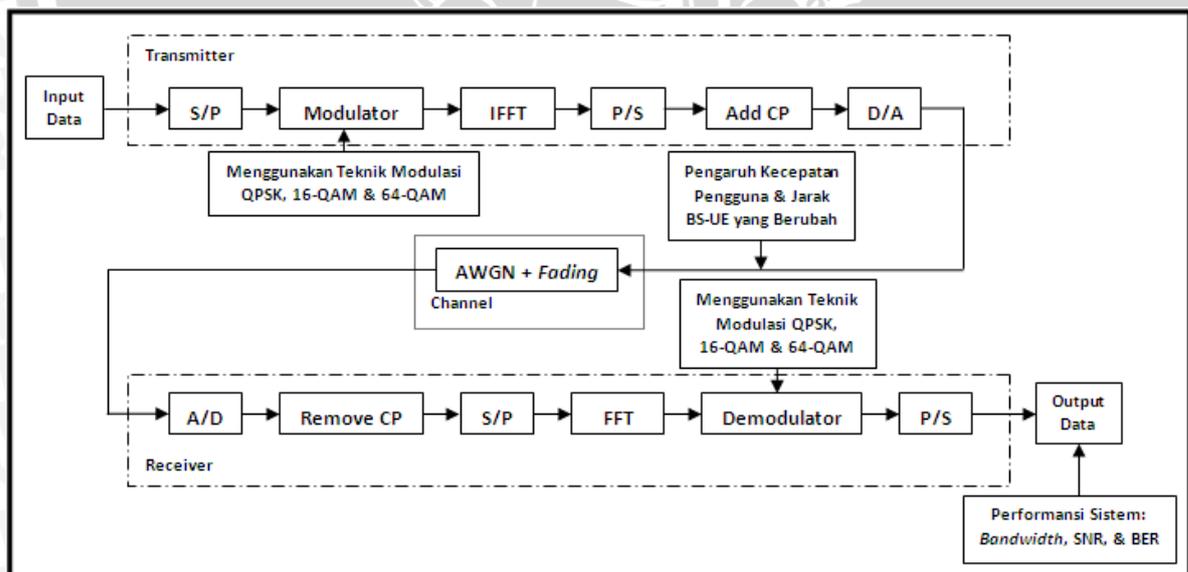


BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini akan dibahas mengenai analisis hasil perhitungan mengenai pengaruh kecepatan pengguna dan perubahan jarak antara *base station* dengan *user equipment* pada performansi sistem *mobile WiMAX*, menggunakan model propagasi ECC 33 dalam perhitungan *pathloss*-nya dengan kanal *noise AWGN* dan *Rayleigh Fading*. Parameter performansi yang akan diamati adalah *bandwidth*, *Signal to Noise Ratio* (SNR) dan *Bit Error Rate* (BER). Teknik modulasi yang digunakan adalah QPSK, 16-QAM dan 64-QAM.

Kecepatan pengguna yang digunakan dalam penelitian ini diasumsikan pengguna bergerak dengan kecepatan konstan yaitu 3 km/jam, 60 km/jam dan 120 km/jam. Sedangkan jarak *base station* dan *user equipment* dibuat bervariasi mulai dari 700 m – 2.1 km dengan spasi jarak 200 m. Analisis transmisi data yang digunakan adalah arah *downlink*. Pada standar *mobile WiMAX*, teknik pentransmisiannya menggunakan teknologi *Orthogonal Frequency Division Multiple Access* (OFDMA) pada sisi *uplink* maupun *downlink*. Gambar 4.1 menunjukkan blok diagram sistem yang akan di analisis dalam penelitian ini.



Gambar 4.1 Blok Diagram Sistem Transmisi Data Arah *Downlink* pada *Mobile WiMAX* dengan Pengaruh Kecepatan Pengguna dan Jarak BS-UE yang Berubah

(Sumber : Perencanaan, 2013)

Metode analisis yang digunakan dalam penelitian ini adalah analisis matematis, yaitu dilakukan dengan mengumpulkan nilai-nilai parameter yang berupa data sekunder serta melakukan perhitungan menggunakan persamaan-persamaan yang telah dijelaskan pada Bab II. Perhitungan dilakukan dengan menggunakan program Matlab 7.0 (R14). Hasil perhitungan dengan variabel kecepatan pengguna dan jarak antara *base station* dan *user equipment* menggunakan teknik modulasi yang berbeda terhadap nilai parameter performansi sistem *mobile* WiMAX merupakan hasil yang ingin dicapai dalam penulisan skripsi ini.

4.1 Parameter Simulasi

Sistem OFDMA dapat menjaga setiap *subcarrier* yang satu dengan yang lain agar tetap *orthogonal* dan mencegah terjadinya interferensi (ISI dan ICI) pada sistem, dengan menggunakan *cyclic prefix* (CP). *Cyclic prefix* (CP) merupakan duplikat bagian akhir dari simbol OFDMA untuk menghilangkan *delay spread* yang terjadi antar data yang saling tumpang tindih. Berdasarkan aturan yang telah ditetapkan bahwa *delay spread* tidak boleh melebihi 10% dari panjang simbol OFDMA agar nilai BER tetap kecil yakni bernilai 10^{-3} bahkan kurang. Dengan demikian interval CP harus lebih besar atau sama dengan *delay spread* maksimum ($T_{CP} \geq 2\tau$) agar orthogonalitas antar *subcarrier* tetap terjaga. Pada model OFDMA untuk standar IEEE 802.16, dinyatakan bahwa panjang simbol 102.9 μs dengan durasi simbol 91.4 μs , sehingga panjang CP yang digunakan untuk analisis skripsi ini adalah :

$$\alpha_{CP} = T_{CP}/T_b = (T_s - T_b)/T_b = (102.9 - 91.4)/91.4 = 1/8 = 12.5\%$$

CP yang digunakan adalah 1/8 (12.5%) dari durasi simbol OFDMA untuk menoleransi *delay spread* mencapai 11.4 μs , berdasarkan model OFDMA pada standar IEEE 802.16. [Kwang-Cheng Chen, 2008]

Mobile WiMAX telah menggunakan *Scalable Orthogonal Frequency Division Multiple Access* (SOFDMA), yaitu suatu teknik modulasi *multicarrier* yang menggunakan subkanalisasi. Pada skripsi ini parameter *Scalable* OFDMA yang digunakan sesuai dengan Tabel 4.1.

Tabel 4.1 Parameter *Scalable* OFDMA

Parameter	Nilai
<i>Bandwidth Channel System</i> (MHz)	5
<i>Symbol Rate</i> (F_p in MHz)	5.6
<i>FFT Size</i> (N_{FFT})	512
<i>Subcarrier Frequency Spacing</i>	10.94 kHz
<i>Useful Symbol Time</i> ($T_s = 1/f$)	91.4 μ s
<i>Guard Time</i> ($T_g = T_b/8$)	11.4 μ s
<i>OFDMA Symbol Duration</i> ($T_s = T_b + T_g$)	102.9 μ s
<i>Number of OFDMA Symbol (5 ms Frame)</i>	48

(Sumber : WiMAX Forum, 2006)

Sedangkan untuk laju data pada kanal *bandwidth* 5 MHz sesuai dengan teknik modulasi yang digunakan, ditunjukkan Tabel 4.2.

Tabel 4.2 Parameter Laju Data *Mobile* WiMAX

Modulasi	Laju Data (Mbps) pada <i>Bandwidth</i> Kanal 5 MHz
QPSK	3.17
	4.75
16-QAM	6.34
	9.5
64-QAM	9.5
	14.26

(Sumber : WiMAX Forum, 2006)

4.2 Analisis *Bandwidth* Sistem *Mobile* WiMAX dengan Teknik Modulasi yang Berbeda

Pada sistem komunikasi yang menggunakan teknik OFDMA, laju data yang tinggi akan dibagi ke dalam beberapa *subcarrier* untuk kemudian dialirkan secara paralel dengan nilai laju data yang lebih rendah.

Pada sub-bab ini akan dianalisis *bandwidth* sistem terhadap kecepatan pengguna yang bervariasi. Dalam skripsi ini, pengguna diasumsikan bergerak dengan kecepatan konstan yaitu pada kecepatan 3 km/jam, 60 km/jam, dan 120 km/jam. Teknik modulasi yang digunakan adalah QPSK, 16-QAM dan 64-QAM dengan total laju data yang berbeda sesuai dengan parameter *data rate mobile* WiMAX pada Tabel 4.2.

Dengan menggunakan teknik modulasi QPSK, laju data pada *bandwidth* kanal 5 MHz yang digunakan adalah 3.17 Mbps dan jumlah *subcarrier* 512, maka diperoleh laju data untuk masing-masing *subcarrier* yang dihitung dengan menggunakan Persamaan (2-2), sebesar :

$$R_{sub} = \frac{R_{tot}}{N}$$

$$R_{sub} = \frac{3.17 \text{ Mbps}}{512} = 0.0062 \text{ Mbps}$$

Dengan menggunakan cara yang sama, dapat diperoleh nilai laju data masing-masing *subcarrier* untuk total laju data yang lain, seperti yang ditunjukkan pada Tabel 4.3.

Tabel 4.3 Hasil Perhitungan Laju Data masing-masing *Subcarrier*

Modulasi	Laju Data (Mbps) masing-masing <i>Subcarrier</i>
QPSK	0.0062
	0.0093
16-QAM	0.0124
	0.0186
64-QAM	0.0186
	0.0279

(Sumber : Hasil Perhitungan, 2012)

Dan dari Persamaan (2-3), durasi masing-masing *subcarrier* dengan nilai M pada QPSK adalah $2^2 = 4$, adalah :

$$T_{sub} = \frac{2}{R_{sub}}$$

$$T_{sub} = \frac{2}{0.0062 \times 10^6} = 323.0284 \mu\text{s}$$

Dengan menggunakan cara yang sama dapat diperoleh nilai durasi masing-masing *subcarrier* untuk total laju data yang lain, seperti yang ditunjukkan pada Tabel 4.4.

Tabel 4.4 Hasil Perhitungan Durasi masing-masing *Subcarrier*

Modulasi	T_{sub} (μs)
QPSK	323.0284
	215.5789
16-QAM	323.0284
	215.5789
64-QAM	323.3684
	215.4278

(Sumber : Hasil Perhitungan, 2012)

Dibutuhkan *cyclic prefix* untuk mencegah terjadinya *intersymbol interference* dan *interchannel interference* pada *subcarrier-subcarrier* yang saling tumpang tindih.

Durasi CP sebesar 12.5% dari durasi *subcarrier*, sehingga :

$$T_{CP} = 0.125 \times T_{sub}$$

$$T_{CP} = 0.125 \times (323.0284 \times 10^{-6}) = 40.3785 \mu s$$

Dengan menggunakan cara yang sama dapat diperoleh nilai durasi *cyclic prefix* masing-masing *subcarrier* untuk total laju data yang lain, seperti yang ditunjukkan pada Tabel 4.5.

Tabel 4.5 Hasil Perhitungan Durasi *Cyclic Prefix* masing-masing *Subcarrier*

Modulasi	T_{CP} (μs)
QPSK	40.3785
	26.9474
16-QAM	40.3785
	26.9474
64-QAM	40.4211
	26.9285

(Sumber : Hasil Perhitungan, 2012)

Sehingga durasi simbol OFDMA menjadi :

$$T_s = T_{sub} - T_{CP}$$

$$T_s = (323.0284 - 40.3785) \times 10^{-6} = 282.6499 \mu s$$

Dengan menggunakan cara yang sama dapat diperoleh nilai durasi simbol OFDMA masing-masing *subcarrier* untuk total laju data yang lain, seperti yang ditunjukkan pada Tabel 4.6.

Tabel 4.6 Hasil Perhitungan Durasi Simbol masing-masing *Subcarrier*

Modulasi	T_s (μ s)
QPSK	282.6499
	188.6316
16-QAM	282.6499
	188.6316
64-QAM	282.9473
	188.4993

(Sumber : Hasil Perhitungan, 2012)

Dari Tabel 4.6 dapat diketahui bahwa semakin besar nilai laju data yang digunakan maka semakin pendek durasi simbol yang akan ditransmisikan, begitu pula sebaliknya.

Nilai *bandwidth* sistem dipengaruhi oleh nilai laju data, jumlah *subcarrier*, faktor *cyclic prefix*, dan kecepatan pengguna. Pada skripsi ini pengguna diasumsikan bergerak dengan kecepatan konstan, yaitu pada kecepatan 3 km/jam, 60 km/jam dan 120 km/jam. Pergeseran frekuensi *doppler* maksimum yang terjadi untuk kecepatan 3 km/jam dapat dihitung sesuai Persamaan (2-8) sebagai berikut :

$$f_m(v) = \frac{f_c v}{c}$$

$$f_m(3) = \frac{3 \text{ km/jam} \times 2.5 \text{ GHz}}{3 \times 10^8 \text{ m/s}}$$

$$f_m(3) = \frac{\left(\frac{3 \times 1000}{3600}\right) \times 2.5 \times 10^9}{3 \times 10^8} = 6.9444 \text{ Hz}$$

Adanya pergerakan pengguna menyebabkan terjadinya pelebaran spektrum sinyal sesuai dengan nilai frekuensi *doppler* maksimum. Sehingga nilai *bandwidth* sistem dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan (2-5) yang ditambahkan dengan pengaruh kecepatan pengguna. *Bandwidth* sistem untuk kecepatan pengguna 3 km/jam dengan jumlah *subcarrier* 512 dan laju data menggunakan teknik modulasi QPSK = 3.17 Mbps dengan $M = 4$, adalah :

$$B_{sistem} = \frac{R_{tot} [2(1-\alpha_{CP})+N-1]}{(1-\alpha_{CP})N \log_2(M)} + f_m \quad (3)$$

$$B_{sistem} = \frac{3.17 \times 10^6 \times [2(1-0.125)+512-1]}{(1-0.125) \times 512 \times \log_2(4)} + 6.9444$$

$$B_{sistem} = 1.8141 \text{ MHz}$$

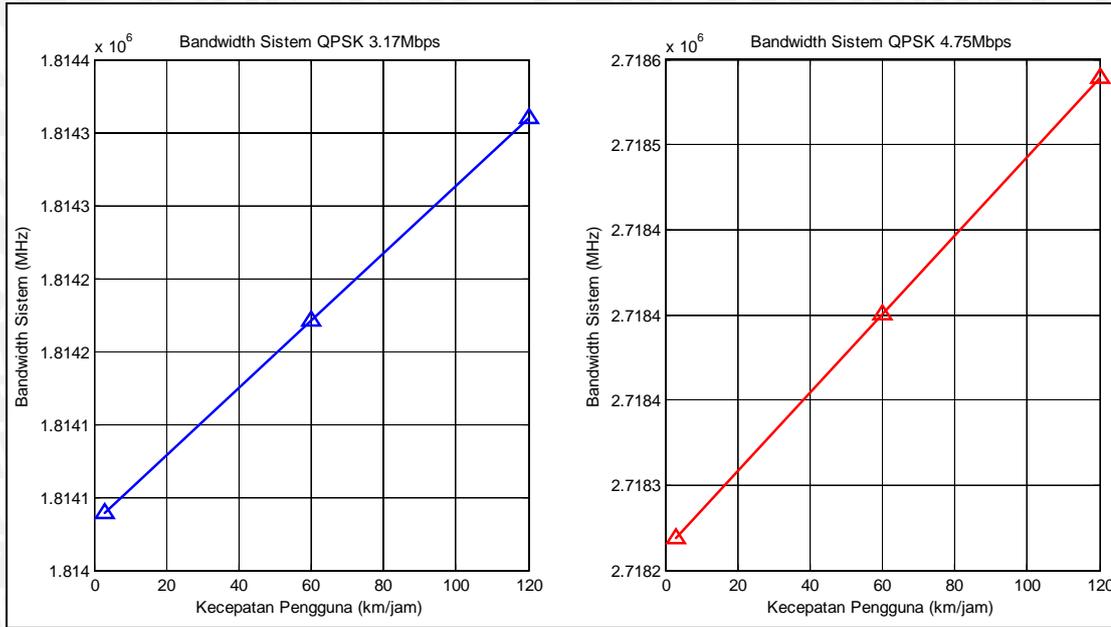
Untuk teknik modulasi 16-QAM terdapat kemungkinan sinyal (M) = 16 dan M = 64 untuk 64-QAM. Kemudian dengan menggunakan cara yang sama, dapat diperoleh nilai *bandwidth* sistem pada kanal teknik modulasi yang berbeda. Hasil perhitungan tersebut ditunjukkan pada Tabel 4.7.

Tabel 4.7 Hasil Perhitungan *Bandwidth* Sistem

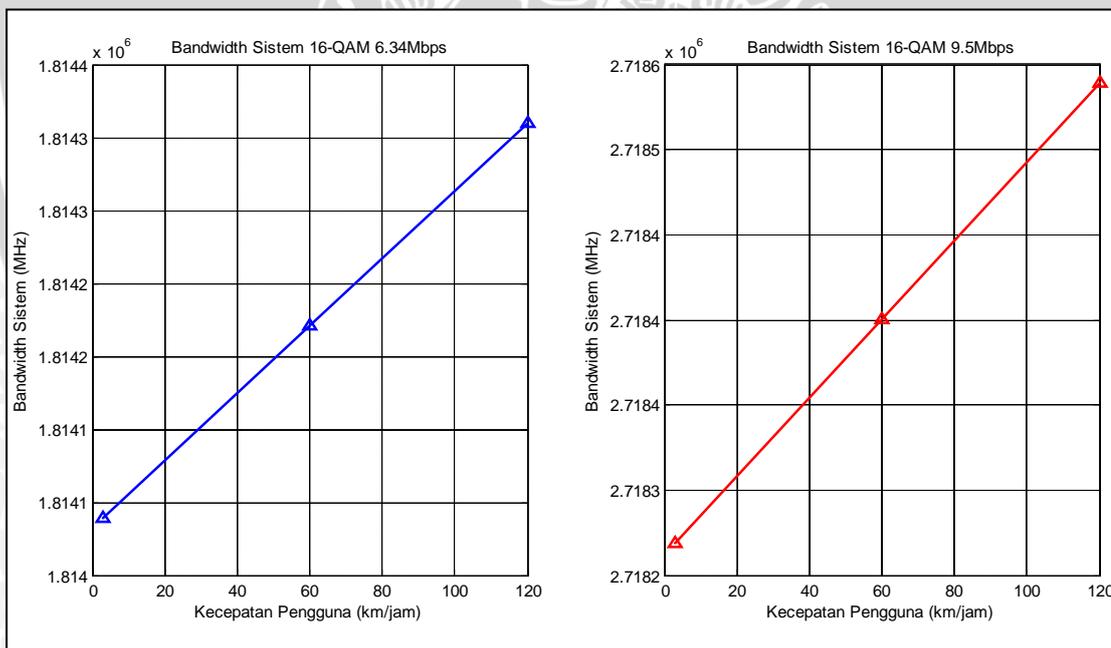
Kecepatan (km/jam)	f_m (Hz)	<i>Bandwidth</i> Sistem (B_{sistem}) (MHz)					
		QPSK		16-QAM		64-QAM	
		3.17 Mbps	4.75 Mbps	6.34 Mbps	9.5 Mbps	9.5 Mbps	14.26 Mbps
3	6.9444	1.8141	2.7183	1.8141	2.7183	1.8122	2.7202
60	138.8889	1.8142	2.7184	1.8142	2.7184	1.8123	2.7203
120	277.7778	1.8144	2.7185	1.8144	2.7186	1.8125	2.7205

(Sumber : Hasil Perhitungan, 2012)

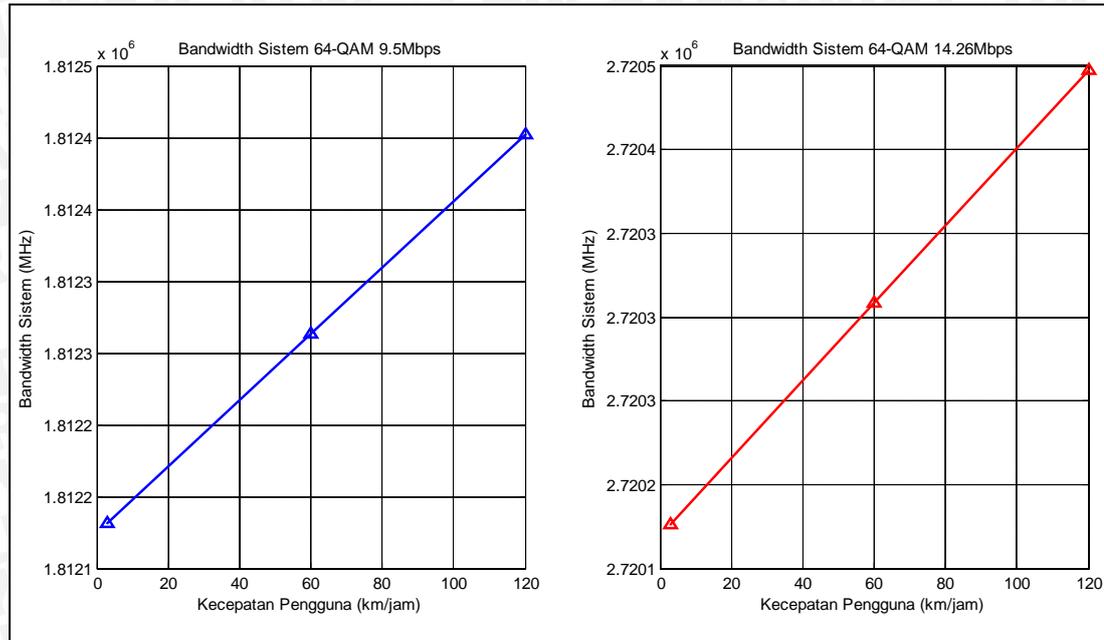
Berdasarkan Tabel 4.7 dapat diketahui bahwa kecepatan pengguna berpengaruh terhadap nilai *bandwidth* sistem. Dimana semakin cepat pergerakan pengguna akan menyebabkan *bandwidth* sistem semakin besar. Sedangkan penggunaan modulasi berpengaruh terhadap total laju data dan banyaknya jumlah bit dalam satu simbol. Semakin besar laju data maka semakin besar penggunaan *bandwidth*, begitu pula sebaliknya.



Gambar 4.2 Grafik Pengaruh Kecepatan Pengguna Terhadap *Bandwidth* Sistem Menggunakan Teknik Modulasi QPSK
(Sumber : Hasil Perhitungan, 2013)



Gambar 4.3 Grafik Pengaruh Kecepatan Pengguna Terhadap *Bandwidth* Sistem Menggunakan Teknik Modulasi 16-QAM
(Sumber : Hasil Perhitungan, 2013)



Gambar 4.4 Grafik Pengaruh Kecepatan Pengguna Terhadap *Bandwidth* Sistem Menggunakan Teknik Modulasi 64-QAM
(Sumber : Hasil Perhitungan, 2013)

Gambar 4.2 sampai Gambar 4.4 menunjukkan pengaruh kecepatan pengguna terhadap nilai *bandwidth* sistem. Dimana semakin cepat pergerakan pengguna, maka semakin besar nilai *bandwidth* sistem. Nilai *bandwidth* sistem terbesar terjadi ketika kecepatan pengguna 120 km/jam. Sedangkan penggunaan modulasi berpengaruh terhadap total laju data yang digunakan dan banyaknya jumlah bit dalam satu simbol. Semakin rendah total laju data yang digunakan akan menyebabkan kecilnya penggunaan *bandwidth*. Misalnya pada modulasi QPSK yang menggunakan total laju data sebesar 3.17 Mbps dan 4.75 Mbps dimana banyaknya bit dalam satu simbol adalah 2 bit pada kecepatan pengguna 3 km/jam, dihasilkan *bandwidth* sistem sebesar 1.8141 MHz untuk total laju data 3.17 Mbps dan 2.7183 MHz untuk total laju data 4.75 Mbps.

4.3 Analisis Signal to Noise Ratio (SNR) Sistem Mobile WiMAX

Signal to Noise Ratio (SNR) adalah perbandingan antara sinyal yang dikirim terhadap *noise*. SNR digunakan untuk mengetahui besarnya pengaruh redaman sinyal terhadap sinyal yang ditransmisikan. Spesifikasi *mobile* WiMAX yang digunakan dalam skripsi ini ditunjukkan oleh Tabel 4.8.

Tabel 4.8 Speifikasi *Mobile* WiMAX 802.16e

Parameter	Value
<i>Operating Frequency</i>	2500 MHz
<i>Duplex</i>	TDD
<i>Bandwidth System</i>	5 MHz
<i>Modulation Technique</i>	QPSK, 16-QAM, 64-QAM
<i>BS Height</i>	32 meters
<i>MS Height</i>	1.5 meters
<i>BS Maximum Power Amplifier Power</i>	43 dBm
<i>Mobile Terminal Maximum PA Power</i>	23 dBm
<i>BS Antenna Gain</i>	15 dBi
<i>MS Antenna Gain</i>	-1 dBi
<i>MS Noise Figure</i>	7 dB
<i>BS Noise Figure</i>	4 dB
<i>Operating Temperature</i>	0°C - 40°C

(Sumber : WiMAX Forum, 2006)

Pada propagasi gelombang elektromagnetik, semakin jauh jarak *transmitter* dan *receiver*, maka semakin kecil daya yang diterima oleh *receiver*. Hal ini disebabkan adanya redaman saat pentransmisiian sinyal. Penurunan kekuatan gelombang elektromagnetik karena menyebar melalui ruang bebas disebut *pathloss*. *Pathloss* dengan pengaruh *multipath fading* dapat diketahui berdasarkan kondisi *non-line of sight* (NLOS). NLOS adalah kondisi dimana antara *transmitter* dan *receiver* terdapat banyak penghalang, seperti pohon, gedung dan rumah. Kondisi ini menyebabkan sinyal yang dikirim oleh pemancar mengalami pantulan, difraksi ataupun hamburan sehingga sinyal tersebut memiliki lebih dari satu jalur dalam pentransmisiannya. Dalam skripsi ini digunakan model propagasi ECC 33 untuk menghitung nilai *pathloss*. Jarak antara *base station* dan *user equipment* dibuat bervariasi mulai 700 m – 2.1 km dengan spasi jarak 200 m, dan *user equipment* (pengguna) diasumsikan bergerak dengan kecepatan konstan yaitu pada kecepatan 3 km/jam, 60 km/jam, dan 120 km/jam.

Perhitungan redaman propagasi pada kondisi NLOS dihitung dengan kondisi sistem bekerja pada frekuensi (f_c) = 2.5 GHz dan tinggi antenna *transmitter* (h_b) = 32 m dan tinggi antenna *receiver* (h_r) = 1.5 m. Dengan menggunakan Persamaan (2-9) hingga Persamaan (2-13), maka nilai redaman propagasi pada kondisi NLOS untuk jarak (d) = 0,7 km dapat dihitung sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 \checkmark \quad A_{fs} &= 92.4 + 20 \log_{10}(d) + 20 \log_{10}(f_c) \\
 &= 92.4 + 20 \log_{10}(0.7) + 20 \log_{10}(2.5) \\
 &= 92.4 + (-3.098) + 7.9588 \\
 &= 97.2608 \text{ dB} \\
 \checkmark \quad A_{bm} &= 20.41 + 9.83 \log_{10}(d) + 7.894 \log_{10}(f_c) + 9.56 [\log_{10}(f_c)]^2 \\
 &= 20.41 + 9.83 \log_{10}(0.7) + 7.894 \log_{10}(2.5) + 9.56 [\log_{10}(2.5)]^2 \\
 &= 20.41 + (-1.5226) + 3.1413 + 1.5138 \\
 &= 23.5425 \text{ dB} \\
 \checkmark \quad G_b &= \log_{10} \left(\frac{h_b}{200} \right) \{13.958 + 5.8[\log_{10}(d)]^2\} \\
 &= \log_{10} \left(\frac{32}{200} \right) \{13.958 + 5.8[\log_{10}(0.7)]^2\} \\
 &= (-0.7958) \times 14.0971 \\
 &= -11.2197 \\
 \checkmark \quad G_r &= 0.759h_r - 1.862 \\
 &= 0.759(1.5) - 1.862 \\
 &= -0.7235 \\
 \checkmark \quad P_L \text{ (dB)} &= A_{fs} + A_{bm} - G_b - G_r \\
 &= 97.2608 \text{ dB} + 23.5425 \text{ dB} - (-11.2197) - (-0.7235) \\
 &= 132.7465 \text{ dB}
 \end{aligned}$$

Dengan menggunakan cara yang sama, dapat diperoleh besarnya redaman propagasi pada kondisi NLOS untuk jarak antara *base station* dengan *user equipment* sejauh 700 m – 2100 m dengan spasi jarak 200 m. Hasil perhitungan tersebut ditunjukkan pada Tabel 4.9.

Tabel 4.9 Hasil Perhitungan Redaman Propagasi NLOS

Jarak (m)	Redaman Propagasi $P_{L(NLOS)}$ (dB)
700	132.7465
900	135.9011
1100	138.4991
1300	140.7153
1500	142.6524
1700	144.3759
1900	145.9303
2100	147.3475

(Sumber : Hasil Perhitungan, 2012)

Redaman propagasi (*pathloss*) yang dihasilkan menunjukkan bahwa semakin jauh jarak antara *base station* dan *user equipment* nilai *pathloss* semakin besar. Hal ini dikarenakan semakin jauh jarak, halangan pada lintasan yang dilalui oleh gelombang elektromagnetik yang dikirim dari pemancar ke penerima semakin banyak. Halangan ini bisa berupa gedung bertingkat, rumah ataupun pepohonan. Nilai *pathloss* ini dipergunakan untuk menganalisis besarnya daya terima (P_r) pada *receiver*. Sesuai dengan Persamaan (2-15) maka besarnya daya terima pada *receiver* pada kanal 5 MHz dengan jumlah *subcarrier* 512 adalah :

$$P_r = P_t + G_t + G_r - P_L - 10\log_{10}(N)$$

$$P_r = 43 + 15 + (-1) - 132.7465 - 10\log_{10}(512)$$

$$P_r = -102.8392 \text{ dBm}$$

Dengan menggunakan cara perhitungan yang sama, dapat diperoleh besarnya daya terima pada kondisi NLOS pada kanal *bandwidth* 5 MHz dimana jarak antara *base station* dan *user equipment* dibuat bervariasi dari jarak 700 m sampai 2100 m dengan spasi jarak 200 m. Hasil perhitungan tersebut ditunjukkan pada Tabel 4.10.

Tabel 4.10 Hasil Perhitungan Daya Terima pada *Receiver*

Jarak (m)	Daya Terima $P_r(NLOS)$ (dBm)
700	-102.8392
900	-105.9938
1100	-108.5918
1300	-110.8080
1500	-112.7451
1700	-114.4686
1900	-116.0230
2100	-117.4402

(Sumber : Hasil Perhitungan, 2012)

Setelah didapat daya terima untuk jarak *base station* dan *user equipment* yang bervariasi, selanjutnya adalah menghitung daya *noise*. Daya *noise* untuk jumlah *subcarrier* 512, kecepatan 3 km/jam dan *bandwidth* sistem yang menggunakan teknik modulasi QPSK sebesar 1.8141 MHz dapat dihitung dengan Persamaan (2-16).

$$N_o = 10 \log_{10}(kT) + 10 \log_{10}(B_{sistem}) + NF$$

$$N_o = 10 \log_{10}(1.38 \times 10^{-23} \times 300) + 10 \log_{10}(1.8141 \times 10^6) + 7$$

$$N_o = -134.2434 \text{ dBm}$$

Dengan menggunakan cara yang sama, dapat diperoleh nilai daya *noise* dengan menggunakan nilai *bandwidth* sistem yang berbeda. Hasil perhitungan ditunjukkan pada Tabel 4.11.

Tabel 4.11 Hasil Perhitungan Daya *Noise*

Kecepatan	N_o (dBm)					
	QPSK		16-QAM		64-QAM	
	3.17 Mbps	4.75 Mbps	6.34 Mbps	9.5 Mbps	9.5 Mbps	14.26 Mbps
3 km/jam	-134.2434	-132.4871	-134.2434	-132.4871	-134.2480	-132.4840
60 km/jam	-134.2431	-132.4869	-134.2431	-132.4869	-134.2477	-132.4838
120 km/jam	-134.2428	-132.4866	-134.2428	-132.4866	-134.2473	-132.4836

(Sumber : Hasil Perhitungan, 2012)

Nilai SNR pada kondisi NLOS dihitung menggunakan nilai daya terima (P_r , (N_{LOS})) sesuai Tabel 4.10 dan daya noise (N_o) sesuai Tabel 4.11. Pada jarak 700 m kondisi NLOS dapat dihitung menggunakan Persamaan (2-14) seperti berikut :

$$\begin{aligned} \checkmark \quad SNR_{(dB)} &= P_r \text{ (dBm)} - N_o \text{ (dBm)} \\ SNR_{(dB)} &= (-102.8392) - (-134.2434) \\ SNR_{(dB)} &= 31.4042 \text{ dB} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \checkmark \quad SNR_{(dB)} &= 10 \cdot \log_{10}(s) \\ 31.4042 &= 10 \cdot \log_{10}(s) \\ s &= 10^{3.14042} = 1.3817 \times 10^3 \end{aligned}$$

Untuk nilai SNR = 31.4043 dB = 1.3817×10^3 dengan durasi CP 0.125, dapat diperoleh nilai SNR sistem dengan menggunakan Persamaan (2-17) seperti berikut :

$$\begin{aligned} \checkmark \quad SNR_{sistem} &= (1 - \alpha_{CP})SNR \\ SNR_{sistem} &= (1 - 0.125) \times 1.3817 \times 10^3 \\ SNR_{sistem} &= 1.2090 \times 10^3 \\ \checkmark \quad SNR_{sistem} &= 10 \log_{10}(1.2090 \times 10^3) \\ SNR_{sistem} &= 30.8243 \text{ dB} \end{aligned}$$

Dengan menggunakan cara yang sama, dapat diperoleh nilai SNR sistem pada kondisi NLOS untuk kecepatan 3 km/jam, 60 km/jam dan 120 km/jam dengan menggunakan teknik modulasi yang berbeda untuk jarak 900 m, 1100 m, 1300 m, 1500 m, 1700 m, 1900 m dan 2100 m. Hasil perhitungan ditunjukkan pada Tabel 4.12, Tabel 4.13, dan Tabel 4.14.

Tabel 4.12 Hasil Perhitungan SNR Sistem pada Kecepatan 3 km/jam

Teknik Modulasi	QPSK		16-QAM		64-QAM	
	3.17 Mbps	4.75 Mbps	6.34 Mbps	9.5 Mbps	9.5 Mbps	14.26 Mbps
Jarak (m)	<i>Signal to Noise Ratio (SNR) Sistem (dB)</i>					
700	30.8243	29.0680	30.8243	29.0680	30.8289	29.0650
900	27.6697	25.9133	27.6697	25.9133	27.6742	25.9103
1100	25.0717	23.3154	25.0717	23.3154	25.0763	23.3123
1300	22.8555	21.0992	22.8555	21.0992	22.8601	21.0961
1500	20.9184	19.1621	20.9184	19.1621	20.9230	19.1591
1700	19.1949	17.4386	19.1949	17.4386	19.1995	17.4356
1900	17.6405	15.8841	17.6405	15.8841	17.6450	15.8811
2100	16.2233	14.4670	16.2233	14.4670	16.2279	14.4639

(Sumber : Hasil Perhitungan, 2013)

Tabel 4.13 Hasil Perhitungan SNR Sistem pada Kecepatan 60 km/jam

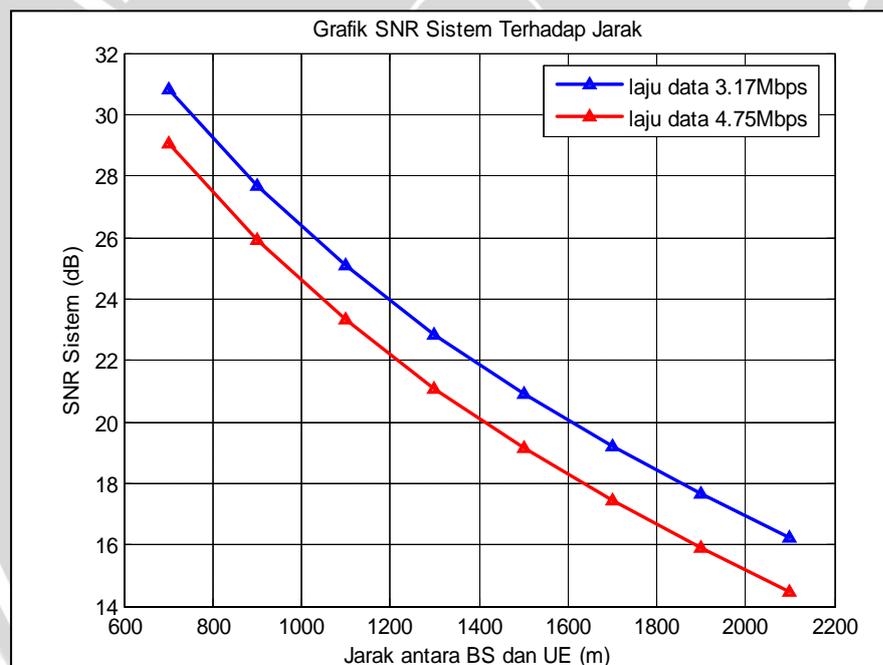
Teknik Modulasi	QPSK		16-QAM		64-QAM	
	3.17 Mbps	4.75 Mbps	6.34 Mbps	9.5 Mbps	9.5 Mbps	14.26 Mbps
Jarak (m)	<i>Signal to Noise Ratio (SNR) Sistem (dB)</i>					
700	30.8240	29.0678	30.8240	29.0678	30.8286	29.0647
900	27.6693	25.9131	27.6693	25.9131	27.6739	25.9101
1100	25.0714	23.3152	25.0714	23.3152	25.0760	23.3121
1300	22.8552	21.0990	22.8552	21.0990	22.8598	21.0959
1500	20.9181	19.1619	20.9181	19.1619	20.9227	19.1588
1700	19.1946	17.4384	19.1946	17.4384	19.1992	17.4353
1900	17.6402	15.8839	17.6402	15.8839	17.6447	15.8809
2100	16.2230	14.4668	16.2230	14.4668	16.2276	14.4637

(Sumber : Hasil Perhitungan, 2013)

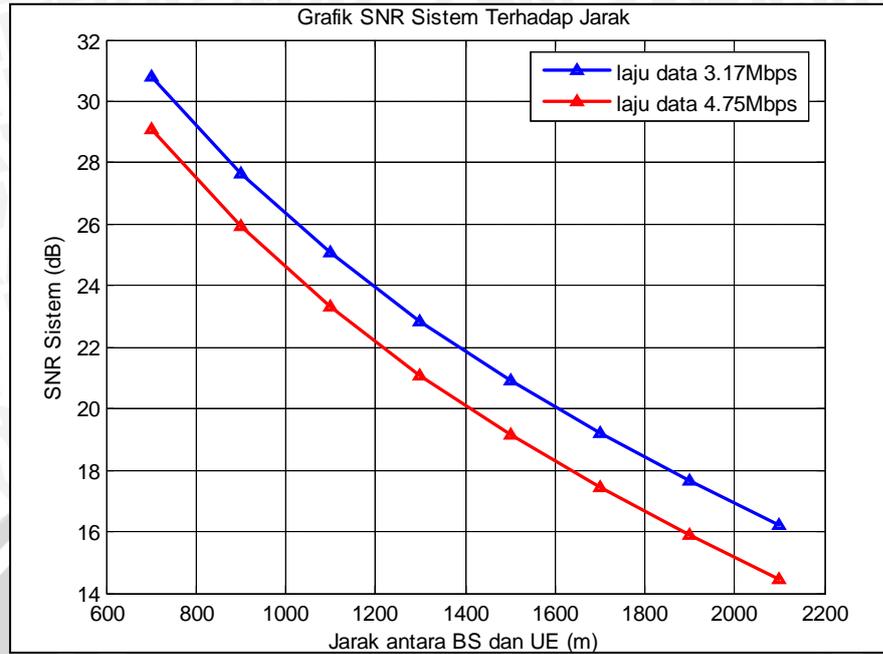
Tabel 4.14 Hasil Perhitungan SNR Sistem pada Kecepatan 120 km/jam

Teknik Modulasi	QPSK		16-QAM		64-QAM	
	3.17 Mbps	4.75 Mbps	6.34 Mbps	9.5 Mbps	9.5 Mbps	14.26 Mbps
Jarak (m)	<i>Signal to Noise Ratio (SNR) Sistem (dB)</i>					
700	30.8237	29.0676	30.8237	29.0676	30.8283	29.0645
900	27.6690	25.9129	27.6690	25.9129	27.6736	25.9098
1100	25.0711	23.3150	25.0711	23.3150	25.0756	23.3119
1300	22.8549	21.0987	22.8549	21.0987	22.8594	21.0957
1500	20.9178	19.1617	20.9178	19.1617	20.9224	19.1586
1700	19.1943	17.4382	19.1943	17.4382	19.1989	17.4351
1900	17.6398	15.8837	17.6398	15.8837	17.6444	15.8806
2100	16.2227	14.4665	16.2227	14.4665	16.2272	14.4635

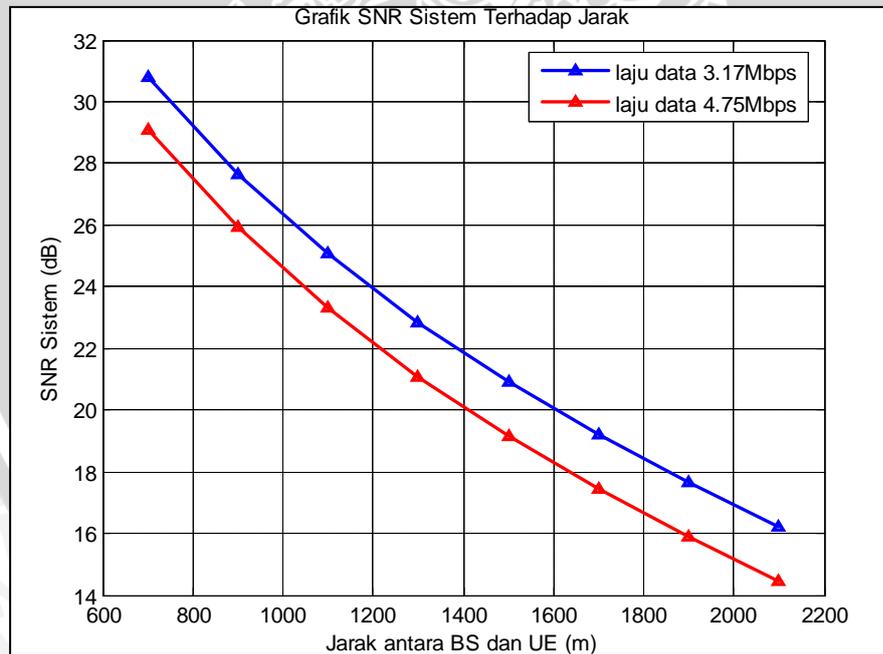
(Sumber : Hasil Perhitungan, 2013)

**Gambar 4.5** Grafik Pengaruh Jarak BS dan UE Terhadap Nilai SNR Sistem dengan Laju Data Total yang Berbeda untuk Kecepatan Pengguna 3 km/jam Menggunakan Teknik Modulasi QPSK

(Sumber : Hasil Perhitungan, 2013)



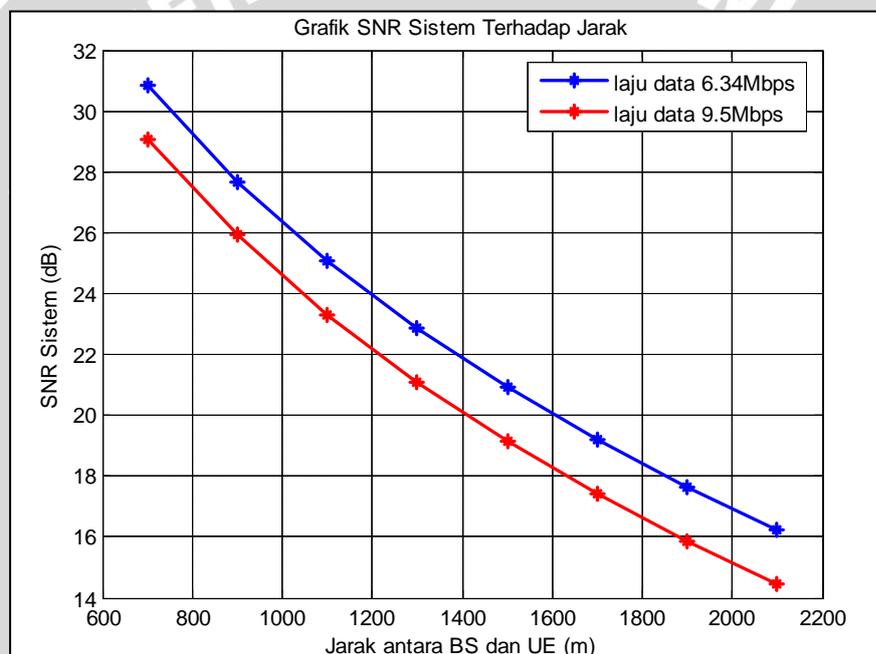
Gambar 4.6 Grafik Pengaruh Jarak BS dan UE Terhadap Nilai SNR Sistem dengan Laju Data Total yang Berbeda untuk Kecepatan Pengguna 60 km/jam Menggunakan Teknik Modulasi QPSK
(Sumber : Hasil Perhitungan, 2013)



Gambar 4.7 Grafik Pengaruh Jarak BS dan UE Terhadap Nilai SNR Sistem dengan Laju Data Total yang Berbeda untuk Kecepatan Pengguna 120 km/jam Menggunakan Teknik Modulasi QPSK
(Sumber : Hasil Perhitungan, 2013)

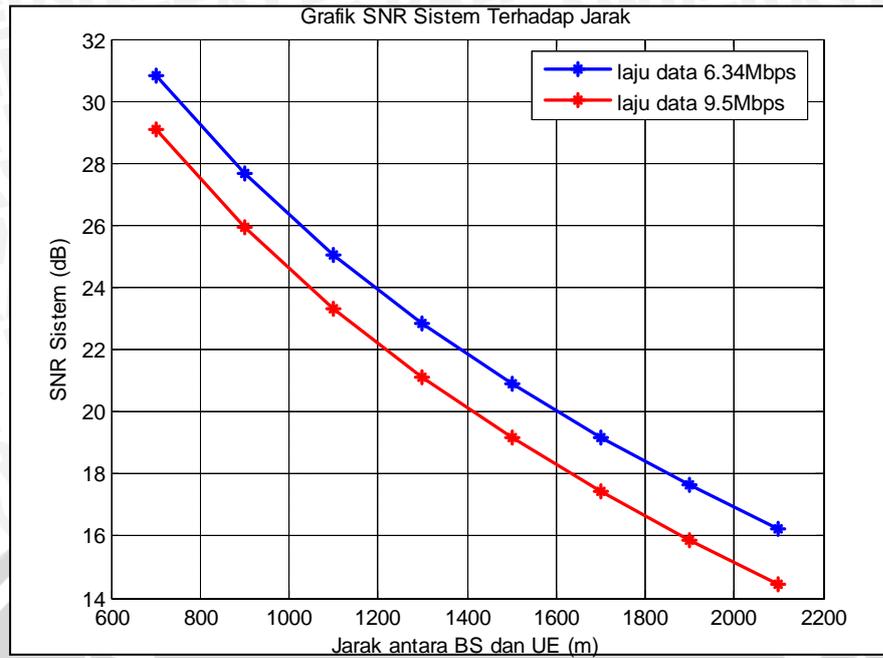
Gambar 4.5 sampai Gambar 4.7 merupakan gambar grafik yang menunjukkan pengaruh jarak *base station* dan *user equipment* terhadap nilai SNR sistem pada

kecepatan yang bervariasi yaitu 3 km/jam, 60 km/jam dan 120 km/jam menggunakan modulasi QPSK dengan laju data total yang berbeda. Nilai SNR sistem akan semakin kecil ketika jarak *base station* dan *user equipment* semakin jauh dan kecepatan pengguna semakin tinggi. Hal ini dikarenakan semakin jauh jarak *base station* dan *user equipment* maka akan semakin besar pula rugi-rugi propagasi ruang bebas. Laju data total yang semakin tinggi juga berpengaruh pada nilai SNR sistem, dimana semakin tinggi laju data total menyebabkan nilai SNR sistem semakin kecil seperti terlihat pada kecepatan 3 km/jam, jarak 700 m dengan laju data total 3.17 Mbps nilai SNR sistem adalah 30.8243 dB, sedangkan pada laju data total 4.75 Mbps dengan kecepatan pengguna dan jarak yang sama, SNR sistem bernilai 29.0680 dB.

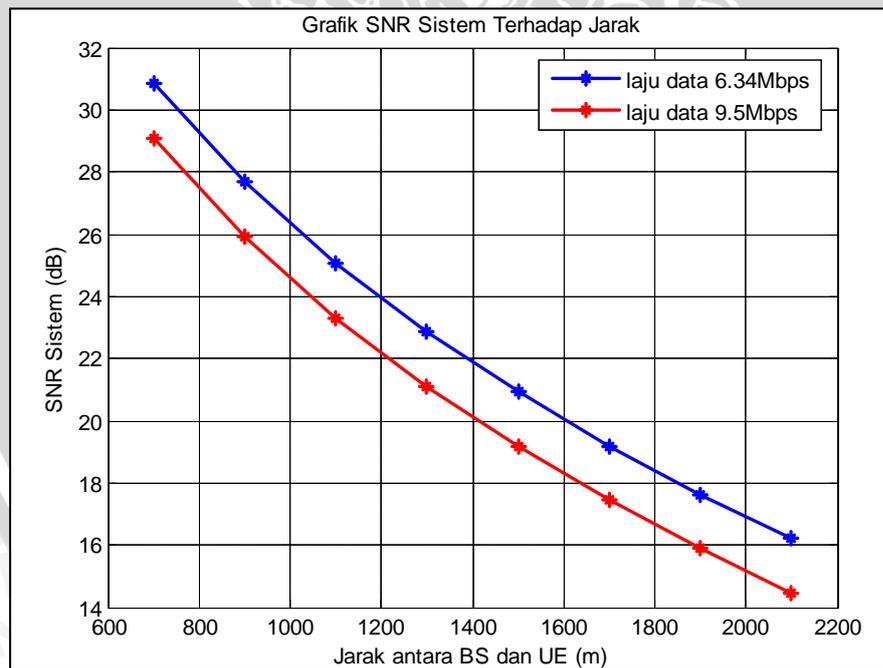


Gambar 4.8 Grafik Pengaruh Jarak BS dan UE Terhadap Nilai SNR Sistem dengan Laju Data Total yang Berbeda untuk Kecepatan Pengguna 3 km/jam Menggunakan Teknik Modulasi 16-QAM

(Sumber : Hasil Perhitungan, 2013)



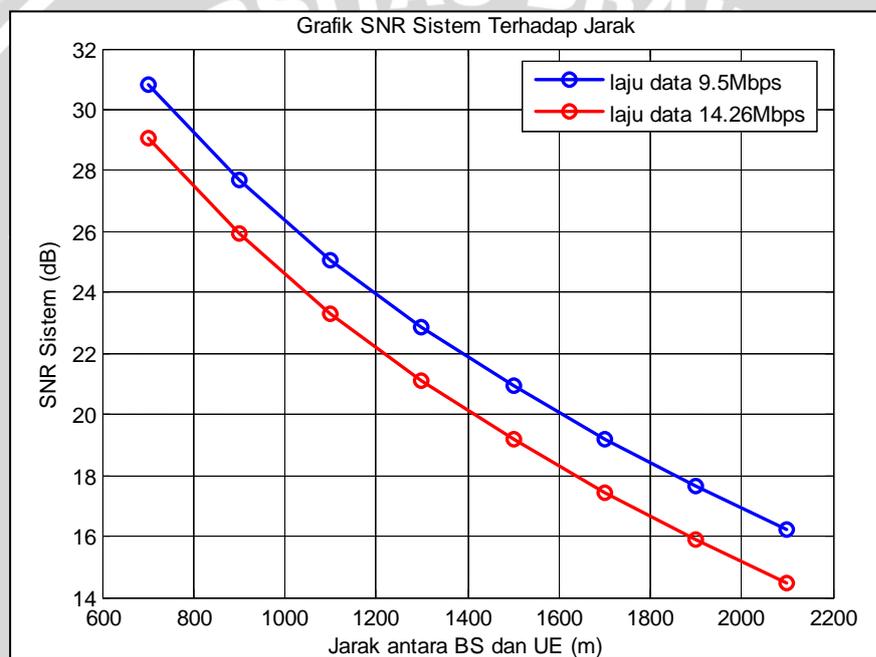
Gambar 4.9 Grafik Pengaruh Jarak BS dan UE Terhadap Nilai SNR Sistem dengan Laju Data Total yang Berbeda untuk Kecepatan Pengguna 60 km/jam Menggunakan Teknik Modulasi 16-QAM
(Sumber : Hasil Perhitungan, 2013)



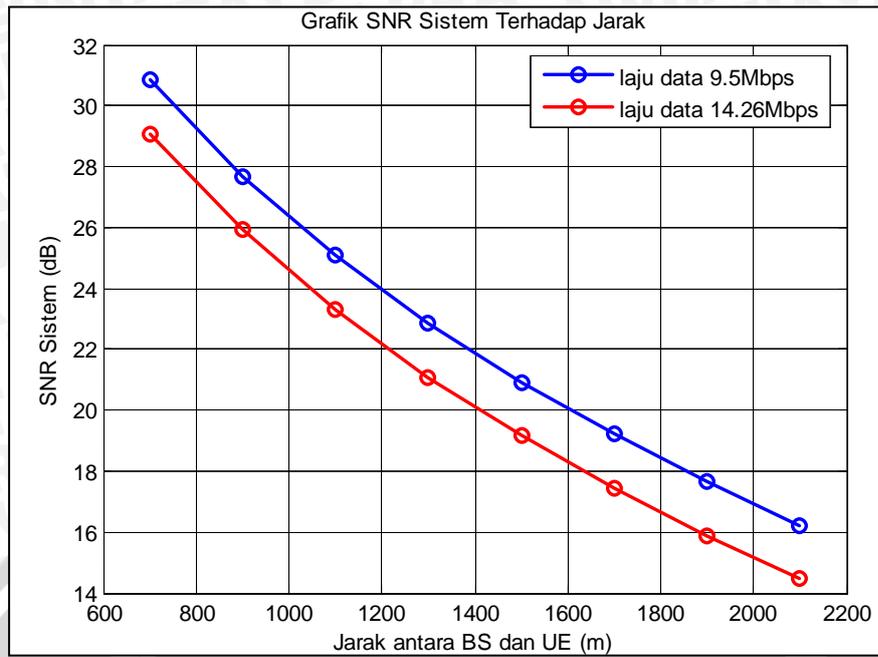
Gambar 4.10 Grafik Pengaruh Jarak BS dan UE Terhadap Nilai SNR Sistem dengan Laju Data Total yang Berbeda untuk Kecepatan Pengguna 120 km/jam Menggunakan Teknik Modulasi 16-QAM
(Sumber : Hasil Perhitungan, 2013)

Gambar 4.8 sampai Gambar 4.10 merupakan gambar grafik yang menunjukkan pengaruh jarak *base station* dan *user equipment* terhadap nilai SNR sistem pada kecepatan yang bervariasi yaitu 3 km/jam, 60 km/jam dan 120 km/jam menggunakan

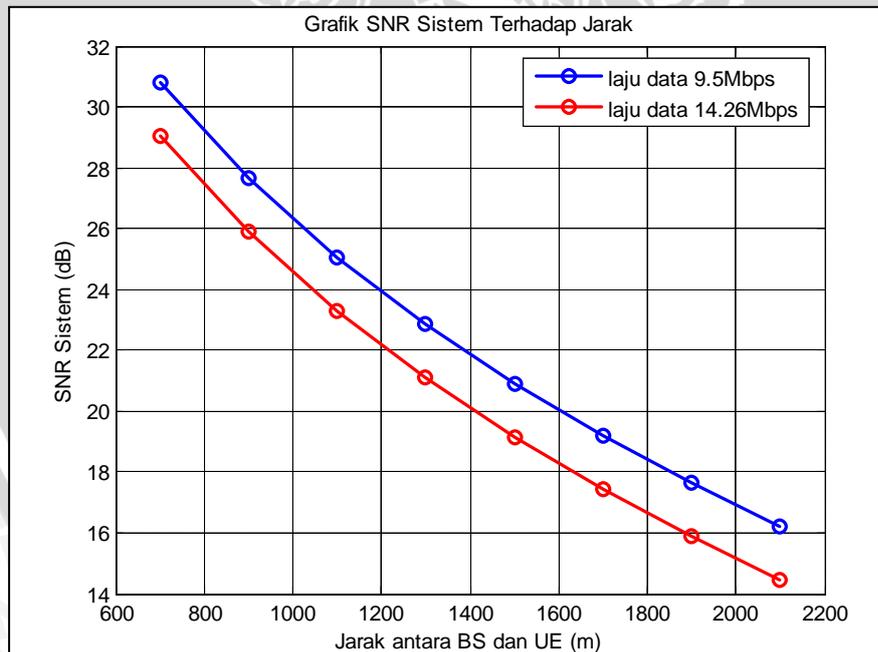
modulasi 16-QAM dengan laju data total yang berbeda. Nilai SNR sistem akan semakin kecil ketika jarak *base station* dan *user equipment* semakin jauh dan kecepatan pengguna semakin tinggi. Hal ini dikarenakan semakin jauh jarak *base station* dan *user equipment* maka akan semakin besar pula rugi-rugi propagasi ruang bebas. Laju data total yang semakin tinggi juga berpengaruh pada nilai SNR sistem, dimana semakin tinggi laju data total menyebabkan nilai SNR sistem semakin kecil seperti terlihat pada kecepatan 3 km/jam, jarak 700 m dengan laju data total 6.34 Mbps nilai SNR sistem adalah 30.8243 dB, sedangkan pada laju data total 9.5 Mbps dengan kecepatan pengguna dan jarak yang sama, SNR sistem bernilai 29.0680 dB.



Gambar 4.11 Grafik Pengaruh Jarak BS dan UE Terhadap Nilai SNR Sistem dengan Laju Data Total yang Berbeda untuk Kecepatan Pengguna 3 km/jam Menggunakan Teknik Modulasi 64-QAM
(Sumber : Hasil Perhitungan, 2013)



Gambar 4.12 Grafik Pengaruh Jarak BS dan UE Terhadap Nilai SNR Sistem dengan Laju Data Total yang Berbeda untuk Kecepatan Pengguna 60 km/jam Menggunakan Teknik Modulasi 64-QAM
(Sumber : Hasil Perhitungan, 2013)



Gambar 4.13 Grafik Pengaruh Jarak BS dan UE Terhadap Nilai SNR Sistem dengan Laju Data Total yang Berbeda untuk Kecepatan Pengguna 120 km/jam Menggunakan Teknik Modulasi 64-QAM
(Sumber : Hasil Perhitungan, 2013)

Gambar 4.11 sampai Gambar 4.13 merupakan gambar grafik yang menunjukkan pengaruh jarak *base station* dan *user equipment* terhadap nilai SNR sistem pada kecepatan yang bervariasi yaitu 3 km/jam, 60 km/jam dan 120 km/jam menggunakan

modulasi 64-QAM dengan laju data total yang berbeda. Nilai SNR sistem akan semakin kecil ketika jarak *base station* dan *user equipment* semakin jauh dan kecepatan pengguna semakin tinggi. Hal ini dikarenakan semakin jauh jarak *base station* dan *user equipment* maka akan semakin besar pula rugi-rugi propagasi ruang bebas. Laju data total yang semakin tinggi juga berpengaruh pada nilai SNR sistem, dimana semakin tinggi laju data total menyebabkan nilai SNR sistem semakin kecil seperti terlihat pada kecepatan 3 km/jam, jarak 700 m dengan laju data total 9.5 Mbps nilai SNR sistem adalah 30.8289 dB, sedangkan pada laju data total 14.26 Mbps dengan kecepatan pengguna dan jarak yang sama, SNR sistem bernilai 29.0650 dB.

Secara keseluruhan, berdasarkan hasil perhitungan *signal to noise ratio* (SNR) sistem dapat diketahui bahwa :

1. Nilai SNR sistem dipengaruhi oleh jarak *base station* dan *user equipment*. Semakin jauh jarak *base station* dan *user equipment* maka nilai SNR akan semakin kecil.
2. Kecepatan pengguna yang berubah secara konstan dari 3 km/jam, 60 km/jam dan 120 km/jam, membuat nilai SNR sistem berubah semakin kecil dari kecepatan terendah ke kecepatan tertinggi. Nilai perubahan tersebut sangat kecil, sehingga dapat disimpulkan bahwa pengaruh kecepatan pengguna tidak terlalu besar terhadap nilai SNR sistem. Hal ini dikarenakan nilai pelebaran spektrum sinyal jauh lebih kecil daripada *bandwidth* sistem tanpa pengaruh kecepatan.
3. Teknik modulasi tidak berpengaruh besar terhadap nilai SNR sistem. Hal ini dapat dilihat dari hasil perhitungan, dimana terjadi perubahan yang sangat kecil pada nilai SNR sistem yang dihitung menggunakan teknik modulasi yang berbeda. Akan tetapi nilai SNR sistem dipengaruhi oleh kecepatan laju data yang menggunakan suatu teknik modulasi. Sebagai contoh, dalam teknik modulasi QPSK dengan nilai laju data yang berbeda, nilai SNR sistem semakin kecil dengan bertambahnya kecepatan laju data. Begitu pula untuk nilai SNR sistem yang menggunakan teknik modulasi 16-QAM dan 64-QAM.

4.4 Analisis Bit Error Rate (BER) Sistem Mobile WiMAX

Bit error rate (BER) merupakan banyaknya *bit* yang salah dalam pentransmisian sejumlah *bit*. Nilai BER yang diinginkan sekecil mungkin agar diperoleh kualitas yang baik. Perhitungan nilai BER membutuhkan parameter nilai laju data, *bandwidth* sistem, SNR sistem dan E_b/N_o . Pada perhitungannya, digunakan teknik modulasi QPSK, 16-QAM dan 64-QAM.

Nilai E_b/N_o pada kanal *fading* dengan kecepatan 3 km/jam dapat diperoleh dengan menggunakan Persamaan (2-18). Nilai SNR yang digunakan sesuai Tabel 4.12, Tabel 4.13 dan Tabel 4.14. Hasil perhitungan adalah seperti berikut :

$$\frac{E_b}{N_o} = SNR_{sistem} + 10\log_{10} \frac{B}{R}$$

$$\frac{E_b}{N_o} = 30.8243 + 10\log_{10} \frac{1.8141 \times 10^6}{3.17 \times 10^6} = 28.4003 \text{ dB}$$

Dengan menggunakan cara yang sama dapat diperoleh nilai E_b/N_o dengan kecepatan 3 km/jam, 60 km/jam dan 120 km/jam untuk jarak BS dan UE 700 m sampai 2100 m dengan spasi jarak 200 m dengan teknik modulasi yang berbeda. Hasil perhitungan tersebut ditunjukkan oleh Tabel 4.15, Tabel 2.16, dan Tabel 4.17.

Tabel 4.15 Hasil Perhitungan E_b/N_o pada Kecepatan 3 km/jam

Teknik Modulasi	QPSK		16-QAM		64-QAM	
	3.17 Mbps	4.75 Mbps	6.34 Mbps	9.5 Mbps	9.5 Mbps	14.26 Mbps
Jarak (m)	<i>Energy Bit to Noise Ratio (E_b/N_o) (dB)</i>					
700	28.4003	26.6440	25.3900	23.6337	23.6337	21.8697
900	25.2456	23.4893	22.2353	20.4790	20.4790	18.7150
1100	22.6477	20.8914	19.6374	17.8811	17.8811	16.1171
1300	20.4315	18.6752	17.4212	15.6649	15.6649	13.9009
1500	18.4944	16.7381	15.4841	13.7278	13.7278	11.9638
1700	16.7709	15.0146	13.7606	12.0043	12.0043	10.2403
1900	15.2165	13.4601	12.2062	10.4498	10.4498	8.6859
2100	13.7993	12.0430	10.7890	9.0327	9.0327	7.2687

(Sumber : Hasil Perhitungan, 2013)

Tabel 4.16 Hasil Perhitungan E_b/N_o pada Kecepatan 60 km/jam

Teknik Modulasi	QPSK		16-QAM		64-QAM	
	3.17 Mbps	4.75 Mbps	6.34 Mbps	9.5 Mbps	9.5 Mbps	14.26 Mbps
Jarak (m)	<i>Energy Bit to Noise Ratio (E_b/N_o) (dB)</i>					
700	28.4003	26.6440	25.3900	23.6337	23.6337	21.8697
900	25.2456	23.4893	22.2353	20.4790	20.4790	18.7150
1100	22.6477	20.8914	19.6374	17.8811	17.8811	16.1171
1300	20.4315	18.6752	17.4212	15.6649	15.6649	13.9009
1500	18.4944	16.7381	15.4841	13.7278	13.7278	11.9638
1700	16.7709	15.0146	13.7606	12.0043	12.0043	10.2403
1900	15.2165	13.4601	12.2062	10.4498	10.4498	8.6859
2100	13.7993	12.0430	10.7890	9.0327	9.0327	7.2687

(Sumber : Hasil Perhitungan, 2013)

Tabel 4.17 Hasil Perhitungan E_b/N_o pada Kecepatan 120 km/jam

Teknik Modulasi	QPSK		16-QAM		64-QAM	
	3.17 Mbps	4.75 Mbps	6.34 Mbps	9.5 Mbps	9.5 Mbps	14.26 Mbps
Jarak (m)	<i>Energy Bit to Noise Ratio (E_b/N_o) (dB)</i>					
700	28.4003	26.6440	25.3900	23.6337	23.6337	21.8697
900	25.2456	23.4893	22.2353	20.4790	20.4790	18.7150
1100	22.6477	20.8914	19.6374	17.8811	17.8811	16.1171
1300	20.4315	18.6752	17.4212	15.6649	15.6649	13.9009
1500	18.4944	16.7381	15.4841	13.7278	13.7278	11.9638
1700	16.7709	15.0146	13.7606	12.0043	12.0043	10.2403
1900	15.2165	13.4601	12.2062	10.4498	10.4498	8.6859
2100	13.7993	12.0430	10.7890	9.0327	9.0327	7.2687

(Sumber : Hasil Perhitungan, 2013)

Dari Tabel 4.15, Tabel 4.16 dan Tabel 4.17 dapat diketahui bahwa nilai E_b/N_o dipengaruhi oleh teknik modulasi yang digunakan. Hal ini dikarenakan teknik modulasi menentukan laju data total, dimana laju data total dengan teknik modulasi 64-QAM adalah yang tertinggi dibandingkan teknik modulasi lainnya. Nilai E_b/N_o semakin kecil ketika laju data semakin tinggi, sehingga nilai E_b/N_o tertinggi didapat saat menggunakan teknik modulasi QPSK. Hal ini dikarenakan nilai laju data total QPSK adalah yang terendah dibandingkan nilai laju data teknik modulasi 16-QAM dan 64-QAM sesuai ketentuan laju data total *downlink* dari WiMAX Forum yang dirilis tahun 2006.

Selain teknik modulasi, jarak *base station* dan *user quipment* juga berpengaruh terhadap nilai E_b/N_o . Nilai E_b/N_o akan semakin menurun ketika jarak *base station* dan *user quipment* semakin jauh. Sedangkan kecepatan pengguna tidak berpengaruh terhadap nilai E_b/N_o , hal ini dikarenakan perubahan kecepatan pengguna dari 3 km/jam ke 60 km/jam hanya sedikit mempengaruhi nilai SNR sistem. Seperti diketahui, dari rumus E_b/N_o , bahwa SNR sistem merupakan salah satu parameter yang digunakan untuk menghitung nilai E_b/N_o .

Setelah diperoleh nilai E_b/N_o , selanjutnya dapat dilakukan perhitungan nilai BER sesuai dengan Persamaan (2-19) sampai Persamaan (2-21). Nilai BER tergantung dari teknik modulasi yang digunakan, dan nilainya diharapkan sekecil mungkin.

1. Modulasi QPSK

$$\begin{aligned}
 P_{b,QPSK} &= \frac{1}{2} \left[1 - \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{1}{(E_b/N_o)}}} \right] \\
 &= \frac{1}{2} \left[1 - \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{1}{28.4003}}} \right] \\
 &= 0.0086
 \end{aligned}$$

2. Modulasi 16-QAM

$$\begin{aligned}
 P_{b,16-QAM} &= \frac{3}{8} \left[1 - \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{5}{2(E_b/N_o)}}} \right] \\
 &= \frac{3}{8} \left[1 - \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{5}{2 \times 25.3900}}} \right] \\
 &= 0.0172
 \end{aligned}$$

3. Modulasi 64-QAM

$$\begin{aligned}
 P_{b,64-QAM} &= \frac{7}{24} \left[1 - \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{7}{(E_b/N_0)}}} \right] \\
 &= \frac{7}{24} \left[1 - \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{7}{23.6337}}} \right] \\
 &= 0.0355
 \end{aligned}$$

Dengan menggunakan cara yang sama untuk jarak *base station* dan *user equipment* 700 m sampai 2100 m dengan spasi jarak 200 m, akan diperoleh nilai BER untuk kecepatan 3 km/jam, 60 km/jam dan 120 km/jam. Hasil perhitungan ditunjukkan oleh Tabel 4.18, Tabel 4.19 dan Tabel 4.20.

Tabel 4.18 Hasil Perhitungan BER untuk Kecepatan 3 km/jam

Teknik Modulasi	QPSK		16-QAM		64-QAM	
	3.17 Mbps	4.75 Mbps	6.34 Mbps	9.5 Mbps	9.5 Mbps	14.26 Mbps
Jarak (m)	<i>Bit Error Rate (P_b)</i>					
700	0.0086	0.0091	0.0172	0.0184	0.0355	0.0378
900	0.0096	0.0103	0.0195	0.021	0.0399	0.0428
1100	0.0107	0.0116	0.0218	0.0238	0.0444	0.0481
1300	0.0118	0.0129	0.0243	0.0268	0.0492	0.0538
1500	0.013	0.0143	0.027	0.0301	0.0543	0.06
1700	0.0143	0.0159	0.03	0.0338	0.0599	0.0669
1900	0.0157	0.0176	0.0334	0.0381	0.066	0.0746
2100	0.0172	0.0195	0.0371	0.0431	0.0727	0.0835

(Sumber : Hasil Perhitungan, 2013)

Tabel 4.19 Hasil Perhitungan BER untuk Kecepatan 60 km/jam

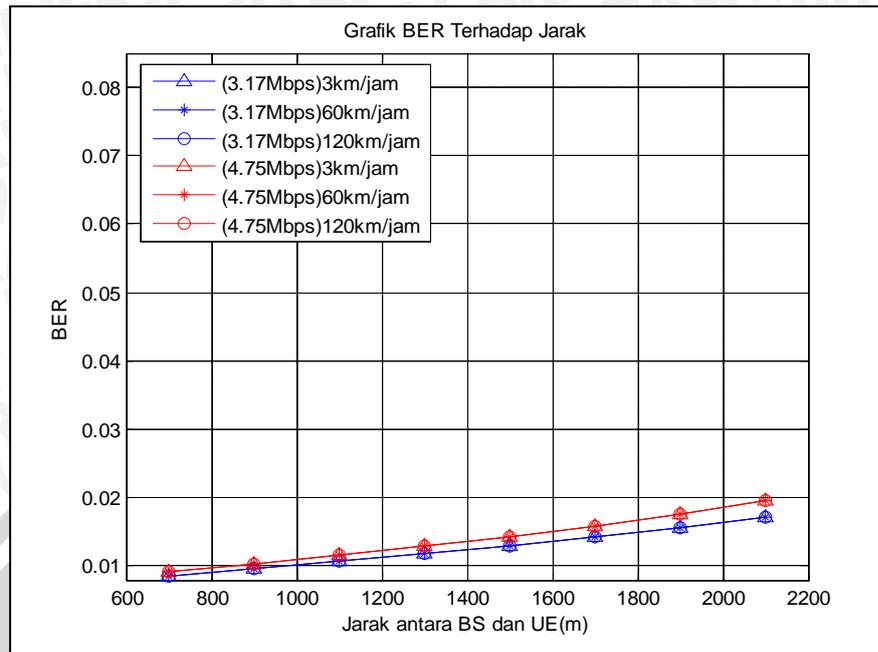
Teknik Modulasi	QPSK		16-QAM		64-QAM	
	3.17 Mbps	4.75 Mbps	6.34 Mbps	9.5 Mbps	9.5 Mbps	14.26 Mbps
Jarak (m)	<i>Bit Error Rate (P_b)</i>					
700	0.0086	0.0091	0.0172	0.0184	0.0355	0.0378
900	0.0096	0.0103	0.0195	0.021	0.0399	0.0428
1100	0.0107	0.0116	0.0218	0.0238	0.0444	0.0481
1300	0.0118	0.0129	0.0243	0.0268	0.0492	0.0538
1500	0.0130	0.0143	0.027	0.0301	0.0543	0.06
1700	0.0143	0.0159	0.03	0.0338	0.0599	0.0669
1900	0.0157	0.0176	0.0334	0.0381	0.066	0.0746
2100	0.0172	0.0195	0.0371	0.0431	0.0727	0.0835

(Sumber : Hasil Perhitungan, 2013)

Tabel 4.20 Hasil Perhitungan BER untuk Kecepatan 120 km/jam

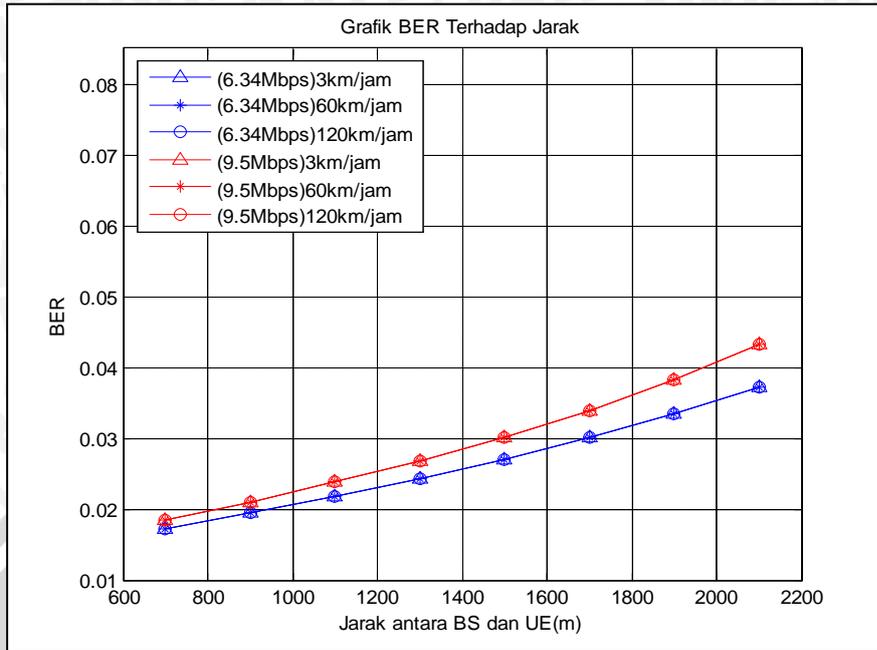
Teknik Modulasi	QPSK		16-QAM		64-QAM	
	3.17 Mbps	4.75 Mbps	6.34 Mbps	9.5 Mbps	9.5 Mbps	14.26 Mbps
Jarak (m)	<i>Bit Error Rate (P_b)</i>					
700	0.0086	0.0091	0.0172	0.0184	0.0355	0.0378
900	0.0096	0.0103	0.0195	0.021	0.0399	0.0428
1100	0.0107	0.0116	0.0218	0.0238	0.0444	0.0481
1300	0.0118	0.0129	0.0243	0.0268	0.0492	0.0538
1500	0.0130	0.0143	0.027	0.0301	0.0543	0.06
1700	0.0143	0.0159	0.03	0.0338	0.0599	0.0669
1900	0.0157	0.0176	0.0334	0.0381	0.066	0.0746
2100	0.0172	0.0195	0.0371	0.0431	0.0727	0.0835

(Sumber : Hasil Perhitungan, 2013)



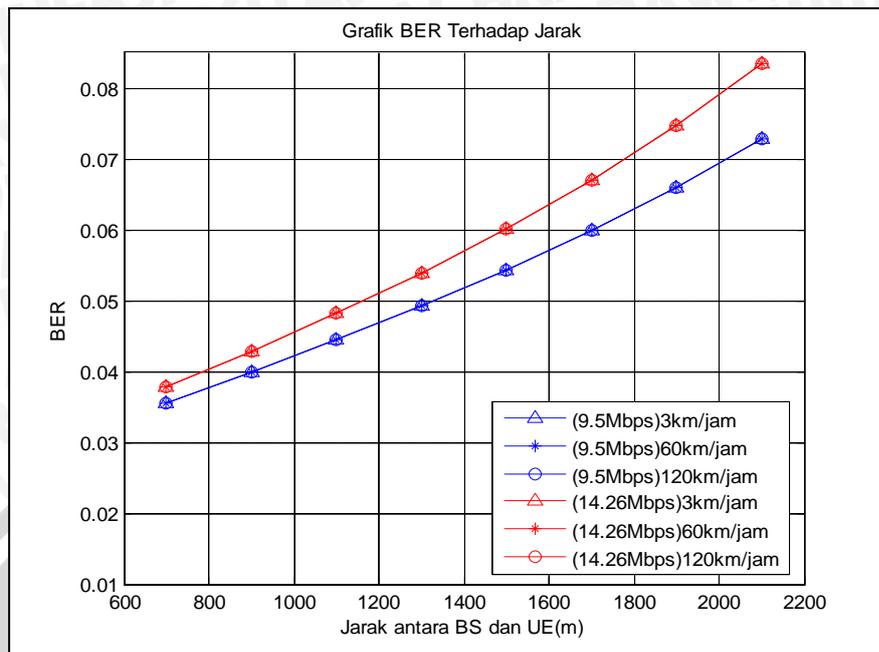
Gambar 4.14 Grafik Pengaruh Jarak BS dan UE serta Pengaruh Kecepatan Pengguna yang Berbeda Terhadap Nilai BER dengan Laju Data Total Berbeda Menggunakan Teknik Modulasi QPSK
(Sumber : Hasil Perhitungan, 2013)

Gambar 4.14 merupakan gambar grafik pengaruh jarak antara *base station* dan *user equipment* terhadap nilai *bit error rate* (BER) menggunakan teknik modulasi QPSK dengan laju data total yang berbeda pada kecepatan yang bervariasi yaitu 3 km/jam, 60 km/jam dan 120 km/jam. Nilai BER semakin besar ketika jarak *base station* dan *user equipment* semakin jauh. Sedangkan perbedaan laju data total pengaruhnya terhadap BER adalah semakin besar laju data total, maka nilai BER semakin besar. Pada jarak 700 m, dengan laju data total 3.17 Mbps BER bernilai 0.0086 dan pada laju data total 4.75 Mbps BER bernilai 0.0091.



Gambar 4.15 Grafik Pengaruh Jarak BS dan UE serta Pengaruh Kecepatan Pengguna yang Berbeda Terhadap Nilai BER dengan Laju Data Total Berbeda Menggunakan Teknik Modulasi 16-QAM
(Sumber : Hasil Perhitungan, 2013)

Gambar 4.15 merupakan gambar grafik pengaruh jarak antara *base station* dan *user equipment* terhadap nilai *bit error rate* (BER) menggunakan teknik modulasi 16-QAM dengan laju data total yang berbeda pada kecepatan yang bervariasi yaitu 3 km/jam, 60 km/jam dan 120 km/jam. Nilai BER semakin besar ketika jarak *base station* dan *user equipment* semakin jauh. Sedangkan perbedaan laju data total pengaruhnya terhadap BER adalah semakin besar laju data total, maka nilai BER semakin besar. Pada jarak 700 m, dengan laju data total 6.34 Mbps BER bernilai 0.0172 dan pada laju data total 9.5 Mbps BER bernilai 0.0184.



Gambar 4.16 Grafik Pengaruh Jarak BS dan UE serta Pengaruh Kecepatan Pengguna yang Berbeda Terhadap Nilai BER dengan Laju Data Total Berbeda Menggunakan Teknik Modulasi 64-QAM (Sumber : Hasil Perhitungan, 2013)

Gambar 4.16 merupakan gambar grafik pengaruh jarak antara *base station* dan *user equipment* terhadap nilai *bit error rate* (BER) menggunakan teknik modulasi 64-QAM dengan laju data total yang berbeda pada kecepatan yang bervariasi yaitu 3 km/jam, 60 km/jam dan 120 km/jam. Nilai BER semakin besar ketika jarak *base station* dan *user equipment* semakin jauh. Sedangkan perbedaan laju data total pengaruhnya terhadap BER adalah semakin besar laju data total, maka nilai BER semakin besar. Pada jarak 700 m, dengan laju data total 9.5 Mbps BER bernilai 0.0355 dan pada laju data total 14.26 Mbps BER bernilai 0.0378.

Secara keseluruhan, berdasarkan hasil perhitungan *bit error rate* (BER) dapat diketahui bahwa :

1. Penggunaan suatu teknik modulasi berpengaruh terhadap nilai BER dari suatu sistem. Dari perhitungan terlihat bahwa nilai BER yang menggunakan teknik modulasi 64-QAM akan menghasilkan nilai yang lebih besar daripada yang menggunakan teknik modulasi QPSK dan 16-QAM. Hal ini dikarenakan laju data total teknik modulasi 64-QAM adalah yang paling tinggi dibandingkan QPSK dan 16-QAM. Semakin cepat suatu data ditransmisikan, nilai E_b/N_0 akan semakin kecil.

Begitu pula dengan besarnya BER yang akan bertambah seiring bertambahnya nilai laju data.

2. Semakin jauh jarak antara *base station* dan *user equipment* akan meningkatkan nilai BER. Hal ini disebabkan daya terima pada *receiver* akan menurun dengan semakin jauhnya jarak antara *base station* dan *user equipment*.
3. Sistem yang paling baik adalah dengan nilai BER yang terendah, yaitu yang menggunakan teknik modulasi QPSK pada saat jarak *base station* dan *user equipment* 700 m.

UNIVERSITAS BRAWIJAYA

