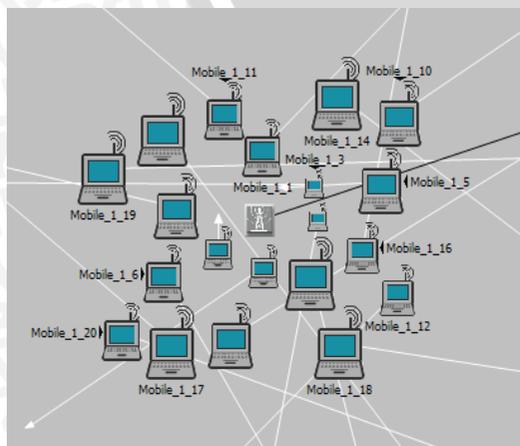
Terdapat dua buah MS, yakni Mobile\_1 dan Mobile\_2 yang bertindak sebagai sumber dan tujuan panggilan. Kedua MS tersebut berada di dalam jangkauan sebuah BS (terdapat dalam satu *cell*) dan mobilitas kedua MS hanya terjadi di dalam *cell* tersebut.

**B. Simulasi Penambahan Jumlah User**

Simulasi dilakukan dengan melakukan penambahan jumlah *user* yang terdapat dalam jangkauan 1 *cell* Base Station (BS). Penambahan dilakukan dengan mengacu pada Tabel 3 di bawah ini :

Tabel 3. Parameter Skenario penambahan jumlah *user*

Skenario	Kecepatan (m/s)	Durasi panggilan tiap <i>user</i>	Jumlah <i>user</i>
1	0,5 m/s	300 detik	2
2	0,5 m/s	300 detik	4
3	0,5 m/s	300 detik	8
4	0,5 m/s	300 detik	12
5	0,5 m/s	300 detik	16
6	0,5 m/s	300 detik	20



Gambar 4. Skenario penambahan jumlah *user* (20 *user*)

Penempatan lokasi *user* dan mobilitas dari masing-masing *user* dilakukan secara acak (*random*) melalui pengaturan pada

OPNET Modeler v.14.5. Pada skenario ini, dari jumlah *user* yang terdapat dalam *cell* tersebut akan dibagi dua yakni sebagian bertindak sebagai sumber panggilan dan sebagian sebagai tujuan panggilan.

**V. HASIL DAN PEMBAHASAN**

Performansi VoIP melalui *mobile* WiMAX yang dibahas dalam skripsi ini memiliki variable bebas tipe modulasi dan pengkodean, serta jumlah *user* dalam satu *cell*. Performansi yang diamati meliputi *throughput*, probabilitas *packet loss*, dan *delay end to end* dengan menggunakan OPNET Modeler v.14.5.

Parameter yang digunakan untuk menganalisis performansi VoIP melalui *mobile* WiMAX adalah menggunakan standar IEEE 802.16e. Hasil simulasi, analisis dan pembahasan diuraikan sebagai berikut:

**A. Analisis skenario perbedaan tipe modulasi**

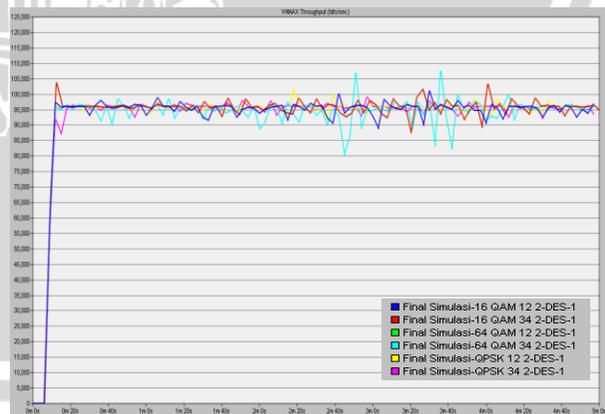
Hasil simulasi yang dihasilkan oleh OPNET Modeler secara otomatis merupakan nilai rata-rata dari keseluruhan durasi simulasi, sehingga setelah dirata-rata dari keseluruhan durasi simulasi, yakni 5 menit, *load* yang dibangkitkan Mobile\_1 adalah sebesar 92,764,27 bps.



Gambar 4. Grafik *load* panggilan yang dibangkitkan Mobile\_1

**- Throughput**

Pada Gambar 5 menunjukkan grafik *throughput* yang diterima pada sisi Mobile\_2



Gambar 5. Grafik *throughput* yang diterima Mobile\_2

Maka *throughput* dari tipe modulasi QPSK 1/2 dapat ditentukan dengan :

$$throughput = \frac{91.621,87}{92.764,27} \times 100\% = 98,7685\%$$

Dengan cara yang sama diperoleh nilai *throughput* dari berbagai jenis tipe modulasi lain seperti QPSK 3/4, 16 QAM 1/2, 16 QAM 3/4, 64 QAM 1/2, dan 64 QAM 3/4. Hasil analisis tersebut ditunjukkan pada Tabel 6 berikut ini:

**Tabel 4** Throughput simulasi perbedaan tipe modulasi

Tipe Modulasi	Throughput (bps)	Throughput (%)
QPSK 1/2	91.621,87	98,7685
QPSK 3/4	92.377,07	99,5826
16 QAM 1/2	92.485,87	99,6999
16 QAM 3/4	92.649,07	99,8758
64 QAM 1/2	92.649,07	99,8758
64 QAM 3/4	92.690,67	99,9207

Dari data pada Tabel 4 tersebut dapat dianalisis bahwa semakin tinggi orde modulasi yang digunakan, maka throughput yang diterima Mobile\_2 menjadi semakin besar. Tampak bahwa pada orde modulasi yang paling rendah yaitu pada QPSK 1/2, throughput yang dihasilkan sebesar 91.621,87 bps, yang merupakan 98,7685% dari jumlah bit data yang dikirim sumber Mobile\_1. Begitu pula pada orde modulasi yang paling tinggi yaitu pada 64 QAM 3/4, throughput yang dihasilkan sebesar 92.690,67 bps, yang merupakan 99,9207% dari jumlah bit data yang dikirimkan oleh sumber Mobile\_1.

**- Probabilitas Packet Loss**

Probabilitas packet loss total merupakan probabilitas banyaknya paket yang diterima dalam keadaan salah di penerima. Standar G.711 dengan frame size 10 ms, mengirimkan 100 packet per sekon (pps). Dalam simulasi ini didapatkan, jumlah paket rata-rata yang dikirimkan oleh sumber Mobile\_1 selama simulasi berlangsung adalah 96.64 paket.

Berdasarkan data yang diperoleh dari hasil simulasi, dapat ditentukan probabilitas packet loss pada tipe modulasi QPSK 1/2 adalah :

$$Packet\ loss = \frac{96,64 - 95,45}{96,64} = 0,0123$$

Dengan cara yang sama diperoleh nilai probabilitas packet loss untuk berbagai jenis tipe modulasi yang lain, ditunjukkan dalam Tabel 5 di bawah ini :

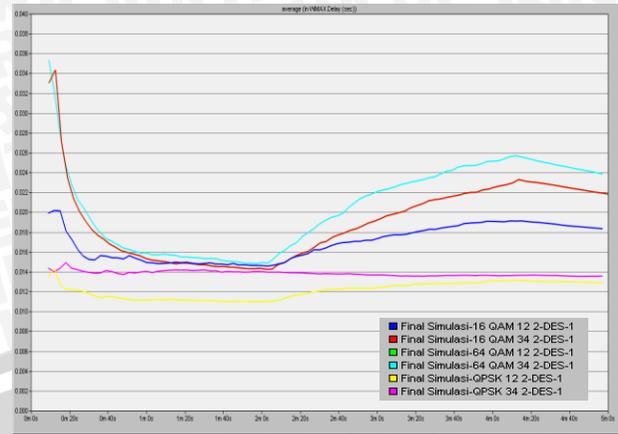
**Tabel 5** Probabilitas packet loss simulasi perbedaan tipe modulasi

Tipe Modulasi	Paket data yang diterima (pps)	Probabilitas Packet Loss
QPSK 1/2	95,45	0,0123
QPSK 3/4	96,24	0,0041
16 QAM 1/2	96,35	0,0030
16 QAM 3/4	96,52	0,0012
64 QAM 1/2	96,52	0,0012
64 QAM 3/4	96,56	0,0008

Berdasarkan data pada Tabel 5 dapat dianalisis bahwa semakin tinggi orde modulasi yang digunakan, maka probabilitas packet loss yang terjadi akan semakin besar. Pada orde modulasi yang paling rendah yaitu pada QPSK 1/2, probabilitas packet loss yang diperoleh adalah 0,0123. Sedangkan pada orde modulasi yang paling tinggi yaitu pada 64 QAM 3/4, probabilitas packet loss yang dihasilkan sebesar 0,0008.

**- Delay end to end**

Delay end to end merupakan penjumlahan delay-delay yang ada dalam perjalanan paket data dari sumber ke tujuan. Pada simulasi ini, delay dihitung dari Mobile\_1 ke Mobile\_2. Waktu pembangkitan panggilan VoIP ditentukan 10 detik setelah simulasi dimulai, sehingga delay pada Gambar 6 dimulai dari detik ke 10 hingga simulasi selesai. Gambar 6 di bawah ini menunjukkan grafik delay end to end rata-rata hasil simulasi dengan menggunakan tipe modulasi berbeda.



**Gambar 6** Grafik delay end to end rata-rata hasil simulasi dengan menggunakan tipe modulasi berbeda

Dari web report yang dibuat OPNET Modeler, diperoleh nilai rata-rata delay end to end yang tercantum dalam Tabel 6 berikut :

**Tabel 6** Average Delay End to End Simulasi Perbedaan Tipe Modulasi

Tipe Modulasi	Average Delay end to end (ms)
QPSK 1/2	12,872
QPSK 3/4	13,569
16 QAM 1/2	18,341
16 QAM 3/4	21,532
64 QAM 1/2	21,613
64 QAM 3/4	23,842

Berdasarkan data pada Tabel 6 dapat dianalisis bahwa semakin tinggi orde modulasi yang digunakan, maka delay end to end yang terjadi pada VoIP melalui mobile WiMAX menjadi semakin besar. Pada orde modulasi yang paling rendah yaitu pada QPSK 1/2, delay end to end yang dibutuhkan selama 12,872 ms, sedangkan pada orde modulasi yang paling tinggi yaitu pada 64 QAM 3/4, delay end to end yang dibutuhkan selama 23,842 ms.

**B. Analisis skenario penambahan jumlah user**

Dari web report yang dibuat OPNET Modeler, diperoleh keseluruhan nilai rata-rata parameter performansi VoIP, yaitu delay end to end, throughput, dan probabilitas packet loss yang tercantum dalam Tabel 7 dibawah ini:

**Tabel 7** Performansi skenario penambahan jumlah user

Skenario	Jumlah user	Throughput (%)	Probabilitas Packet Loss
1	2	99,9207	0,0008
2	4	99,4702	0,0053
3	8	99,4487	0,0055
4	12	99,3829	0,0062
5	16	99,2867	0,0072
6	20	89,2987	0,1070

Berdasarkan hasil simulasi pada Tabel 7, pada saat terdapat 2 user yang melakukan panggilan prosentase throughput yang terjadi adalah sebesar 99,9207% dengan probabilitas packet loss 0,0008, seiring pertambahan jumlah user yang semakin bertambah hingga terdapat 20 user melakukan panggilan secara serentak diperoleh prosentase throughput sebesar 89,2987% dengan probabilitas packet loss 0,1070. Berdasarkan data tersebut dapat disimpulkan bahwa semakin banyak jumlah user yang melakukan panggilan dalam satu cell maka prosentase throughput mengalami penurunan secara linier, dan hal ini diiringi dengan

meningkatnya probabilitas *packet loss* yang terjadi. Tabel 8 di bawah ini adalah *delay end to end* rata-rata hasil simulasi:

Tabel 8. *Delay end to end* rata-rata scenario penambahan jumlah *user*

Skenario	Jumlah <i>user</i>	<i>Delay End to End</i> (detik)
1	2	0,0238
2	4	0,0296
3	8	0,0366
4	12	0,0391
5	16	0,0403
6	20	0,0811

Penambahan jumlah *user* ini juga berpengaruh terhadap meningkatnya *delay end to end* yang terjadi selama panggilan berlangsung. Pada saat terdapat 2 *user* yang melakukan panggilan *delay end to end* yang terjadi adalah sebesar 0,0238 detik dan terus bertambah seiring dengan penambahan jumlah *user* hingga diperoleh *delay end to end* sebesar 0,0811 detik ketika jumlah *user* mencapai 20 *user*.

## VI. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil simulasi dengan menggunakan *network simulator OPNET Modeler* dan hasil analisis, maka didapatkan beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. *Network Simulator OPNET Modeler* versi 14.5 dapat digunakan untuk mengamati performansi VoIP melalui *mobile WiMAX 802.16e*. Metodologi yang dilakukan adalah dengan membuat topologi jaringan WiMAX, kemudian mengkonfigurasi mobilitas *user* serta mengkonfigurasi parameter jaringan WiMAX ke dalam model jaringan dan mengimplementasikan jenis aplikasi/layanan yang akan diamati ke dalam model jaringan WiMAX.
2. Penggunaan tipe modulasi yang berbeda pada *mobile WiMAX*, didapatkan bahwa tipe modulasi QPSK  $\frac{1}{2}$  memiliki *throughput* paling kecil yaitu 91.621,87 bps, sedangkan *throughput* terbesar dimiliki tipe modulasi 64 QAM  $\frac{3}{4}$  yaitu 92.690,67 bps. Ketika dibandingkan dengan data yang dikirimkan dari sisi sumber didapatkan bahwa QPSK  $\frac{1}{2}$  memiliki *throughput* sebesar 98,7685% dan 64 QAM  $\frac{3}{4}$  memiliki *throughput* sebesar 99,9207%. Sehingga *throughput* yang terjadi pada tiap tipe modulasi masih dapat ditoleransi karena *throughput* masih > 90 %.
3. Pada parameter probabilitas *packet loss*, didapatkan bahwa tipe modulasi QPSK  $\frac{1}{2}$  memiliki probabilitas *packet loss* paling besar yaitu 0,0123, sedangkan probabilitas *packet loss* terkecil dimiliki tipe modulasi 64 QAM  $\frac{3}{4}$  yaitu 0,0008.
4. Total *delay end to end* pada analisis performansi VoIP melalui *mobile WiMAX* dipengaruhi oleh tipe modulasi

yang digunakan. *Delay end to end* terlama adalah 23,842 ms dengan menggunakan tipe modulasi 64 QAM  $\frac{3}{4}$ , sedangkan *delay end to end* tercepat terdapat pada tipe modulasi QPSK  $\frac{1}{2}$  dengan *delay* yang terjadi adalah 12,872 ms. *Delay* yang terjadi pada tiap tipe modulasi masih dapat ditoleransi pada aplikasi VoIP, karena *delay* maksimum kurang dari 150 ms.

5. Penambahan jumlah *user* berpengaruh terhadap performansi VoIP melalui *mobile WiMAX*. Prosentase *throughput* akan menurun dengan bertambahnya jumlah *user* yang melakukan panggilan dalam sebuah *cell*, penurunan ini terjadi pada tiap-tiap tipe modulasi yang digunakan. Hal ini seiring dengan bertambahnya probabilitas *packet loss* yang terjadi karena penambahan jumlah *user*. Pada parameter *delay end to end*, semakin bertambahnya jumlah *user*, maka *delay* yang dibutuhkan akan semakin besar. Penambahan *delay end to end* ini juga terjadi pada tiap-tiap tipe modulasi yang digunakan..

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Andrews, Jeffrey G. 2006. *Orthogonal Frequency Division Multiple Access (OFDMA)*. United States : Pearson Education, Inc.
- [2] Chang, Xinjie. 1999. *Network Simulation with OPNET*, Proceedings of the 1999 Winter Simulation Conference.
- [3] Chen, Kwang-Cheng, J. Roberto B. De Marca. 2008. *Mobile WiMAX*. London : John Wiley & Sons, Inc.
- [4] Forouzan, Behrouz A. 2000. *Data Communications and Networking 2<sup>nd</sup> edition*. Mc Graw-Hill International Edition.
- [5] Kumar, Amitabh. 2008. *Mobile Broadcasting with WiMAX : Principles, Technology, and Applications*. Oxford : Elsevier Inc.
- [6] 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>
- [7] Prasad, Ramjee. 2004. *OFDM for wireless communications systems*. London : Artech House.
- [8] Setyawahyudi, Widhi. 2011. Performansi Voice over Internet Protocol (VoIP) melalui *mobile WiMAX*. Skripsi
- [9] S. Sengupta, M. Chatterjee, dan S. Ganguly. 2008. *Improving Quality of VoIP Streams over WiMAX*. IEEE Transactions on Computers.
- [10] Schwartz, Misha. 1987. *Telecommunication networks : protocols, modeling and analysis*. Columbia University: Prentice Hall
- [11] Siyanta. 2005. *Sistem Keamanan Pada Worldwide Interoperability for Microwave Access (WiMAX)*. IlmuKomputer.com.
- [12] Sugeng, Winarno. 2007. *Membangun telepon berbasis VoIP*. Informatika: Bandung.
- [13] Srikanth, Kumaran V., Manikandan C., Murugesapandian. 2007. *Orthogonal Frequency Division Multiple Access*. Anna University Press, Chennai, India.
- [14] Wibisono, Gunawan dan Gunadi Dwi Hantoro. 2009. *Peluang dan Tantangan Bisnis WiMAX di Indonesia*. Bandung : Informatika.
- [15] WiMAX Forum. 2006. *Mobile WiMAX - Part I : A Technical Overview and Performance Analysis*.
- [16] WiMAX Forum. 2006. *Mobile WiMAX : The Best Personal Broadband Experience*.
- [17] Jinhua Guo, W. Xiang., and Shengquan Wang. "Reinforce Networking Theory with OPNET Simulation", Journal of Information Technology Education, 2007, Vol. 6