

## BAB IV

### HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab IV menjelaskan hasil dan pembahasan dari penelitian. Data yang disajikan merupakan hasil dari analisis menggunakan network simulator *Optimized Network Engineering Tool* (OPNET) Modeler yang dirancang oleh OPNET Technologies Inc. Pada penelitian ini membahas tentang pengaruh penggunaan teknik modulasi yang berbeda pada jaringan *mobile WiMAX* untuk layanan *Voice Over Internet Protocol* (VoIP). Analisis yang dilakukan meliputi parameter *delay end to end*, *packet loss* dan *throughput*.

Pada bab ini juga akan ditampilkan hasil analisis performansi VoIP melalui jaringan *mobile WiMAX* dengan menggunakan analisis perhitungan yang mengacu pada skripsi yang berjudul *Performansi Voice over Internet Protocol (VoIP) Melalui Mobile WiMAX* karya Widhi Setya Wahyudi (2010) dan *Analisis Performansi Teknik Modulasi pada Jaringan Mobile WiMAX untuk layanan Video Conference* karya Anisari Mei Prihatini (2012). Hal ini dilakukan sebagai perbandingan terhadap hasil simulasi dengan menggunakan *network simulator* OPNET Modeler v.14.5.

#### 4.1 Konfigurasi Perangkat

Pada bagian ini akan dibahas mengenai konfigurasi perangkat yang digunakan untuk menunjang jalannya penelitian. Perangkat yang digunakan terdiri atas *Personal Computer* (PC)/Laptop dan *software* OPNET Modeler v.14.5.

##### 4.1.1 Instalasi software OPNET Modeler v.14.5

OPNET Modeler merupakan software yang memiliki fitur beragam dan komprehensif yang memudahkan proses mendesain skenario jaringan di dunia nyata kedalam suatu model simulasi jaringan. Pada OPNET Modeler juga terdapat beberapa metode yang dapat digunakan untuk membuat topologi jaringan *WiMAX*, dan dalam penelitian ini digunakan metode *Wireless Network Deployment* (WND). Sebelum tahap instalasi dilakukan perlu diketahui bahwa terdapat spesifikasi minimum yang diperlukan oleh OPNET Modeler v.14.5 agar dapat bekerja secara optimal. Tabel 4.1 menunjukkan

spesifikasi minimum yang dibutuhkan untuk menjalankan OPNET v.14.5 pada perangkat PC/Laptop.

**Tabel 4.1** Spesifikasi minimum perangkat PC/Laptop

| Nama                                  | Spesifikasi   |
|---------------------------------------|---|
| Supported platform for Microsoft      | Windows XP Professional   |
| Required System Patches for Microsoft | <i>Service Pack 1</i> (diperlukan)<br><i>Service Pack 2</i> (Namun usahakan menggunakan SP2, sebab untuk instalasi compiler, VS2005, memerlukan SP2)  |
| System configuration                  | <b>RAM</b> : minimal 512 MB, 1-2 GB (disarankan)<br><b>System File Space</b> : 3 GB<br><b>Working File Space</b> : (100 MB or more for temporary and log files)<br><b>Display Resolution</b> : 1024x768 minimum |
| Supporting software (compiler)        | Microsoft Visual C/C++ 6.x, Visual Studio .NET 2003, atau Visual Studio 2005  |

(sumber: <http://www.opnet.com>,2016)

## 4.2 Konfigurasi Jaringan VoIP melalui mobile WiMAX









Pada konfigurasi jaringan VoIP melalui *mobile* WiMAX akan ditentukan komponen-komponen jaringan pada software OPNET v.14.5, karakteristik trafik yang akan dibangkitkan serta penentuan parameter-parameter simulasi yang diimplementasikan dalam model jaringan yang akan dirancang untuk mengetahui performansi VoIP melalui *mobile* WiMAX.

### 4.2.1 Komponen Jaringan

Pada proses simulasi VoIP melalui *mobile* WiMAX pada OPNET Modeler diperlukan model-model jaringan yang merupakan representasi dari kondisi jaringan sebenarnya yang disebut dengan *node model*. Dalam *node model* tersebut telah terdapat konfigurasi-konfigurasi yang disesuaikan dengan fungsi masing-masing *node model* dan telah disesuaikan dengan standar *mobile* WiMAX 802.16e. Tabel 4.2 merupakan komponen-

komponen jaringan (*node models*) yang akan digunakan dalam simulasi menggunakan OPNET Modeler:

**Tabel 4.2** Komponen-komponen jaringan yang digunakan dalam simulasi

| No | Nama                                | Fungsi  | Simbol  |
|----|-------------------------------------|---|---|
| 1  | Wimax_bs_ethernet<br>4_slip4_router | model yang digunakan untuk merepresentasikan <i>Base Station</i> (BS) pada WiMAX. BS tipe ini memiliki 4 <i>interface</i> ethernet dan 4 <i>interface</i> Serial Line IP (SLIP) | <br>Base Station         |
| 2  | Wimax_ss_wkstn                      | model yang digunakan untuk merepresentasikan <i>Mobile Station</i> (MS) sebagai sumber dan tujuan dengan menggunakan aplikasi TCP/IP  | <br>Mobile Station       |
| 3  | Router_slip64_dc                    | model yang digunakan untuk merepresentasikan gateway yang menghubungkan dengan jaringan internet  | <br>IP backbone          |
| 4  | Profil Config                       | model yang digunakan untuk menentukan perilaku yang akan terjadi pada <i>user</i> atau disebut ( <i>user profile</i> )  | <br>Profile Config     |
| 5  | Application Config                  | model yang digunakan untuk menentukan jenis aplikasi atau layanan yang akan berlangsung pada <i>user</i> , dalam skripsi ini berupa layanan VoIP                                | <br>Application Config |
| 6  | WiMAX Config                        | model yang digunakan untuk melakukan pengaturan konfigurasi parameter-parameter jaringan WiMAX  | <br>WiMAX              |
| 7  | Mobility Config                     | model yang digunakan untuk menentukan kecepatan, arah pergerakan, jarak, dan hal lain terkait dengan pergerakan/mobilitas <i>user</i> .   | <br>Mobility Config    |
| 8  | PPP                                 | <i>Point-to-Point Protocol</i> ( <i>duplex link</i> ) adalah sebuah protokol enkapsulasi paket jaringan yang banyak digunakan pada <i>wide area network</i> (WAN)               | <br>PPP                |

#### 4.2.2 Spesifikasi mobile WiMAX

Untuk memperoleh hasil simulasi yang mendekati kondisi nyata, maka konfigurasi model-model dalam simulasi harus sesuai dengan spesifikasi-spesifikasi jaringan mobile WiMAX 802.16e. Tabel 4.3 menunjukkan data-data yang akan digunakan sebagai acuan dalam menjalankan simulasi ini adalah:

**Tabel 4.3** Spesifikasi Mobile WiMAX 802.16e dalam simulasi

| Parameter                               | Value      |
|---|------------|
| Operating Frequency                     | 2500 MHz   |
| Duplex                                  | TDD        |
| Channel <i>Bandwidth</i>                | 10 MHz     |
| BS Height                               | 32 meters  |
| <i>Mobile Terminal</i> Height           | 1.5 meters |
| BS Antenna Gain                         | 15 dBi     |
| MS Antenna Gain                         | -1 dBi     |
| BS Maximum Power Amplifier Power        | 43 dBm     |
| <i>Mobile Terminal</i> Maximum PA Power | 23 dBm     |
| BS Noise Figure                         | 4 dB       |
| MS Noise Figure                         | 7 dB       |

(WiMAX Forum, 2006)

Dalam Tabel 4.3 akan diimplementasikan ke dalam model-model simulator OPNET V.14.5 yang telah ditentukan sebelumnya, antara lain pada model *Wimax\_bs\_ethernet4\_slip4\_router* (yang berfungsi sebagai representasi Base Station), model *Wimax\_ss\_wkstn* (yang berfungsi sebagai representasi Mobile Station) dan model *WiMAX\_Config* (merupakan konfigurasi global dari jaringan WiMAX, antara lain meliputi tipe layanan dan *PHY profile*).

Pada tabel 4.4 merupakan parameter OFDMA untuk *mobile* WiMAX sesuai dengan standart IEEE 802.16e yaitu:

**Tabel 4.4** Parameter OFDMA

| Parameter                             | Value  |
|---------------------------------------|--------|
| System Channel <i>Bandwidth</i> (MHz) | 10 MHz |
| Sampling Frequency ( $F_p$ in MHz)    | 11.2   |
| FFT Size ( $N_{FFT}$ )                | 1024   |



| Parameter                     | Value                  |
|-------------------------------|------------------------|
| Used Size ( $N_{used}$ )      | 841                    |
| Frequency Sampling ( $F_s$ )  | $8/7 \times bandwidth$ |
| Factor of Repetition (R)      | 6                      |
| Factor Of Sampling            | 28/25                  |
| Number of Sub-Channel         | 16                     |
| Sub-Carrier Frequency Spacing | 10.94 kHz              |

(Sumber: WiMAX Forum, 2006)

### 4.3 Analisis perhitungan VoIP melalui *Mobile* WiMAX

Pada analisis performansi VoIP melalui *mobile* WiMAX dihitung beberapa parameter yang akan digunakan sebagai perbandingan hasil menggunakan simulasi OPNET melalui *mobile* WiMAX dengan hasil secara perhitungan. Parameter-parameter perhitungan ini meliputi perhitungan kebutuhan *bandwidth* dalam VoIP, *path loss*, kapasitas kanal, BER, Eb/No, *delay end to end*, *packet loss*, *throughput* serta jarak jangkauan antara *base station* dan *subscriber station*.

#### 4.3.1 Analisis Paket Data Aplikasi VoIP

Untuk analisis performansi VoIP melalui *mobile* WiMAX digunakan *Audio codec* G.711 dengan *bandwidth* 64 Kbps dan *frame rate* 10 ms. Untuk mencari nilai *payload* maka digunakan Persamaan 2.6:

$$P_{LA} = B_{codec} \times \text{frame rate} = 64 \times 10^3 \text{ bps} \times 10 \times 10^{-3} \text{ s} = 640 \text{ bit}$$

Maka Payload VoIP = 640 bit = 80 byte

Setelah diketahui besar *payload* paket data pada audio maka banyaknya bit yang terisi dalam paket VoIP dapat dihitung dengan Persamaan 2.7 :

$$P_{A-size} = \text{header}_{IP/UDP/RTP} + P_{LA} = 320 \text{ bit} + 640 \text{ bit} = 960 \text{ bit}$$

Sedangkan jumlah paket audio yang dihasilkan tiap detik dihitung dengan Persamaan 2.8 :

$$P_A = \frac{B_{codec}}{P_{LA}} = \frac{64 \times 10^3}{640} = 100 \text{ packet per second}$$

Sehingga *bandwidth* audio dapat dihitung dengan Persamaan 2.9 :

$$B_A = P_{A-size} \times P_A = 960 \times 100 = 96000 \text{ bit per second} = 96 \text{ Kbps}$$

UNIVERSITAS BRAWIJAYA



### 4.3.2 Analisis Path Loss

*Path loss* mencakup semua pelemahan yang diperkirakan akan dialami sinyal ketika berjalan dari *base station* ke *subscriber station*. *Path loss* dapat terjadi dikarenakan kondisi *non-line of sight* (NLOS). Kondisi NLOS merupakan kondisi dimana terdapat banyak penghalang sinyal seperti bangunan, pohon yang terletak diantara *transmitter* dan *receiver*. Penghalang sinyal menyebabkan sinyal yang telah dikirim mengalami pemantulan, difraksi maupun *scattering* sehingga sinyal tersebut memiliki lebih dari satu jalur dari pemancar ke penerima. Dengan daya penerima minimum yang disesuaikan dengan Peraturan Dirjen Pos dan Telekomunikasi pada Tabel 2.5, maka *path loss* referensi dapat dihitung dengan persamaan 2.15:

$$P_L = P_t + G_t + G_r - P_r = 43 + 15 + (-1) - (-85) = 142 \text{ dB}$$

Jadi dengan daya penerima minimum QPSK  $\frac{1}{2}$  sebesar -85 dB, dengan daya maksimum BS 43 dBm, penguatan antena BS 15 dBi maka didapatkan *path loss* sebesar 142 dB. Dengan melakukan perhitungan pada tipe modulasi yang lain pada kondisi yang sama akan didapatkan *path loss* saluran yang dilihat dalam Tabel 4.5 berikut :

Tabel 4.5 Hasil perhitungan *path loss*

| Tipe Modulasi        | Batas Daya Terima Minimum (dBm) | Path Loss (dB) |
|----------------------|---------------------------------|----------------|
| QPSK $\frac{1}{2}$   | -85                             | 142            |
| QPSK $\frac{3}{4}$   | -83                             | 140            |
| 16-QAM $\frac{1}{2}$ | -78                             | 135            |
| 16-QAM $\frac{3}{4}$ | -76                             | 133            |
| 64-QAM $\frac{2}{3}$ | -71                             | 128            |
| 64-QAM $\frac{3}{4}$ | -70                             | 127            |

(Sumber : perhitungan)

### 4.3.3 Analisis Signal to noise ratio (SNR)

Pada teknologi mobile WiMAX besarnya SNR sangat mempengaruhi kualitas sinyal yang diterima pada sisi penerima, hal ini berkaitan juga dengan tipe modulasi yang digunakan. Semakin besar tipe modulasi yang digunakan maka SNR juga akan semakin besar. Untuk *mobile WiMAX* telah ditetapkan standar Receiver SNR oleh IEEE 802.16e seperti pada tabel 4.6 berikut :





Tabel 4.6 Receiver SNR Standard IEEE 802.16e

| Tipe Modulasi | Receiver SNR (dB) | Receiver SNR (Watt) |
|---------------|-------------------|---------------------|
| QPSK $1/2$    | 9,4               | 8,71                |
| QPSK $3/4$    | 11,2              | 13,18               |
| 16-QAM $1/2$  | 16,4              | 43,65               |
| 16-QAM $3/4$  | 18,2              | 66,07               |
| 64-QAM $2/3$  | 22,7              | 186,21              |
| 64-QAM $3/4$  | 24,4              | 275,42              |

(Sumber: Standard IEEE 802.16e)

#### 4.3.4 Penentuan *Bit rate*

Untuk melakukan perhitungan *bit rate* pada tipe modulasi yang berbeda-beda, yaitu QPSK, 16-QAM dan 64-QAM diperlukan perhitungan durasi simbol OFDMA yaitu:

$$T_s = T_b + T_g$$

$$T_b = \frac{N_{FFT}}{BW \times \eta} \text{ dan } T_g = G \times T_b$$

Karena pada penelitian ini tidak memperhitungkan pengaruh panjang *cyclic prefix*, maka nilai G dianggap tidak ada, sehingga,

$$T_s = T_b$$

$$T_s = \frac{N_{FFT}}{BW \times \eta}$$

$$T_s = \frac{1024}{10^7 \times \frac{28}{25}} = 9,1426 \times 10^{-5} \text{ s}$$

Maka perhitungan *bit rate* untuk modulasi QPSK dengan *coding rate* ( $c_r$ )  $1/2$ , dengan  $N_{used}$  sebesar 841, bm atau jumlah bit yang digunakan tiap modulasi adalah 2, dan  $T_s = 9.1426 \times 10^{-5} \text{ s}$  adalah:

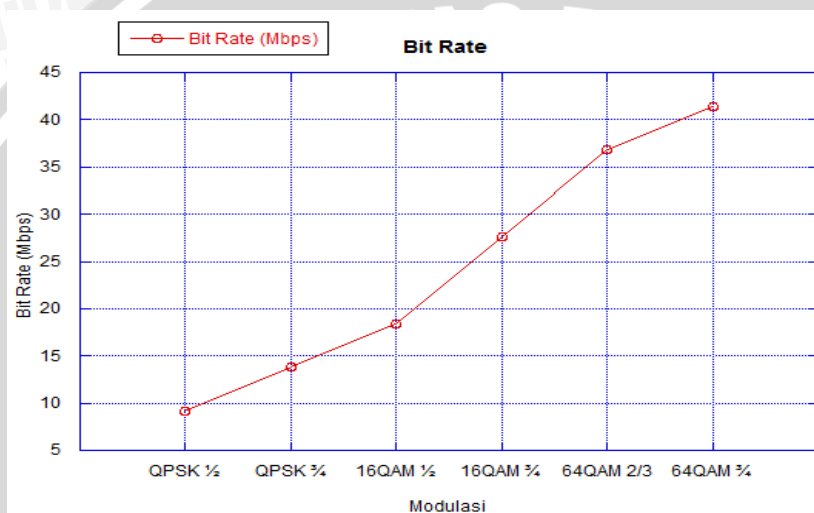
$$\begin{aligned} \text{bit rate}(QPSK \ 1/2) &= N_{used} \times bm \times \frac{c_r}{T_s} \\ &= 841 \times 2 \times \frac{\frac{1}{2}}{9,1426 \times 10^{-5}} \\ &= 9198437,5 \text{ bps} \\ &= 9,2 \text{ Mbps} \end{aligned}$$



**Tabel 4.7** Hasil Perhitungan *Bit rate* untuk tiap modulasi yang berbeda

| Type Modulasi       | <i>Bit rate</i> (Mbps) |
|---------------------|------------------------|
| QPSK $\frac{1}{2}$  | 9,2                    |
| QPSK $\frac{3}{4}$  | 13,8                   |
| 16QAM $\frac{1}{2}$ | 18,4                   |
| 16QAM $\frac{3}{4}$ | 27,6                   |
| 64QAM $\frac{2}{3}$ | 36,8                   |
| 64QAM $\frac{3}{4}$ | 41,4                   |

(Sumber: Perhitungan)

**Gambar 4.1** Grafik pengaruh penggunaan teknik modulasi terhadap nilai Bit Rate

*Bit rate* dipengaruhi oleh banyaknya bit yang digunakan dalam modulasi, semakin banyak bit yang digunakan maka nilai *bit rate* akan semakin besar. Penggunaan Tipe Modulasi yang berbeda juga memberikan pengaruh terhadap nilai *Bit rate* yang dihasilkan semakin tinggi tipe modulasi yang digunakan tentunya memberikan nilai *Bit rate* yang semakin besar.

#### 4.3.5 Analisis Kapasitas Kanal

Dalam analisis kapasitas kanal dibutuhkan parameter *sistem SNR* yang telah dihitung sebelumnya. Pada perhitungan kapasitas kanal ini menggunakan teorema Shannon yang terdapat pada Persamaan 2.14. Sehingga kapasitas kanal sistem untuk jumlah subcarrier 1024 dengan *sistem SNR* = 8,71 adalah sebagai berikut :

$$C = B_{kanal} \log_2(1 + SNR_{sistem}) = 10 \times 10^6 \cdot \log_2(1 + 8,71) = 24,25 \text{ Mbps}$$



**Tabel 4.8** Hasil perhitungan kapasitas kanal

| Type Modulasi       | Kapasitas Kanal (Mbps) |
|---------------------|------------------------|
| QPSK $\frac{1}{2}$  | 32,79                  |
| QPSK $\frac{3}{4}$  | 38,26                  |
| 16QAM $\frac{1}{2}$ | 54,81                  |
| 16QAM $\frac{3}{4}$ | 60,67                  |
| 64QAM $\frac{2}{3}$ | 75,49                  |
| 64QAM $\frac{3}{4}$ | 81,11                  |

(Sumber: Perhitungan)

Besarnya kapasitas kanal bergantung dari nilai *signal to noise ratio*, semakin tinggi orde modulasi akan meningkatkan *signal to noise ratio* sehingga kapasitas kanal akan semakin besar.

#### 4.3.6 Analisis Bit Error Rate (BER) pada jaringan mobile WiMAX

Dalam perhitungan BER diperlukan nilai  $E_b/N_o$  (*Energy bit to Noise Ratio*).  $E_b/N_o$  merupakan perbandingan energi sinyal per bit terhadap *noise*.

Untuk memperoleh nilai  $E_b/N_o$  dengan menggunakan teknik modulasi QPSK  $\frac{1}{2}$  dengan nilai SNR = 9,4 dB yang mempunyai data *rate* sebesar 9,2 Mbps dapat diperoleh dengan perhitungan sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 \frac{E_b}{N_o} &= \frac{S}{N} - 10 \log \frac{B}{R} \\
 &= 9,4 - 10 \log \frac{10 \times 10^6}{9,2 \times 10^6} \\
 &= 9,4 - 0,36 \\
 &= 9,037 \text{ dB}
 \end{aligned}$$

Dengan cara perhitungan yang sama untuk modulasi QPSK  $\frac{1}{2}$ , QPSK  $\frac{3}{4}$ , 16QAM  $\frac{1}{2}$ , 16QAM  $\frac{3}{4}$ , 64QAM  $\frac{2}{3}$ , 64QAM  $\frac{3}{4}$  yang mempunyai nilai SNR dan data *rate* yang telah dihitung sebelumnya, maka diperoleh hasil analisis nilai  $E_b/N_o$  yang ditunjukkan pada tabel 4.9 berikut :

**Tabel 4.9** Hasil Perhitungan *Energy bit per Noise Ratio* dengan tipe modulasi berbeda

| Type Modulasi      | $E_b/N_o$ (dB) |
|--------------------|----------------|
| QPSK $\frac{1}{2}$ | 9,037878       |
| QPSK $\frac{3}{4}$ | 12,59879       |



| Tipe Modulasi | Eb/Eo (dB) |
|---------------|------------|
| 16QAM ½       | 19,04818   |
| 16QAM ¾       | 22,60909   |
| 64QAM 2/3     | 28,37940   |
| 64QAM ¾       | 30,56927   |

(Sumber: Perhitungan)

Setelah mendapatkan nilai Eb/No tiap modulasi, langkah berikutnya adalah menghitung nilai BER pada masing-masing modulasi yang digunakan.

#### 1) Modulasi QPSK ½

Besarnya nilai BER atau probabilitas *bit error* ( $P_b$ ) dengan menggunakan teknik modulasi QPSK ½ dengan Eb/No= 9.037878 dB dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (2-2),

$$\begin{aligned}
 P_b = P_s &= Q\left(\sqrt{\frac{2E_b}{N_0}}\right) \\
 &= \frac{1}{2} \operatorname{erfc} \sqrt{\frac{E_b}{N_0}} \\
 &= \frac{1}{2} \operatorname{erfc} \sqrt{9,037878} \\
 &= \frac{1}{2} \operatorname{erfc}(3,0063)
 \end{aligned}$$

Sehingga nilai  $P_b \text{ QPSK } 1/2 = 1,0623 \times 10^{-5}$

#### 2) Modulasi QPSK ¾

Besarnya nilai BER atau probabilitas *bit error* ( $P_b$ ) dengan menggunakan teknik modulasi QPSK ¾ dengan Eb/No= 9,037878 dB dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (2-2),

$$\begin{aligned}
 P_b = P_s &= Q\left(\sqrt{\frac{2E_b}{N_0}}\right) \\
 &= \frac{1}{2} \operatorname{erfc} \sqrt{\frac{E_b}{N_0}}
 \end{aligned}$$





$$\begin{aligned}
 &= \frac{1}{2} \operatorname{erfc} \sqrt{12,59879} \\
 &= \frac{1}{2} \operatorname{erfc}(3,5495)
 \end{aligned}$$

Sehingga nilai  $P_{b \text{ QPSK } 3/4} = 2,5893 \times 10^{-5}$

### 3) Modulasi 16 QAM $1/2$

Besarnya nilai BER atau probabilitas *bit error* ( $P_b$ ) dengan menggunakan teknik modulasi 16QAM  $1/2$  dengan  $E_b/N_0 = 19,04818$  dB dan nilai  $M=16$  dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (2-4),

$$\begin{aligned}
 P_{b \text{ 16QAM } 1/2} &= \frac{4(\sqrt{M}) - 1}{\sqrt{M} \log_2 M} Q \left( \sqrt{\frac{3 \log_2 M E_b}{(M-1) N_0}} \right) \\
 &= \frac{2(\sqrt{M} - 1)}{\sqrt{M} \log_2 M} \operatorname{erfc} \left( \sqrt{\frac{3 \log_2 M E_b}{4(M-1) N_0}} \right) \\
 &= \frac{2(\sqrt{16} - 1)}{\sqrt{16} \log_2 16} \operatorname{erfc} \left( \sqrt{\frac{3 \log_2 16}{4(16-1)} \times 19,04818} \right) \\
 &= \frac{6}{16} \operatorname{erfc} \left( \sqrt{\frac{12}{60} \times 19,04818} \right) \\
 &= 0,375 \operatorname{erfc}(3,8096)
 \end{aligned}$$

Sehingga nilai  $P_{b \text{ 16QAM } 1/2} = 2,6771 \times 10^{-5}$

### 4) Modulasi 16 QAM $3/4$

Besarnya nilai BER atau probabilitas *bit error* ( $P_b$ ) dengan menggunakan teknik modulasi 16QAM  $3/4$  dengan  $E_b/N_0 = 22,60909$  dB dan nilai  $M=16$  dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (2-4),

$$P_{b \text{ 16QAM } 3/4} = \frac{2(\sqrt{M} - 1)}{\sqrt{M} \log_2 M} \operatorname{erfc} \left( \sqrt{\frac{3 \log_2 M E_b}{4(M-1) N_0}} \right)$$



$$\begin{aligned}
&= \frac{2(\sqrt{16} - 1)}{\sqrt{16} \log_2 16} \operatorname{erfc} \left( \sqrt{\frac{3 \log_2 16}{4(16 - 1)} \times 22,60909} \right) \\
&= \frac{6}{16} \operatorname{erfc} \left( \sqrt{\frac{12}{60} \times 22,60909} \right) \\
&= 0.375 \operatorname{erfc}(4,2529)
\end{aligned}$$

Sehingga nilai  $P_{b \text{ 16QAM } 3/4} = 6,7654 \times 10^{-5}$

### 5) Modulasi 64 QAM $2/3$

Besarnya nilai BER atau probabilitas *bit error* ( $P_b$ ) dengan menggunakan teknik modulasi 16QAM  $2/3$  dengan  $E_b/N_0 = 28,37940$  dB dan nilai  $M=64$  dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (2-4),

$$\begin{aligned}
P_{b \text{ 64QAM } 2/3} &= \frac{2(\sqrt{M} - 1)}{\sqrt{M} \log_2 M} \operatorname{erfc} \left( \sqrt{\frac{3 \log_2 M E_b}{4(M - 1) N_0}} \right) \\
&= \frac{2(\sqrt{64} - 1)}{\sqrt{64} \log_2 64} \operatorname{erfc} \left( \sqrt{\frac{3 \log_2 64}{4(64 - 1)} \times 28,37940} \right) \\
&= \frac{14}{48} \operatorname{erfc} \left( \sqrt{\frac{18}{252} \times 28,37940} \right) \\
&= 0.292 \operatorname{erfc}(4,1745)
\end{aligned}$$

Sehingga nilai  $P_{b \text{ 64QAM } 2/3} = 13,3293 \times 10^{-5}$

### 6) Modulasi 64 QAM $3/4$

Besarnya nilai BER atau probabilitas *bit error* ( $P_b$ ) dengan menggunakan teknik modulasi 16QAM  $3/4$  dengan  $E_b/N_0 = 30,5693$  dB dan nilai  $M=64$  dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (2-4),

$$P_{b \text{ 16QAM } 3/4} = \frac{2(\sqrt{M} - 1)}{\sqrt{M} \log_2 M} \operatorname{erfc} \left( \sqrt{\frac{3 \log_2 M E_b}{4(M - 1) N_0}} \right)$$

UNIVERSITAS BRAWIJAYA



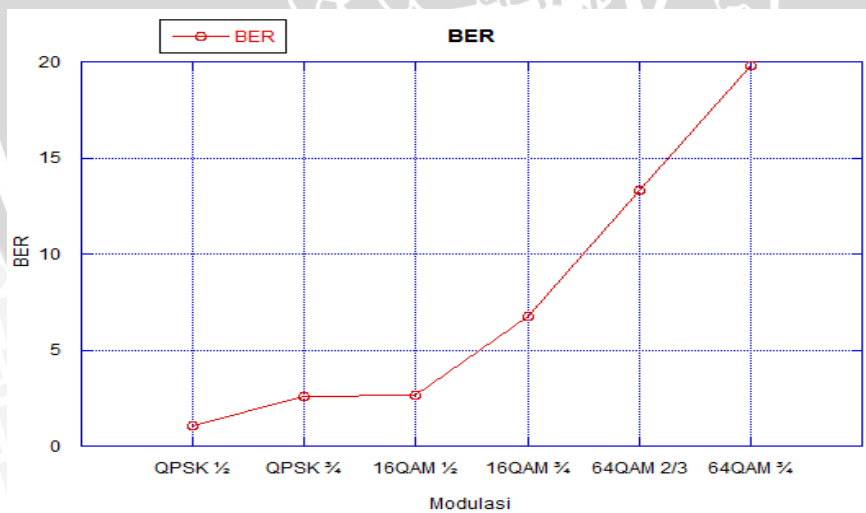
$$\begin{aligned}
 &= \frac{2(\sqrt{64} - 1)}{\sqrt{64} \log_2 64} \operatorname{erfc} \left( \sqrt{\frac{3 \log_2 64}{4(64 - 1)} \times 30,5693} \right) \\
 &= \frac{14}{48} \operatorname{erfc} \left( \sqrt{\frac{18}{252} \times 30,5693} \right) \\
 &= 0.292 \operatorname{erfc}(4,12829)
 \end{aligned}$$

Sehingga nilai  $P_{b \text{ 64QAM } 3/4} = 19,778 \times 10^{-5}$

**Tabel 4.10** Hasil Perhitungan *Bit Error Rate* (BER)

| Tipe Modulasi | Eb/No (dB) | BER                     |
|---------------|------------|-------------------------|
| QPSK ½        | 9,037878   | $1,0623 \times 10^{-5}$ |
| QPSK ¾        | 12,59879   | $2,5893 \times 10^{-5}$ |
| 16QAM ½       | 19,04818   | $2,6771 \times 10^{-5}$ |
| 16QAM ¾       | 22,60909   | $6,7654 \times 10^{-5}$ |
| 64QAM 2/3     | 28,26303   | $13,329 \times 10^{-5}$ |
| 64QAM ¾       | 30,53842   | $19,778 \times 10^{-5}$ |

(Sumber: Perhitungan)



Gambar 4.2 Grafik pengaruh penggunaan tipe modulasi terhadap nilai BER

#### 4.4 Analisis jarak jangkauan *base station* ke *subscriber station*

Pada analisis performansi VoIP melalui *mobile* WiMAX diperlukan model propagasi, dimana model propagasi ini akan menentukan jarak cakupan dari *base station* ke *subscriber station*. Dengan jarak referensi *free space* do yang digunakan pada standar IEEE



802.16 rev E adalah 100 m, maka jarak jangkau *base station* ke *subscriber station* dapat dihitung dengan menggunakan persamaan 2.17 :

Dengan  $\lambda=0,12$  m, maka *path loss* referensi :

$$A = 20 \log_{10} \left( \frac{4\pi d}{\lambda} \right) = 20 \log_{10} \left( \frac{4\pi 100}{0,12} \right) = 20 \times 4,01298 = 80,3962 \text{ dB}$$

Pada analisis performansi ini, sinyal diasumsikan pada lingkungan NLOS, posisi *base station* dalam keadaan tetap (tidak bergerak) dan posisi *subscriber station* dalam keadaan bergerak pada daerah suburban. Maka kriteria yang digunakan dalam kondisi *path loss* ini adalah sesuai dengan kondisi *path loss* menengah atau tipe suburban.

Eksponen *path loss* pada kondisi daerah suburban untuk kategori B dengan menggunakan tabel dapat dihitung dengan Persamaan 2.18 :

$$\gamma = a - b \cdot h_b + \frac{c}{h_b} = 4 - 0,0065 \times 32 + \frac{17,1}{32} = 4,3264$$

Koreksi frekuensi pada frekuensi kerja 2,5 GHz, dihitung dengan Persamaan 2.19:

$$\Delta PL_f = 6 \log_{10} \left( \frac{f}{2 \times 10^9} \right) = \log \left( \frac{2,5 \times 10^9}{2 \times 10^9} \right) = 0,7151 \text{ dB}$$

Koreksi tinggi antena dapat dihitung dengan Persamaan 2.19 :

$$\Delta PL_h = -10,8 \log_{10} \left( \frac{h}{2} \right) = -10,8 \log \left( \frac{1,5}{2} \right) = 1,3493 \text{ dB}$$

Dengan nilai *path loss* yang telah dihitung pada perhitungan *path loss* sebelumnya, maka jarak jangkau (jarak maksimum antara *base station* dan *subscriber station*) dapat dihitung dengan Persamaan 2.16 :

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

$$PL = 80,3962 + 10 \times 4,3264 \log_{10} \left( \frac{d}{100} \right) + 9,6 + 0,7151 + 1,3493$$

$$PL = 92,0606 + 43,264 \log_{10} \left( \frac{d}{100} \right)$$

Nilai *Path loss* untuk teknik modulasi QPSK  $\frac{1}{2}$  yang telah dihitung:

$$142 = 92,0606 + 43,264 \log_{10} \left( \frac{d}{100} \right)$$

$$49,9394 = 43,264 \log_{10} \left( \frac{d}{100} \right) \text{ maka } d = 1426,57 \text{ m}$$

Dengan cara yang sama diperoleh jarak jangkau (jarak antara *base station* dan *subscriber station*) dengan *subcarrier* 1024 pada kanal 10 MHz untuk berbagai jenis tipe modulasi lain yang ditunjukkan pada Tabel 4.11 berikut :

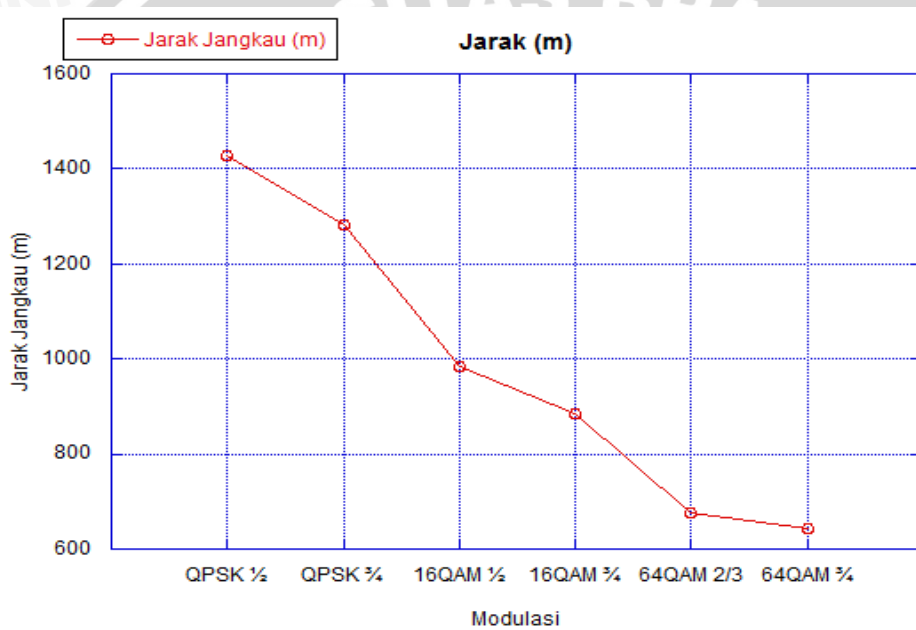




**Tabel 4.11** Hasil jarak jangkauan antara *base station* dan *subscriber station* untuk *subcarrier* 1024

| Type Modulasi        | Batas Daya Terima Minimum (dBm) | Jarak jangkauan (m) |
|----------------------|---------------------------------|---------------------|
| QPSK $\frac{1}{2}$   | -85                             | 1426,57             |
| QPSK $\frac{3}{4}$   | -83                             | 1282,53             |
| 16-QAM $\frac{1}{2}$ | -78                             | 982,87              |
| 16-QAM $\frac{3}{4}$ | -76                             | 883,63              |
| 64-QAM $\frac{2}{3}$ | -71                             | 677,17              |
| 64-QAM $\frac{3}{4}$ | -70                             | 642,08              |

(Sumber: perhitungan)



**Gambar 4.3** Grafik pengaruh penggunaan tipe modulasi terhadap jarak jangkauan BS

1. Penentuan penggunaan modulasi pada jaringan WiMAX dipengaruhi oleh kemampuan penerima untuk menerima sinyal, hal tersebut dapat diketahui dari parameter *Signal to Noise Ratio* (SNR) di sisi penerima.
2. Jarak jangkauan efektif antara *Base Station* dan *Subscriber Station* dipengaruhi oleh besarnya daya pancar transmisi pemancar, kemampuan penerimaan sinyal di penerima (*receiver sensitivity*), redaman propagasi yang ditandai oleh padat tidaknya penghalang pada saat sinyal merambat sampai ke penerima pada suatu wilayah tertentu sehingga akan berpengaruh terhadap nilai SNR di penerima.
3. Nilai SNR pada sisi penerima menentukan jenis modulasi yang digunakan sesuai dengan ketentuan standar WiMAX.



4. Perubahan nilai SNR penerima akan berpengaruh terhadap nilai BER. Semakin tinggi orde modulasi maka titik konstelasi akan semakin rapat dan akan semakin mudah berpindah ke titik konstelasi lain jika terkena *error* yang akan mengakibatkan nilai yang lebih besar pada BER.

#### 4.4.1 Analisis *delay end to end*

Pada aplikasi VoIP yang bersifat *full duplex*, maka *delay* dihitung dari dari penerima ke sumber sampai ke penerima yang lain. Untuk analisis jaringan *mobile WiMAX* yang digunakan, maka perhitungan dilakukan untuk mengetahui *delay end to end* aplikasi VoIP melalui *mobile WiMAX* dengan Persamaan 2.20 :

$$t_{end-to-end} = t_{codec} + t_{MAN}$$

Dengan :

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

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

##### ➤ *Delay codec*

*Delay* ini terjadi pada sisi *encoder* terdiri dari waktu untuk mengakumulasi sample suara ke dalam *frame* suara, waktu untuk mengkompresi paket suara, waktu untuk memuat *frame* suara ke dalam paket dan mentransfer paket tersebut ke jaringan *transport* dan *delay hardware* yang bersifat tetap. *Delay* pada *codec* audio G.711 sebesar 0.75 ms, sehingga *delay codec* ini dapat dihitung dengan persamaan 2.21 berikut :

$$t_{codec} = 2 \times t_{audio} = 2 \times 0,75 = 1,5 \text{ ms}$$

##### ➤ *Delay MAN*

*Delay* pada MAN merupakan besarnya *delay* yang diperlukan untuk mengirimkan data dari sisi *subscriber station* ke *base station WiMAX*. *Delay* pada MAN dapat dihitung dengan Persamaan 2.22 sebagai berikut:

$$t_{MAN} = t_{proces} + t_{pros} + t_{trans} + t_w$$

Dengan:

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

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

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

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

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



### ➤ Delay Proses

*Delay* proses adalah waktu yang dibutuhkan untuk memproses paket data dan untuk menentukan kemana data tersebut akan diteruskan. *Delay* proses berupa *delay* enkapsulasi dan *delay* dekapulasi. *Delay* enkapsulasi dan *delay* dekapulasi data melalui jaringan *mobile* WiMAX untuk masing-masing layer dengan menambahkan *header* dan perubahan format data.

Ketika data VoIP (*payload audio*) dikirim dari sumber melewati layer aplikasi menuju layer *transport*, data akan diubah menjadi segmen. Message data ketika melewati *transport* data akan mengalami penambahan *header* RTP dan *header* UDP, sehingga dapat dihitung dengan Persamaan 2.23 :

$$W_{message} = W_{data} + Header_{RTP} = 192 \text{ byte} + 12 \text{ byte} = 204 \text{ byte}$$

Dari layer *transport* segmen ditambahkan dengan *header* UDP karena menggunakan aplikasi yang bersifat *real time*. Karena panjang segmen data tidak melebihi MSS UDP yaitu 1460 Byte, maka segmen tidak difragmentasi.

$$W_{segmen} = W_{message} + Header_{UDP} = 204 \text{ byte} + 8 \text{ byte} = 212 \text{ byte}$$

Dari layer *transport* data dibawa menuju layer *network*, yaitu IP untuk diubah menjadi datagram dengan penambahan *header* IP. Dengan menggunakan Persamaan 2.24 diperoleh :

$$W_{datagram} = W_{segmen} + Header_{IP} = 212 \text{ byte} + 20 \text{ byte} = 232 \text{ byte}$$

Pada segmen datagram tidak melebihi MTU Ethernet, maka datagram IP tidak difragmentasi. Dengan menggunakan Persamaan 2.28 maka *frame-frame* tadi dienkapsulasi dengan rumus :

$$W_{frame} = W_{datagram} + Header_{Ethernet} = 232 \text{ byte} + 18 \text{ byte} = 250 \text{ byte}$$

Dari *Ethernet* digunakan medium kabel *twisted pair* 100BaseT dari *base station* menuju *subscriber station*, *frame Ethernet* dikirimkan ke layer MAC WiMAX dan mengalami penambahan *header* MAC. Maka total dapat dicari, yaitu :

$$W_{frame\ total} = W_{frame} + Header_{MAC} = 250 \text{ byte} + 6 \text{ byte} = 256 \text{ byte}$$

Maka besar *delay* enkapsulasi dengan kecepatan layer *ethernet* adalah 100 Mbps untuk modulasi QPSK  $\frac{1}{2}$  dengan  $c_{WiMAX}$  32,79 Mbps adalah:

$$t_{enc1} = \frac{W_{frame\ total}}{c_{Ethernet}} \times 8 = \frac{256}{10^8} \times 8 = 0,02048 \cdot 10^{-3} \text{ s}$$

$$t_{enc2} = \frac{W_{frame\ total}}{c_{WiMAX}} \times 8 = \frac{256}{32,79 \times 10^6} \times 8 = 0,06245 \cdot 10^{-3} \text{ s}$$

UNIVERSITAS BRAWIJAYA



Besar *delay* dekapsulasi dengan kecepatan layer *ethernet* adalah 100 Mbps untuk modulasi QPSK  $\frac{1}{2}$  dengan  $c_{WiMAX}$  32,79 Mbps adalah:

$$t_{dec1} = \frac{W_{frame\ total}}{c_{WiMAX}} \times 8 = \frac{256}{32,79 \times 10^6} \times 8 = 0.06245 \times 10^{-3} \text{ s}$$

$$t_{dec2} = \frac{W_{frame\ total}}{c_{Ethernet}} \times 8 = \frac{256}{10^8} \times 8 = 0.02048 \times 10^{-3} \text{ s}$$

Sehingga didapatkan *delay* proses:

$$\begin{aligned} t_{proc} &= t_{enc1} + t_{enc2} + t_{dec1} + t_{dec2} \\ &= (0.02048 + 0.06245 + 0.06245 + 0.02048) \times 10^{-3} \text{ s} \\ &= 0.16586 \times 10^{-3} \text{ s} \end{aligned}$$

Dengan cara yang sama diperoleh nilai *delay* proses dengan *subcarrier* 1024 pada kanal 10 MHz untuk berbagai jenis tipe modulasi lain yang ditunjukkan pada Tabel 5.15 berikut:

Tabel 4.12 Hasil Perhitungan *Delay* Proses

| Tipe Modulasi       | Kapasitas Kanal (Mbps) | Delay proses (ms) |
|---------------------|------------------------|-------------------|
| QPSK $\frac{1}{2}$  | 32.79                  | 0,16586           |
| QPSK $\frac{3}{4}$  | 38.26                  | 0,14802           |
| 16QAM $\frac{1}{2}$ | 54.81                  | 0,11571           |
| 16QAM $\frac{3}{4}$ | 60.67                  | 0,10837           |
| 64QAM $\frac{2}{3}$ | 75.49                  | 0,09522           |
| 64QAM $\frac{3}{4}$ | 81.11                  | 0,09146           |

(Sumber: Perhitungan)

#### ➤ *Delay* propagasi

*Delay* propagasi adalah jumlah waktu yang dibutuhkan oleh gelombang radio untuk berpropagasi pada media transmisi. Dengan menggunakan teknik modulasi QPSK-1/2 dengan jarak terjauh  $m$ , maka besar *delay* propagasi pada medium udara dari *subscriber station* menuju *base station* dapat dihitung dengan Persamaan 2.28 :

$$t_{prop} = \frac{d_{MAX}}{v} = \frac{1426,57}{3 \times 10^8} = 0,00475 \text{ ms}$$

Besarnya *delay* propagasi untuk wilayah sub urban dengan tipe modulasi yang lain adalah sebagai berikut:



UNIVERSITAS BRAWIJAYA



**Tabel 4.13** Hasil Perhitungan *Delay* Propagasi untuk Wilayah sub Urban

| <b>Type Modulasi</b> | <b>Jarak jangkauan BS-SS (m)</b> | <b>Delay Propagasi (ms)</b> |
|----------------------|----------------------------------|-----------------------------|
| QPSK $\frac{1}{2}$   | 1426,57                          | 0,00475                     |
| QPSK $\frac{3}{4}$   | 1282,53                          | 0,00428                     |
| 16QAM $\frac{1}{2}$  | 982,87                           | 0,00328                     |
| 16QAM $\frac{3}{4}$  | 883,63                           | 0,00295                     |
| 64QAM $\frac{2}{3}$  | 677,17                           | 0,00222                     |
| 64QAM $\frac{3}{4}$  | 642,08                           | 0,00214                     |

(Sumber: Perhitungan)

➤ **Delay transmisi**

*Delay* transmisi adalah waktu yang dibutuhkan untuk meletakkan semua data pada media transmisi, dipengaruhi oleh ukura paket dan kapasitas media transmisi. *Delay* ini hanya terjadi sekali saja di sumber informasi. Besar *delay* transmisi sesuai dengan persamaan 2.29:

$$t_{trans} = \frac{w}{c} \times 8 = \frac{256}{32,79 \times 10^6 \text{ bps}} \times 8 = 0,0625 \text{ ms}$$

**Tabel 4.14** Hasil Perhitungan *Delay* Transmisi

| <b>Type Modulasi</b> | <b><math>c_{WiMAX}</math> (Mbps)</b> | <b>Delay transmisi (ms)</b> |
|----------------------|--------------------------------------|-----------------------------|
| QPSK $\frac{1}{2}$   | 32,79                                | 0,0625                      |
| QPSK $\frac{3}{4}$   | 38,26                                | 0,0535                      |
| 16QAM $\frac{1}{2}$  | 54,81                                | 0,0374                      |
| 16QAM $\frac{3}{4}$  | 60,67                                | 0,0370                      |
| 64QAM $\frac{2}{3}$  | 75,49                                | 0,0271                      |
| 64QAM $\frac{3}{4}$  | 81,11                                | 0,0253                      |

(Sumber: Perhitungan)

Besarnya *delay* transmisi dipengaruhi oleh kapasitas media transmisi, semakin besar kapasitas media transmisi maka *delay* transmisi akan semakin kecil.

➤ **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* di dalam menangani paket di sepanjang jaringan.



Pada analisis aplikasi VoIP melalui *mobile* WiMAX, model antrian M/G/1 dengan disiplin antrian FIFO. Model antrian M/G/1 untuk modulasi QPSK  $\frac{1}{2}$  dengan kapasitas kanal 32,79 Mbps dapat ditulis sesuai dengan persamaan (2-45), untuk nilai waktu pelayanan dapat dihitung dengan:

$$\mu = \frac{c}{w} = \frac{32,79 \times 10^6}{256 \times 8} = 16012,8 \text{ paket/s}$$

Besarnya kecepatan kedatangan dengan faktor utilisasi 0,9 dengan model antrian M/G/1, maka delay antrian dapat dihitung sebagai berikut :

$$\lambda_w = \mu\rho = 10612,8 \times 0,9 = 14411,5$$

Sehingga besarnya *delay* antrian adalah

$$t_w = \frac{\lambda_w}{\mu(\mu - \lambda_w)} + \frac{1}{\mu} = \frac{14411,5}{10612,8(16012,8 - 14411,5)} + \frac{1}{16012,8} = 0,6245 \times 10^{-3} \text{ s}$$

Dengan cara yang sama diperoleh nilai *delay* antrian dengan *subcarrier* 1024 pada kanal 10 MHz untuk berbagai jenis tipe modulasi yang lain, seperti QPSK  $\frac{3}{4}$ , 16 QAM  $\frac{1}{2}$ , 16 QAM  $\frac{3}{4}$ , 64 QAM  $\frac{1}{2}$ , dan 64 QAM  $\frac{3}{4}$ . Hasil analisis tersebut ditunjukkan pada tabel 4.15 berikut:

**Tabel 4.15** Hasil Perhitungan *Delay* Antrian

| Jenis Modulasi | Laju data (Mbps) | Delay antrian (ms) |
|----------------|------------------|--------------------|
| QPSK-1/2       | 6,34             | 0,6245             |
| QPSK-3/4       | 9,5              | 0,5353             |
| 16 QAM-1/2     | 12,67            | 0,3737             |
| 64 QAM-3/4     | 19,01            | 0,3370             |
| 16 QAM-2/3     | 25,34            | 0,2713             |
| 64 QAM-3/4     | 28,51            | 0,2525             |

(Sumber : perhitungan)

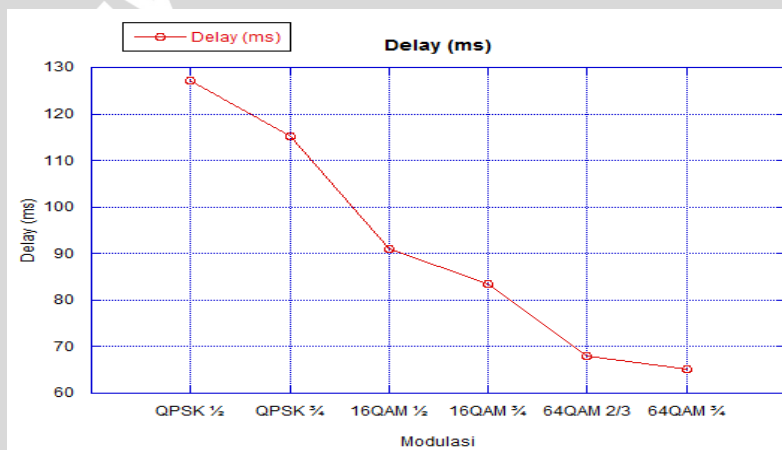
Maka besar *delay end to end* aplikasi VoIP melalui *mobile* WiMAX ditunjukkan pada Tabel 4.16 berikut:



Tabel 4.16 Hasil Perhitungan *Delay end to end*

| Jenis Modulasi | Delay propagasi (ms) | Delay transmisi (ms) | Delay proses (ms) | Delay antrian (ms) | Delay MAN (ms) | Delay end to end (ms) |
|----------------|----------------------|----------------------|-------------------|--------------------|----------------|-----------------------|
| QPSK-1/2       | 0,00475              | 0,0625               | 0,16586           | 0,6245             | 5,608          | 127,2                 |
| QPSK-3/4       | 0,00428              | 0,0535               | 0,14802           | 0,5353             | 5,012          | 115,2                 |
| 16 QAM-1/2     | 0,00328              | 0,0374               | 0,11571           | 0,3737             | 3,803          | 91,06                 |
| 64 QAM-3/4     | 0,00295              | 0,0370               | 0,10837           | 0,3370             | 3,425          | 83,49                 |
| 16 QAM-2/3     | 0,00222              | 0,0271               | 0,09522           | 0,2713             | 2,651          | 68,02                 |
| 64 QAM-3/4     | 0,00214              | 0,0253               | 0,09146           | 0,2525             | 2,509          | 65,19                 |

(Sumber : perhitungan)



Gambar 4.4 Grafik hubungan tipe modulasi terhadap delay

#### 4.4.2 Analisis Packet loss

##### 1) Probabilitas *Packet loss* VoIP

Perhitungan *packet loss* VoIP dipengaruhi oleh BER standar untuk VoIP dengan codec G.711 yakni 1% ( $10^{-2}$ ) ([www.voip-info.org](http://www.voip-info.org)), secara matematis dituliskan sesuai dengan persamaan berikut:

$$\rho_{voip} = \rho_b = 10^{-2}$$

##### 2) Probabilitas *packet loss* jaringan

Perhitungan *packet loss* jaringan WiMAX untuk tipe modulasi QPSK 1/2 sesuai dengan persamaan berikut:

$$\rho_{QPSK\ 1/2} = P_{QPSK\ 1/2} = 1,0623 \times 10^{-5}$$

Maka probabilitas *packet loss* total untuk modulasi QPSK 1/2 adalah



$$\begin{aligned}\rho_{total} &= 1 - \left[ (1 - \rho_{voip}) \left( 1 - \rho_{QPSK\frac{1}{2}} \right) \right] \\ &= 1 - [(1 - 10^{-2})(1 - 1,0623 \times 10^{-5})] = 0,07341\end{aligned}$$

**Tabel 4.17** Hasil Perhitungan Probabilitas *Packet loss*

| Tipe Modulasi       | BER                     | $\rho_{total}$ |
|---------------------|-------------------------|----------------|
| QPSK $\frac{1}{2}$  | $1,0623 \times 10^{-5}$ | 0,07341        |
| QPSK $\frac{3}{4}$  | $2,5893 \times 10^{-5}$ | 0,04300        |
| 16QAM $\frac{1}{2}$ | $2,6771 \times 10^{-5}$ | 0,02730        |
| 16QAM $\frac{3}{4}$ | $6,7654 \times 10^{-5}$ | 0,02665        |
| 64QAM $\frac{2}{3}$ | $13,329 \times 10^{-5}$ | 0,01540        |
| 64QAM $\frac{3}{4}$ | $19,778 \times 10^{-5}$ | 0,01075        |

(Sumber: Perhitungan)

#### 4.4.3 Analisis Throughput

Dalam analisis *throughput* pada VoIP melalui *mobile WiMAX* adalah *throughput WirelessMAN* dari *base station* ke computer/laptop di sisi penerima. Waktu transmisi paket data pada QPSK-1/2 dengan *bit rate* 9,2 Mbps dapat dihitung dengan Persamaan 2.32 :

$$\alpha = \left( 1 + \frac{2t_{prop} + 2t_{trans}}{t_{trans}} \right) = \left( 1 + \frac{2 \times 0,00475 \times 10^{-3} + 2 \times 0,0625 \times 10^{-3}}{0,0625 \times 10^{-3}} \right) = 3,152$$

Dengan nilai probabilitas yang telah dicari di persamaan sebelumnya, maka nilai *throughput* dapat diketahui dengan Persamaan 2.31 berikut :

$$\begin{aligned}\lambda &= \frac{1}{t_v} = \frac{(1-\rho)}{t_{trans}[1+(\alpha-1)\rho]} \\ \lambda &= \frac{1}{t_v} = \frac{(1-0,07341)}{0,0625 \times 10^{-3} [1+(3,152-1)0,07341]} \\ &= 12,8129 \text{ Mbps}\end{aligned}$$

Dengan cara yang sama diperoleh nilai *delay throughput* dengan *subcarrier* 512 pada kanal 5 MHz untuk berbagai jenis tipe modulasi lain yang ditunjukkan pada Tabel 4.18 berikut :

**Tabel 4.18** Hasil Perhitungan *Throughput*

| Jenis Modulasi | Laju data (Mbps) | Throughput (Mbps) |
|----------------|------------------|-------------------|
| QPSK-1/2       | 6,34             | 12,8129           |
| QPSK-3/4       | 9,5              | 16,3582           |





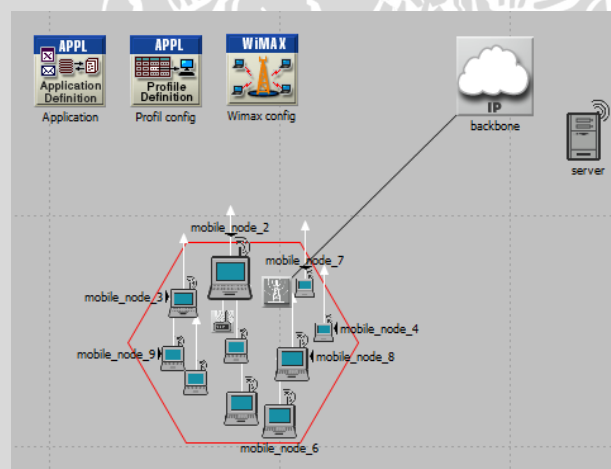
| Jenis Modulasi | Laju data (Mbps) | Throughput (Mbps) |
|----------------|------------------|-------------------|
| 16 QAM-1/2     | 12,67            | 24,5709           |
| 64 QAM-3/4     | 19,01            | 27,2952           |
| 16 QAM-2/3     | 25,34            | 35,6315           |
| 64 QAM-3/4     | 28,51            | 39,6034           |

(Sumber : perhitungan)

#### 4.5 Analisis Simulasi VoIP melalui Mobile WiMAX

Analisis yang dilakukan pada bab ini berdasarkan pada hasil simulasi yang dilakukan dengan menggunakan *network simulator* OPNET Modeler v.14.5 pada jaringan *mobile WiMAX* yang diimplementasikan dengan layanan VoIP. Analisis dilakukan untuk mengetahui pengaruh penggunaan tipe modulasi yang berbeda pada *mobile WiMAX* yang meliputi parameter *packet loss*, *delay end to end* dan *throughput*. Data hasil simulasi menggunakan OPNET Modeler ditampilkan dalam bentuk grafik pada fungsi waktu.

Berikut konfigurasi jaringan *mobile WiMAX* yang digunakan pada OPNET v.14.5 :



Gambar 4.5 Konfigurasi jaringan *mobile WiMAX*

##### 4.5.1 Skenario Perbedaan Tipe Modulasi

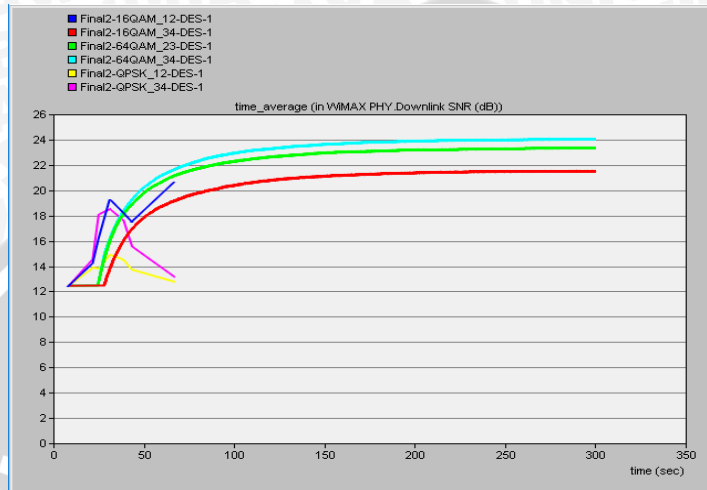
Sesuai dengan standar *mobile WiMAX* 802.16e terdapat beberapa tipe modulasi yang digunakan dalam jaringan *mobile WiMAX*, antara lain QPSK, 16-QAM, dan 64-QAM. Pada masing-masing tipe modulasi tersebut, digunakan 2 variasi pengkodean yang berbeda. Semakin tinggi orde modulasi yang digunakan maka SNR yang dihasilkan juga akan semakin besar hal itu dikarenakan semakin tinggi orde modulasi menyebabkan rentan terhadap noise hal ini disesuaikan dengan standar IEEE 802.16e.



#### 4.5.1.1 Signal to Noise Ratio (SNR)

*Signal to Noise Ratio* (SNR) merupakan perbandingan antara sinyal dengan noise yang terjadi pada sistem, Besarnya pengaruh redaman sinyal terhadap sinyal yang ditransmisikan dapat dinyatakan dengan perbandingan antara sinyal dengan noise (SNR).

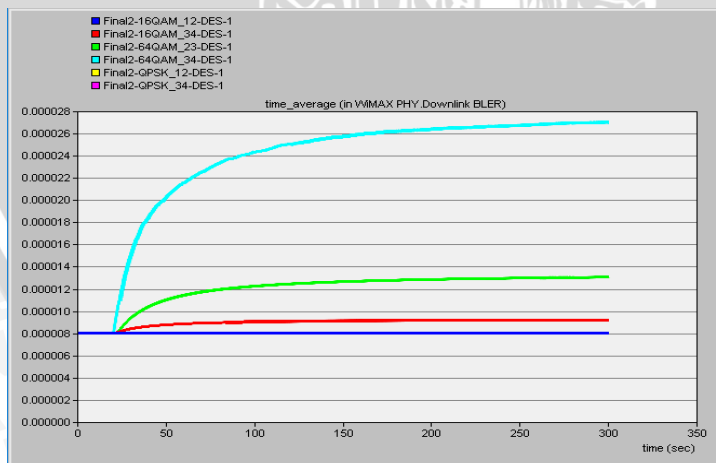
Dibawah ini merupakan grafik hasil simulasi nilai SNR pada OPNET sebagai berikut:



Gambar 4.6 Hasil perbandingan simulasi SNR pada OPNET

#### 4.5.1.2 Bit Error Rate (BER)

BER atau probabilitas *error bit* merupakan nilai ukur kualitas sinyal yang diterima untuk sistem transmisi data digital. BER juga dapat didefinisikan sebagai perbandingan jumlah *bit* yang salah terhadap total *bit* yang diterima. Dibawah ini merupakan grafik hasil simulasi BER menggunakan OPNET sebagai berikut:



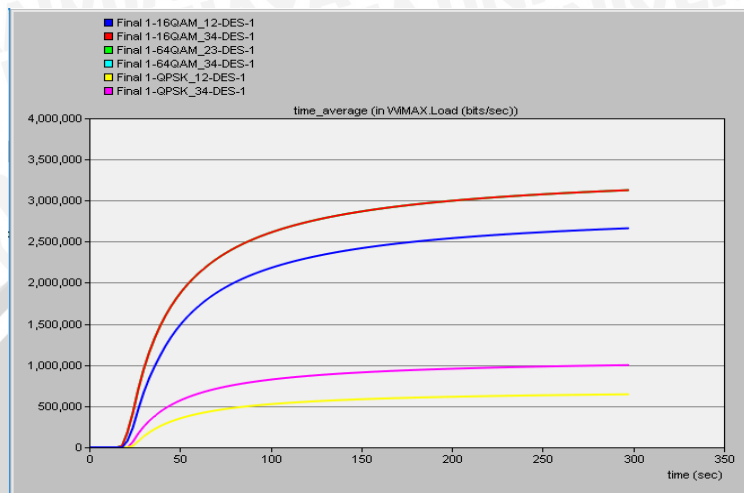
Gambar 4.7 Hasil perbandingan simulasi BER pada OPNET

#### 4.5.1.3 Throughput

*Throughput* menunjukkan jumlah data yang diterima dengan benar pada sisi penerima setelah melewati media transmisi. Dalam analisis *throughput* pada VoIP melalui

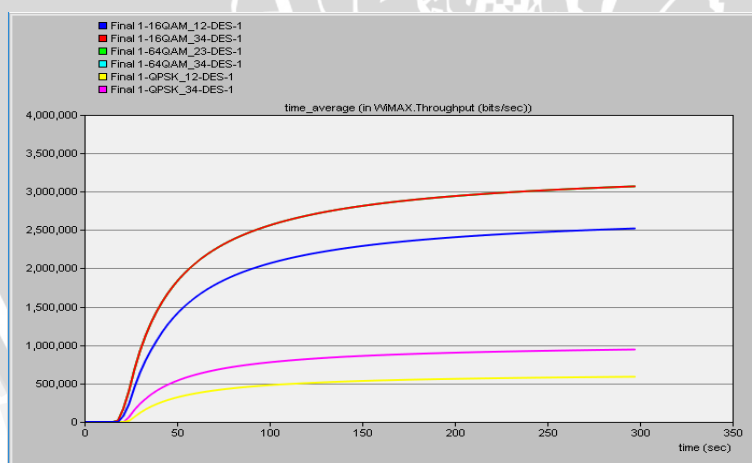


*mobile* WiMAX adalah *throughput* dari *base station* menuju sisi penerima. Dari sisi sumber membangkitkan load (beban) sesuai tipe modulasi yang digunakan pada saat user melakukan panggilan . Waktu pembangkitan panggilan VoIP ditentukan 10 detik setelah simulasi dimulai, sehingga setelah dirata-rata dari keseluruhan durasi simulasi selama 300 detik. Gambar 4.8 merupakan grafik beban (bps) yang dibangkitkan dalam fungsi waktu.



**Gambar 4.8** Hasil perbandingan Load pada OPNET

Sedangkan Gambar 4.9 menunjukkan grafik *throughput* yang diterima dalam fungsi waktu . Waktu pembangkitan panggilan VoIP ditentukan 10 detik setelah simulasi dimulai, sehingga setelah dirata-rata dari keseluruhan durasi simulasi selama 300 detik.



**Gambar 4.9** Hasil perbandingan *Throughput* pada OPNET

Maka *throughput* dari tipe modulasi QPSK  $\frac{1}{2}$  dapat ditentukan dengan menggunakan rumus prosentase *throughput* berikut:

$$\textit{throughput} = \frac{23,54}{24,94} \times 100\% = 94,442\%$$

Dengan cara yang sama maka nilai *throughput* dari berbagai jenis modulasi dan pengkodean lain seperti QPSK  $\frac{3}{4}$  , 16-QAM  $\frac{1}{2}$  , 16-QAM  $\frac{3}{4}$  , 64-QAM  $\frac{2}{3}$  , 64-QAM  $\frac{3}{4}$  sebagai berikut:



**Tabel 4.19** :Throughput simulasi perbedaan tipe modulasi

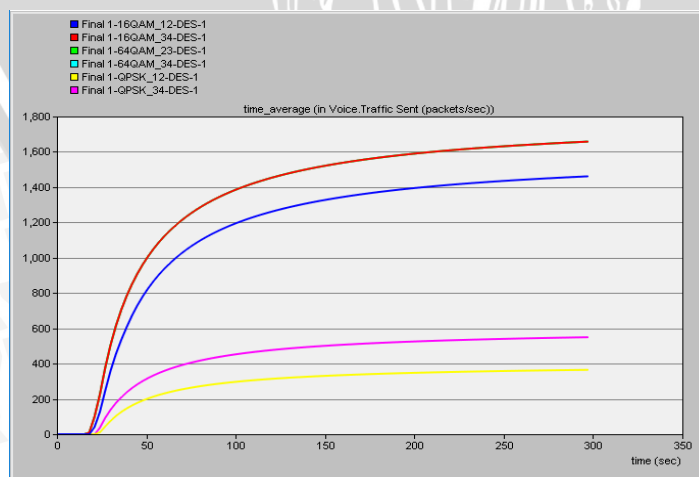
| Tipe Modulasi        | Load (Mbps) | Throughput (Mbps) | Throughput (%) |
|----------------------|-------------|-------------------|----------------|
| QPSK $\frac{1}{2}$   | 24,93       | 23,54             | 94,442         |
| QPSK $\frac{3}{4}$   | 25,69       | 24,18             | 94,122         |
| 16-QAM $\frac{1}{2}$ | 26,58       | 25,16             | 94,657         |
| 16-QAM $\frac{3}{4}$ | 31,06       | 30,49             | 98,164         |
| 64-QAM $\frac{2}{3}$ | 31,15       | 30,58             | 98,170         |
| 64-QAM $\frac{3}{4}$ | 31,26       | 30,67             | 98,113         |

(Sumber : simulasi)

Dari data hasil simulasi pada table 4.19 tersebut dapat dianalisis bahwa semakin tinggi orde modulasi maka *throughput* yang dihasilkan semakin besar/laju data semakin cepat hal itu juga dapat dilihat dari prosentase *throughput* yang dihasilkan semakin besar . Pada orde modulasi dengan nilai paling rendah ditunjukkan oleh modulasi QPSK  $\frac{1}{2}$  yakni sebesar 94,442%, sedangkan pada orde modulasi dengan nilai paling tinggi dihasilkan oleh tipe modulasi 64-QAM  $\frac{3}{4}$  sebesar 98,113%. *Throughput* dikatakan baik, jika jumlah data yang diterima dengan benar mencapai lebih dari 90 %.

#### 4.5.1.4 Probabilitas Packet Loss

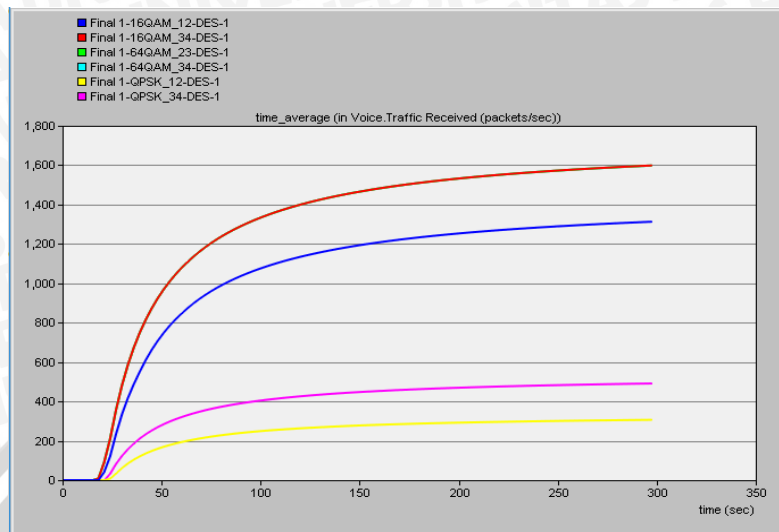
Probabilitas *packet loss total* merupakan probabilitas banyaknya paket yang diterima dalam kondisi salah di sisi penerima. Dalam simulasi ini akan ditampilkan jumlah packet yang dikirim dari sumber dan paket yang akan diterima pada pada user penerima. Gambar 4.10 di bawah ini menunjukkan *packet sent* yang terjadi selama simulasi berlangsung .

**Gambar 4.10** Hasil Perbandingan paket yang dikirim dalam VoIP





Sedangkan jumlah paket rata-rata yang diterima selama simulasi berlangsung pada sisi penerima adalah sebagai berikut:



**Gambar 4.11** Hasil perbandingan paket yang diterima dalam VoIP

Berdasarkan data yang diperoleh dari hasil simulasi, dapat ditentukan probabilitas *packet loss* pada tipe modulasi QPSK  $\frac{1}{2}$  adalah:

$$\text{Packet loss} = \frac{(232,48 - 215,53)}{232,48} = 0,0729$$

Dengan cara yang sama diperoleh nilai probabilitas *packet loss* untuk berbagai tipe modulasi yang lain, ditunjukkan dalam table 4.20 dibawah ini:

**Tabel 4.20:** Probabilitas *packet loss* perbedaan tipe modulasi

| Tipe Modulasi        | Paket data yang dikirim (pps) | Paket data yang diterima (pps) | Probabilitas <i>packet loss</i> |
|----------------------|-------------------------------|--------------------------------|---------------------------------|
| QPSK $\frac{1}{2}$   | 232,48                        | 215,53                         | 0,0729                          |
| QPSK $\frac{3}{4}$   | 361,19                        | 339,68                         | 0,0595                          |
| 16-QAM $\frac{1}{2}$ | 953,73                        | 922,55                         | 0,0327                          |
| 16-QAM $\frac{3}{4}$ | 1218,8                        | 1180,4                         | 0,0315                          |
| 64-QAM $\frac{2}{3}$ | 1220,7                        | 1198,6                         | 0,0181                          |
| 64-QAM $\frac{3}{4}$ | 1211,7                        | 1209,6                         | 0,0017                          |

(Sumber : simulasi)

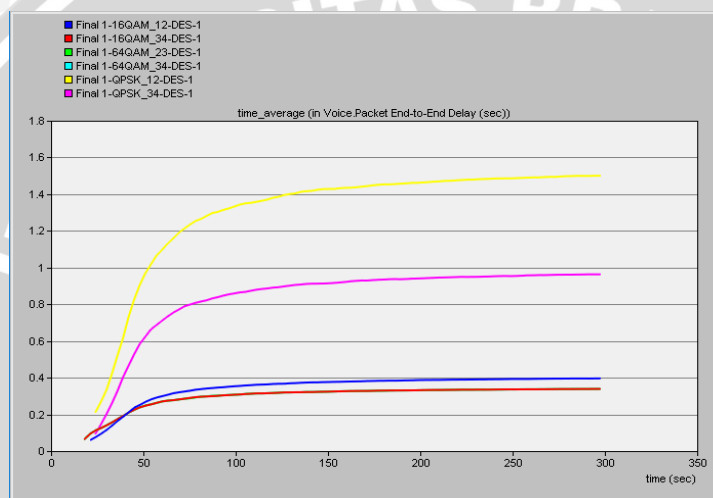
Dari hasil simulasi diatas diperoleh probabilitas *packet loss* dengan nilai terendah diperoleh dari orde modulasi 64-QAM  $\frac{3}{4}$  sebesar 0,0017, sedangkan nilai tertinggi diperoleh dari orde modulasi QPSK  $\frac{1}{2}$  sebesar 0,0729. Jadi kualitas VoIP akan semakin baik jika probabilitas



*packet loss* yang dihasilkan semakin kecil karena paket yang diterima utuh tanpa ada kesalahan/ error.

#### 4.5.1.5 Delay end to end

*Delay end-to-end* merupakan penjumlahan waktu total pada jaringan IP dari *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. Pada penelitian ini pembangkitan panggilan VoIP dilakukan dari awal selama 300 detik hingga selesai. Berikut grafik *delay end to end* yang dihasilkan dari simulasi menggunakan OPNET v.14.5 sebagai berikut:



**Gambar 4.12** Hasil perbandingan delay end to end dalam OPNET

Dari hasil simulasi diatas diperoleh rata-rata *delay end to end* dengan tipe modulasi berbeda yang tercantum pada table 4.21 berikut:

**Tabel 4.21:** Delay end to end perbedaan tipe modulasi

| Tipe Modulasi        | Average Delay end to end (ms) |
|----------------------|-------------------------------|
| QPSK $\frac{1}{2}$   | 150,058                       |
| QPSK $\frac{3}{4}$   | 96,312                        |
| 16-QAM $\frac{1}{2}$ | 39,590                        |
| 16-QAM $\frac{3}{4}$ | 33,887                        |
| 64-QAM $\frac{2}{3}$ | 33,637                        |
| 64-QAM $\frac{3}{4}$ | 33,205                        |

(Sumber: simulasi)



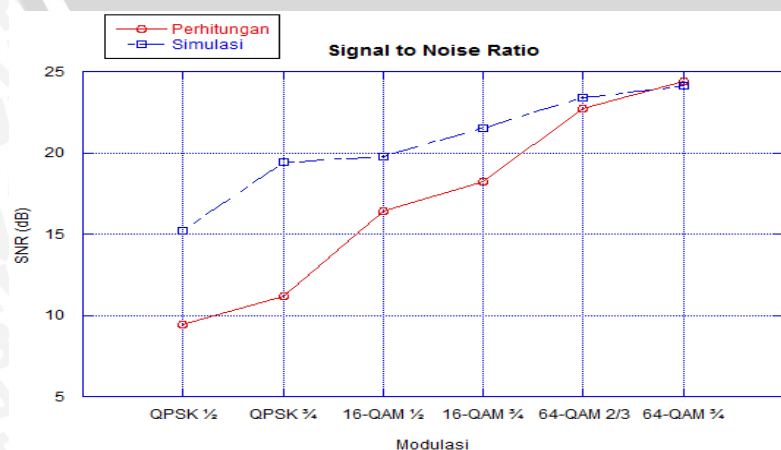
Bedasarkan data pada tabel 4.21 dapat dianalisis bahwa semakin tinggi orde modulasi yang digunakan, maka *delay end to end* yang terjadi pada VoIP melalui mobile WiMAX menjadi semakin kecil. Hal itu dikarenakan semakin tinggi orde modulasi maka BER yang dihasilkan semakin kecil yang mengakibatkan *bandwidth system* yang semakin besar sehingga delay yang dihasilkan semakin kecil. Pada orde modulasi yang paling rendah yaitu pada 64-QAM  $\frac{3}{4}$  delay yang dibutuhkan selama 33,205 ms, sedangkan pada orde modulasi yang paling tinggi yaitu pada QPSK  $\frac{1}{2}$  delay yang dihasilkan sebesar 150,058 ms. Besarnya delay yang dihasilkan pada tiap-tiap modulasi masih dibawah batas kualitas nilai sistem sebesar 400 ms, jadi sistem ini masih bisa dikatakan baik jika diterapkan pada kondisi nyata.

#### 4.5.2 Perbandingan Hasil Perhitungan dengan Simulasi OPNET

Pada Gambar 4.13 menunjukkan perbedaan besarnya nilai SNR dan BER antara hasil analisis perhitungan dengan simulasi menggunakan OPNET Modeler. SNR menunjukkan bahwa dengan orde modulasi yang tinggi (64QAM) SNR yang dihasilkan akan semakin tinggi begitu juga sebaliknya.

**Tabel 4.22** Perbandingan nilai SNR perhitungan dan simulasi

| Tipe Modulasi        | Perhitungan SNR (dB) | Simulasi SNR (dB) |
|----------------------|----------------------|-------------------|
| QPSK $\frac{1}{2}$   | 9,4                  | 15,2              |
| QPSK $\frac{3}{4}$   | 11,2                 | 19,4              |
| 16-QAM $\frac{1}{2}$ | 16,4                 | 19,8              |
| 16-QAM $\frac{3}{4}$ | 18,2                 | 21,5              |
| 64-QAM $\frac{2}{3}$ | 22,7                 | 23,4              |
| 64-QAM $\frac{3}{4}$ | 24,4                 | 24,1              |



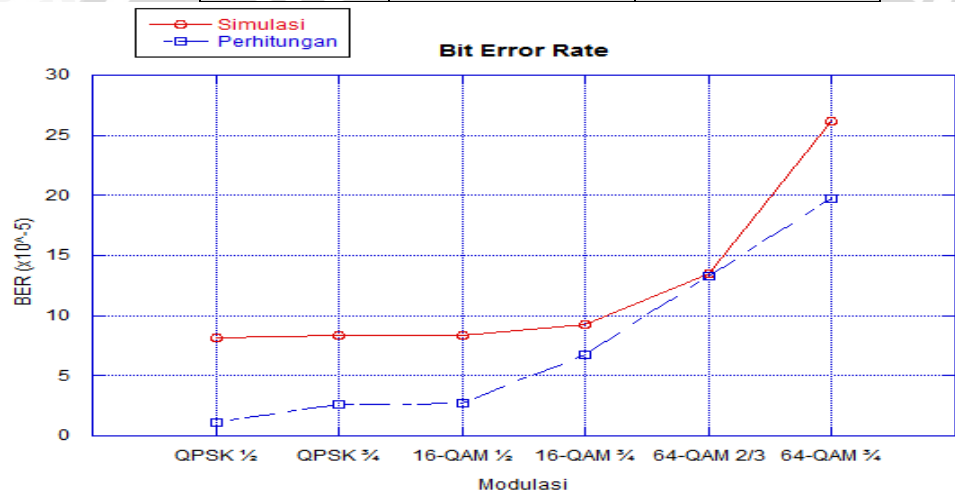
**Gambar 4.13** Perbandingan SNR hasil perhitungan dengan simulasi OPNET



Untuk BER, kinerja orde modulasi rendah (QPSK) menghasilkan BER lebih baik, akan tetapi efisiensi yang dihasilkan rendah, sedangkan orde modulasi tinggi menghasilkan kinerja yang sebaliknya.

**Tabel 4.23** Perbandingan nilai BER perhitungan dan simulasi

| Type Modulasi        | Perhitungan BER         | Simulasi BER          |
|----------------------|-------------------------|-----------------------|
| QPSK $\frac{1}{2}$   | $1,0623 \times 10^{-5}$ | $8,2 \times 10^{-5}$  |
| QPSK $\frac{3}{4}$   | $2,5893 \times 10^{-5}$ | $8,4 \times 10^{-5}$  |
| 16-QAM $\frac{1}{2}$ | $2,6771 \times 10^{-5}$ | $8,4 \times 10^{-5}$  |
| 16-QAM $\frac{3}{4}$ | $6,7547 \times 10^{-5}$ | $9,3 \times 10^{-5}$  |
| 64-QAM $\frac{2}{3}$ | $13,329 \times 10^{-5}$ | $13,5 \times 10^{-5}$ |
| 64-QAM $\frac{3}{4}$ | $19,778 \times 10^{-5}$ | $26,2 \times 10^{-5}$ |



**Gambar 4.14** Perbandingan BER hasil perhitungan dengan simulasi OPNET

Dari tabel 4.24 menunjukkan bahwa semakin tinggi orde yang digunakan maka semakin besar nilai *throughput* yang dihasilkan baik yang dilakukan dengan perhitungan maupun menggunakan simulasi OPNET.

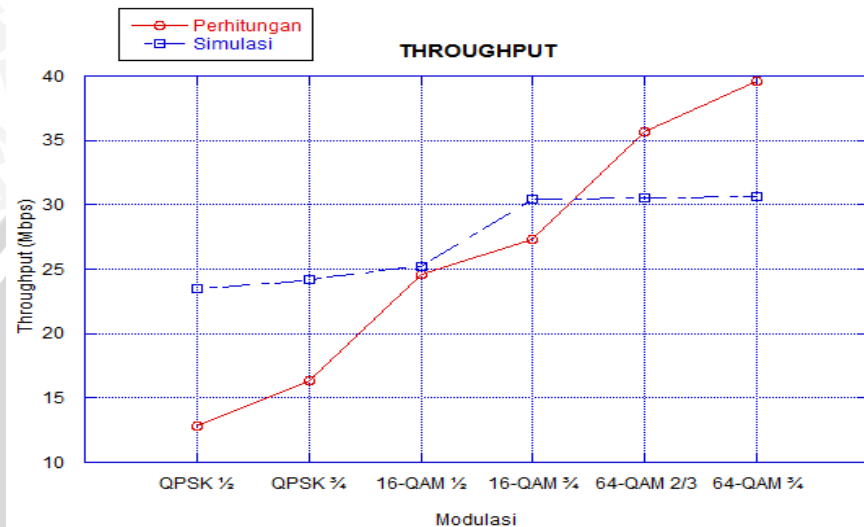
**Tabel 4.24** Perbandingan nilai *throughput* perhitungan dan simulasi

| Type Modulasi        | Perhitungan Throughput (Mbps) | Simulasi Throughput (Mbps) |
|----------------------|-------------------------------|----------------------------|
| QPSK $\frac{1}{2}$   | 12,8129                       | 23,54                      |
| QPSK $\frac{3}{4}$   | 16,3582                       | 24,18                      |
| 16-QAM $\frac{1}{2}$ | 24,5709                       | 25,16                      |





| Type Modulasi | Perhitungan Throughput (Mbps) | Simulasi Throughput (Mbps) |
|---------------|-------------------------------|----------------------------|
| 16-QAM ¾      | 27,2952                       | 30,49                      |
| 64-QAM 2/3    | 35,6315                       | 30,58                      |
| 64-QAM ¾      | 39,6034                       | 30,67                      |



**Gambar 4.15** Perbandingan *throughput* hasil perhitungan dengan simulasi OPNET

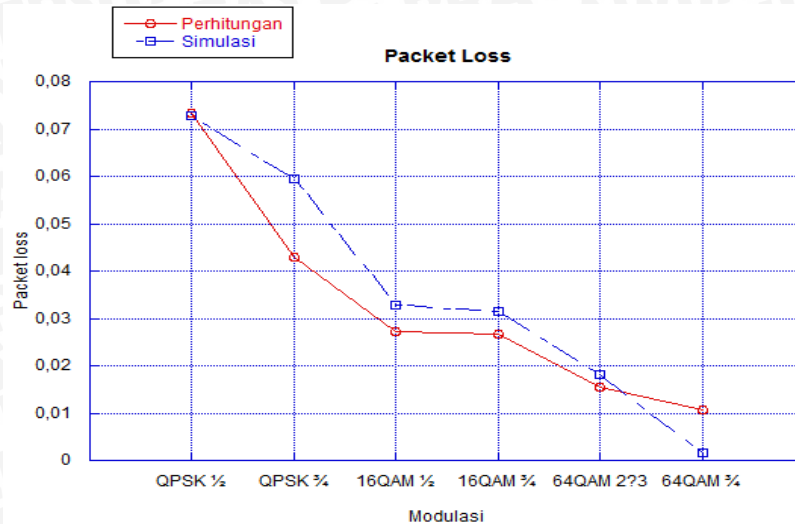
Perbedaan yang timbul antara hasil analisis perhitungan dengan hasil simulasi terjadi dikarenakan pada proses simulasi dilakukan pada rentang waktu simulasi tertentu, sehingga metode *error-control* yang terdapat pada WiMAX dapat terlihat, dimana metode tersebut tidak dapat terlihat jika analisis menggunakan perhitungan.

Sedangkan gambar 4.16 menunjukkan perbedaan *packet loss* pada analisis perhitungan dan analisis menggunakan Simulasi OPNET Modeler sebagai berikut:

**Tabel 4.25** Perbandingan Probabilitas *packet loss* hasil perhitungan dan simulasi

| Type Modulasi | Perhitungan <i>packet loss</i> | Simulasi <i>packet loss</i> |
|---------------|--------------------------------|-----------------------------|
| QPSK 1/2      | 0,07341                        | 0,0729                      |
| QPSK 3/4      | 0,04300                        | 0,0595                      |
| 16QAM 1/2     | 0,02730                        | 0,0327                      |
| 16QAM 3/4     | 0,02665                        | 0,0315                      |
| 64QAM 2/3     | 0,01540                        | 0,0181                      |
| 64QAM 3/4     | 0,01075                        | 0,0017                      |



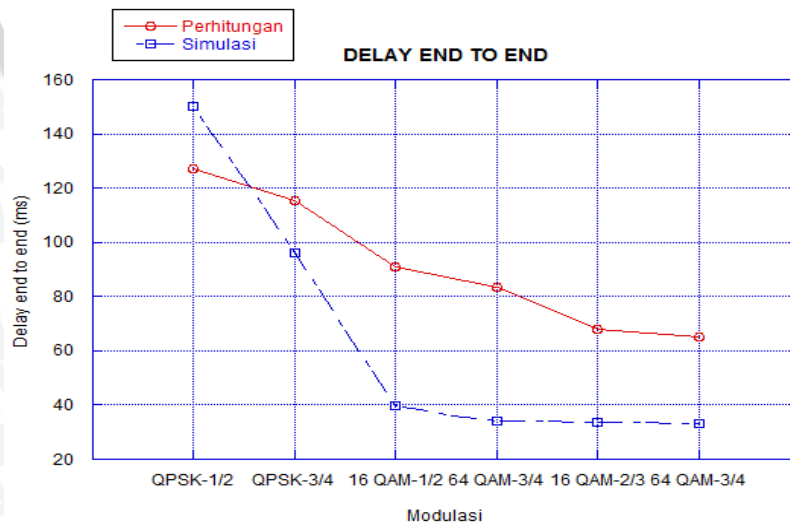


**Gambar 4.16** Perbandingan *packet loss* hasil perhitungan dengan simulasi OPNET

Gambar 4.17 di bawah ini, menunjukkan grafik perbandingan performansi VoIP melalui *mobile WiMAX* pada parameter *delay end to end* hasil perhitungan dan simulasi.

**Tabel 4.26** Perbandingan *delay* hasil perhitungan dengan simulasi

| Jenis Modulasi | Perhitungan Delay end to end (ms) | Simulasi Delay end to end (ms) |
|----------------|-----------------------------------|--------------------------------|
| QPSK-1/2       | 127,2                             | 150,058                        |
| QPSK-3/4       | 115,2                             | 96,312                         |
| 16 QAM-1/2     | 91,06                             | 39,590                         |
| 64 QAM-3/4     | 83,49                             | 33,887                         |
| 16 QAM-2/3     | 68,02                             | 33,637                         |
| 64 QAM-3/4     | 65,19                             | 33,205                         |



**Gambar 4.17** Perbandingan *delay end to end* hasil perhitungan dengan simulasi OPNET





### 4.5.3 Analisis perbedaan jumlah user

Skenario ini menunjukkan pengaruh penambahan jumlah user terhadap performansi jaringan *mobile* WiMAX untuk layanan VoIP meliputi parameter SNR, BER, *throughput*, dan *packet loss*. Dalam scenario ini tipe modulasi yang digunakan adalah 64QAM 3/4. Jumlah *user* yang diamati yakni 10, 15, dan 20 *user*. Berikut ini merupakan hasil simulasi penambahan jumlah user pada OPNET :

**Tabel 4.27.** Perbandingan jumlah user pada simulasi OPNET

| Jumlah user | SNR (dB) | BER                   | Throughput (Mbps) | packet loss | Delay (ms) |
|-------------|----------|-----------------------|-------------------|-------------|------------|
| 10          | 24,1     | $26,2 \times 10^{-5}$ | 30,67             | 0,0729      | 33,205     |
| 15          | 25,0     | $34,8 \times 10^{-5}$ | 27,12             | 0,235       | 33,804     |
| 20          | 25,8     | $47,4 \times 10^{-5}$ | 25,21             | 0,327       | 34,263     |

Berdasarkan data pada tabel 4.27 diatas menunjukkan bahwa penambahan jumlah user berpengaruh terhadap parameter jaringan *mobile* WiMAX. Semakin banyak user yang melakukan panggilan berakibat pada meningkatnya nilai SNR, *delay* dan *probabilitas paket loss*. Sedangkan efisiensi BER dan *throughput* mengalami penurunan ketika jumlah user bertambah banyak hal itu berarti akan mengurangi kualitas jaringan WiMAX untuk layanan VoIP.

1. Penggunaan teknik modulasi menentukan jauh tidaknya jarak jangkauan antara *Base Station* dan *Subscriber Station* selain juga faktor SNR yang dihasilkan pada tiap-tiap modulasi. Modulasi QPSK dengan *coding rate*  $\frac{1}{2}$  mempunyai *coverage area* yang paling jauh, sedangkan modulasi 64QAM dengan *coding rate*  $\frac{3}{4}$  mempunyai *coverage area* yang paling kecil. Semakin jauh jarak antara *Base Station* dan *Subscriber Station* mengakibatkan *delay end-to-end* semakin besar karena waktu yang digunakan paket saat melakukan transmisi semakin besar. Hal tersebut dapat dilihat dari meningkatnya *delay* transmisi seiring dengan pertambahan jarak jangkauan. Jarak jangkauan BS yang terkecil 642,08 m menggunakan modulasi 64QAM  $\frac{3}{4}$  pada daerah suburban dengan *delay end to end* sebesar 65,19 ms untuk analisis perhitungan dan 33,205 ms untuk simulasi menggunakan OPNET, sedangkan jarak jangkauan terjauh menggunakan modulasi QPSK  $\frac{1}{2}$  pada daerah



2. suburban 1426,57 m dengan *delay end to end* 127,2 ms untuk analisis perhitungan dan 150,058 ms.
3. Nilai *delay* yang dihasilkan pada aplikasi VoIP dengan jaringan *mobile WiMAX* menggunakan jenis modulasi QPSK, 16QAM, 64QAM masih memenuhi standar ITU.T untuk VoIP yakni sebesar 400 ms.
4. Dari hasil simulasi menggunakan OPNET diperoleh probabilitas *packet loss* dengan nilai terendah diperoleh pada orde modulasi 64-QAM  $\frac{3}{4}$  sebesar 0,0017, sedangkan nilai tertinggi diperoleh pada orde modulasi QPSK  $\frac{1}{2}$  sebesar 0,0729. Jadi kualitas VoIP akan semakin baik jika probabilitas *packet loss* yang dihasilkan semakin kecil karena paket yang diterima utuh tanpa ada kesalahan/ error.
5. Nilai *throughput* terkecil pada wilayah suburban terjadi pada penggunaan modulasi QPSK  $\frac{1}{2}$  = 15,5182 Mbps untuk analisis perhitungan dan 23,54 Mbps untuk simulasi menggunakan OPNET, sedangkan nilai *throughput* terbesar terjadi pada penggunaan modulasi 64QAM  $\frac{3}{4}$  =39,6034 Mbps untuk analisis perhitungan dan 30,67 Mbps untuk simulasi menggunakan OPNET.
6. Penggunaan modulasi mempengaruhi jauh tidaknya jarak jangkauan BS dan SS. Semakin jauh jarak jangkauan BS-SS maka akan menurunkan nilai *throughput* sistem sehingga informasi berupa *voice* yang dikirimkan memiliki kualitas yang kurang baik dibandingkan dengan jarak jangkauan BS-SS yang dekat.

