

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

Dalam bab ini akan dilakukan analisis dan pembahasan tentang pengaruh *fading* lintasan jamak terhadap performansi *High Speed Downlink Packet Access* (HSDPA). Metode analisis yang digunakan dalam skripsi ini adalah analisis matematis, yaitu dilakukan dengan mengumpulkan nilai-nilai parameter yang berupa data primer dan data sekunder serta melakukan perhitungan menggunakan persamaan-persamaan yang telah dijelaskan dalam Bab II. Analisis yang dilakukan meliputi analisis pengaruh *fading* lintasan jamak terhadap *delay spread*, yang kemudian hasil dari analisis tersebut akan digunakan untuk perhitungan parameter performansi HSDPA, yang meliputi *path loss*, *signal to noise ratio* (SNR), *energy bit to noise ratio* (Eb/No) dan *bit error rate* (BER). Data sekunder yang digunakan antara lain berupa *link budget* dan spesifikasi teknis untuk HSDPA yang diperoleh dari buku, thesis, skripsi dan jurnal.

Analisis dilakukan dengan cara menghitung nilai parameter performansi sistem HSDPA pada kondisi *Line of Sight* (LOS) dan *Non-Line of Sight* (NLOS) pada daerah urban dengan jarak antara *Node-B* dan UE yang berubah-ubah. Hal ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh jarak dan keadaan lingkungan terhadap sinyal yang diterima oleh *receiver* (UE).



Gambar 4.1 Gambar yang menunjukkan letak jarak antara UE (*User Equipment*) dan *Node-B* yang divariasikan

Untuk melakukan proses analisis ini digunakan beberapa asumsi, yaitu:

1. *User Equipment* (UE) dan *Node-B* yang akan diamati berada di luar ruangan (*outdoor*) pada daerah *urban*. Hal ini dimaksudkan agar sinyal yang diterima pada *receiver* merupakan gabungan dari sinyal LOS (*Line of Sight*) dan sinyal hasil pantulan.
2. UE dalam keadaan bergerak dengan kecepatan ($10 \text{ km/jam} \leq v \leq 100 \text{ km/jam}$).

3. Tinggi antena *transmitter/Node-B* (h_b) = 50 m.
4. Tinggi antena *receiver/UE* (h_r) = 1m.
5. *Bandwidth* kanal = 5 MHz.
6. Jarak antara UE dan *Node-B* divariasikan mulai dari 100 m – 500 m, dengan spasi jarak sebesar 100 m.
7. Sinyal yang diterima pada kondisi *Line Of Sight* (LOS) diasumsikan hanya melewati kanal AWGN (*Additive White Gaussian Noise*), sedangkan pada kondisi *Non-Line Of Sight* (NLOS) melalui kanal *multipath fading*.

1.1 Analisis Paramater Performansi HSDPA

Pada sub-bab ini akan dibahas mengenai pengaruh *fading* lintasan jamak terhadap performansi HSDPA. *Fading* lintasan jamak tersebut terjadi pada saat sinyal ditransmisikan dari pemancar menuju penerima, atau dengan kata lain *fading* lintasan jamak terjadi di *air interface* sistem HSDPA, yaitu pada OFDM. Oleh karena itu, dilakukan perhitungan parameter performansi HSDPA yang meliputi nilai rugi - rugi propagasi (*pathloss*), *signal to noise ratio* (SNR), *energy bit to noise ratio* (E_b/N_0) dan *bit error rate* (BER) dengan menggunakan software *MATLAB* serta pengukuran *DRIVE TEST*. Semua parameter performansi tersebut dihitung pada kondisi LOS dan NLOS dengan jarak antara UE dan *Node-B* yang berubah-ubah untuk mengetahui perbedaan kualitas sinyal yang diterima pada *receiver*.

Untuk mempermudah proses analisis dan perhitungan, maka digunakan beberapa data sekunder seperti yang ditunjukkan dalam Tabel 4.1 mengenai parameter perhitungan *link budget* untuk sistem HSDPA.

Tabel 4.1 Parameter *Link Budget* HSDPA

No	Parameter <i>Link Budget</i>	Nilai
Transmitter (Node B)		
1	HS-DSCH Tx Power	37.4 dBm
2	CPICH Tx Power	33 dBm
3	Total Tx Power	43 dBm
4	Tx Antenna Gain	18 dBi
5	Cable Loss	2 dB
6	HS-DSCH EIRP	53.4 dBm
Receiver (User Equipment)		
1	UE Noise Figure (NF)	8.0 dB
2	Thermal Noise	-108 dB
3	Rx Antenna Gain (Gr)	2 dBi
4	Body Loss (Lr)	0 dB
5	Processing Gain	12 dB
6	Orthogonality Factor (α)	0.6

(Sumber: PT. Indosat, Tbk KPI Surabaya, 2006: 1-23 dalam Linda Ekowati, 2008:68)

Sesuai dengan yang telah dijelaskan di Bab II, bahwa HSDPA dengan spesifikasi 3GPP *release 5* pada sisi *downlink* menggunakan *air interface* OFDM dan dapat menggunakan teknik modulasi QPSK dan 16-QAM. Untuk teknik modulasi QPSK, jumlah *bit* dalam 1 simbol adalah 2 *bit*. Sedangkan untuk teknik modulasi 16-QAM, jumlah *bit* dalam 1 simbol adalah 4 *bit*. Jumlah *subcarrier* yang digunakan sesuai *bandwidth* kanal yang digunakan yaitu sebesar 1024.

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

Dengan menggunakan teknik modulasi QPSK, laju data pada *bandwidth* kanal 5 MHz yang digunakan adalah 8.4 Mbps dan jumlah *subcarrier* 1024 maka diperoleh laju data untuk masing-masing *subcarrier* yang dihitung dengan menggunakan persamaan (2-1), sebesar :

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

$$R_{sub} = \frac{8.4Mbps}{1024} = 0.0082Mbps$$

Dengan menggunakan cara yang sama, dapat diperoleh nilai laju data dengan jumlah *subcarrier* 1024 untuk total laju data 16.8Mbps. Hasil analisis tersebut ditunjukkan pada Tabel 4.2.

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

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

$$T_s = \frac{2}{0,0082 \times 10^6} = 243.902 \mu s$$

Dengan menggunakan cara yang sama, dapat diperoleh nilai durasi *subcarrier* untuk total laju data 16.8 Mbps untuk jumlah *subcarrier* 1024. Hasil analisis tersebut ditunjukkan pada Tabel 4.2.

Dengan durasi CP sebesar 6.6% maka diperoleh faktor CP sebesar 0,066. Sehingga dengan menggunakan persamaan (2-4) diperoleh *bandwidth* sistem untuk jumlah *subcarrier* 1024 dan durasi *subcarrier* $T_s = 243.902 \mu s$ sebesar :

$$B_{sistem} = \frac{2}{T_s} + \frac{N-1}{(1-\alpha_{cp})T_s}$$

$$B_{sistem} = \frac{2}{243.902 \times 10^{-6}} + \frac{1024-1}{(1-0.066)243.902 \times 10^{-6}} = 4.498 \text{ MHz}$$

Dengan menggunakan cara yang sama, dapat diperoleh nilai *bandwidth* sistem untuk total laju data 16.8 Mbps untuk jumlah *subcarrier* 1024. Hasil analisis tersebut ditunjukkan pada Tabel 4.2.

Tabel 4.2 Parameter R_{sub} , T_s dan *Bandwidth* sistem Pada Tiap Modulasi

Parameter	Modulasi	
	QPSK	16-QAM
R_{sub} (Mbps)	0.0082	0.0164
T_s (μs)	243.902	125.00
<i>Bandwidth</i> (Mhz)	4.498	8.778

(Sumber : Perhitungan)

1.1.1 Analisis Parameter Performansi HSDPA Tanpa Pengaruh *Fading* Lintasan Jamak

Performansi HSDPA yang tidak dipengaruhi oleh *multipath fading* dapat diketahui dengan cara menghitung dan menganalisis beberapa parameter yang

diperlukan pada kondisi LOS. Parameter tersebut meliputi *path loss*, SNR, Eb/No dan BER.

a. Analisis Redaman Propagasi (*Path Loss*)

Path loss adalah suatu parameter yang digunakan untuk mengetahui besarnya *loss* (rugi-rugi) yang terjadi selama proses pengiriman data dari pemancar ke penerima di dalam media transmisi. *Path loss* tanpa pengaruh *multipath fading* dapat diketahui berdasarkan kondisi *line of sight* (LOS). Kondisi LOS digunakan untuk menentukan kondisi dimana tidak ada penghalang antara pemancar dan penerima. Perhitungan rugi-rugi propagasi LOS sering disebut dengan *Free Space Loss* (FSL). Perhitungan redaman ini nantinya akan digunakan untuk menghitung besarnya daya yang diterima oleh UE (P_r).

Pada kondisi ini akan dihitung besarnya nilai rugi-rugi propagasi LOS (*free space loss*) jika jarak antara UE dan *Node-B* berubah-ubah mulai dari jarak 100 m – 500 m dan jika sistem bekerja pada frekuensi 1.9 GHz. Dengan menggunakan persamaan (2-24), yang merupakan persamaan *path loss* pada kondisi LOS, maka rugi-rugi propagasi untuk jarak 100 m dapat dihitung sebagai berikut :

$$PL = -10 \log \left(\frac{\lambda}{4\pi d} \right)^2$$

$$\lambda = \frac{c}{f}$$

$$\begin{aligned} \text{dengan} \quad &= \frac{3 \times 10^8}{1.9 \times 10^9} \\ &= 0.157 \text{ m} \end{aligned}$$

Maka akan diperoleh nilai rugi-rugi propagasi sebagai berikut :

$$\begin{aligned} PL &= -10 \log \left(\frac{0.157}{4 \times 3.14 \times 1000} \right)^2 \\ &= 78.061 \text{ dB} \end{aligned}$$

Dengan menggunakan persamaan (2-25), maka perhitungan level sinyal pada penerima dapat dihitung dengan cara sebagai berikut :

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

Berdasarkan Tabel 4.1 diketahui bahwa :

$$P_t = 43 \text{ dBm} ; G_t = 18 \text{ dBi} ; G_r = 2 \text{ dBi} ;$$

maka,

$$P_r = 43 + 18 + 2 - 78.06 - 10 \log_{10}(1024)$$

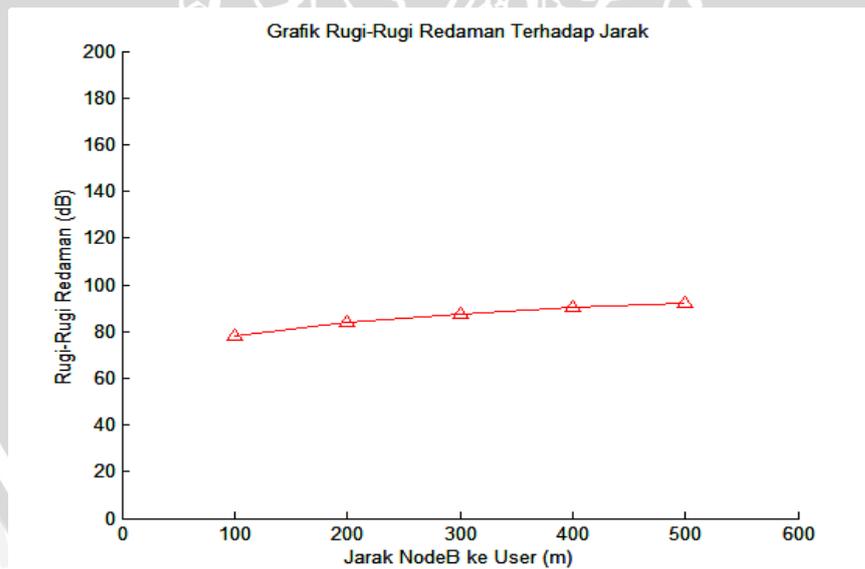
$$= -45.164 \text{ dBm}$$

Dengan cara perhitungan yang sama untuk jarak UE dan *Node-B* antara 200 m – 500 m, maka akan diperoleh nilai *path loss* dan daya terima pada kondisi LOS seperti pada Tabel 4.3. Hubungan antara *path loss* dan daya terima terhadap perubahan jarak ditunjukkan pada Gambar 4.1 dan Gambar 4.2.

Tabel 4.3 Hasil analisis *path loss* dan daya terima dengan jarak antara UE dan *Node-B* yang berubah-ubah

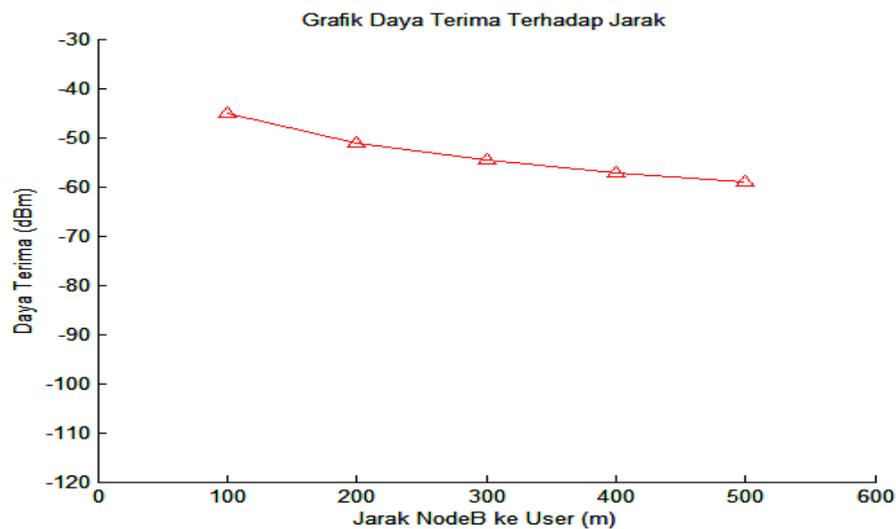
No.	Jarak (m)	<i>Path Loss</i> (dB)	Daya Terima (dBm)
1.	100	78.061	-45.164
2.	200	84.082	-51.185
3.	300	87.604	-54.707
4.	400	90.103	-57.206
5.	500	92.041	-59.144

(Sumber : Perhitungan)



Gambar 4.2 Hubungan redaman propagasi dengan jarak antara UE dan *Node-B* yang berubah-ubah

(Sumber: Perhitungan)



Gambar 4. 3 Hubungan daya terima dengan jarak antara UE dan *Node-B* yang berubah-ubah
(Sumber : Perhitungan)

Berdasarkan analisis perhitungan redaman propagasi (*path loss*) dan daya terima di atas dapat diketahui bahwa :

1. Besarnya *path loss* dipengaruhi oleh jarak antara UE dan *Node-B*. Jarak yang lebih jauh, akan menyebabkan redaman propagasi lebih besar dibandingkan dengan jarak antara UE dan *Node-B* yang lebih dekat. Sedangkan besarnya daya terima pada *receiver* (UE) dipengaruhi oleh nilai *path loss*, daya pancar pada *transmitter* (*Node-B*) dan *gain* antenna pada sisi *Node-B* dan UE.
2. Frekuensi kerja yang digunakan juga mempengaruhi besarnya nilai redaman propagasi.
3. Redaman propagasi yang paling besar adalah 92.041 dB dengan jarak antara UE dan *Node-B* sebesar 500 m dan yang paling kecil adalah 78.061 dB dengan jarak antara UE dan *Node-B* sebesar 100 m. Sedangkan daya terima pada *receiver* (UE) yang paling besar adalah -45.164 dBm dengan jarak antara UE dan *Node-B* sebesar 100 m dan yang paling kecil adalah -59.144 dB dengan jarak antara UE dan *Node-B* sebesar 500 m.

b. Analisis Signal to Noise Ratio (SNR)

SNR adalah perbandingan antara sinyal yang dikirim terhadap *noise*. SNR digunakan untuk mengetahui besarnya pengaruh redaman sinyal terhadap sinyal yang ditransmisikan. Perhitungan SNR dilakukan pada kanal nirkabel yang hanya terdiri dari kanal AWGN saja. Kanal AWGN digunakan untuk kondisi LOS.

Daya *noise* dengan *bandwidth* sistem sebesar 4.498 MHz, dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (2-29).

$$\begin{aligned} N_{o(dBm)} &= 10 \log k \cdot T + 10 \log B + NF \\ &= 10 \log(1.38 \times 10^{-23} \times 300) + 10 \log(4.498 \times 10^6) + 7 \\ &= -203.83 + 66.530 + 7 \\ &= -130.300 \text{ dBm} \end{aligned}$$

Sesuai dengan Tabel 4.3, didapatkan $P_r = -45.164$ dan $N_o = -130.300 \text{ dBm}$. Sehingga diperoleh nilai SNR sistem dengan jarak 100 m dengan menggunakan persamaan (2-28) sebagai berikut :

$$\begin{aligned} SNR_{(dB)} &= P_r(dBm) - N_o(dBm) \\ &= -45.164 - (-130.300) \\ &= 82.996 \text{ dB} \end{aligned}$$

Dengan menggunakan cara yang sama, dapat diperoleh nilai SNR untuk jarak UE dan *Node-B* antara 200 m – 500 m.

Untuk nilai SNR = 82.996 dB = 1.993×10^8 , diperoleh SNR sistem dengan persamaan (2-30) berikut :

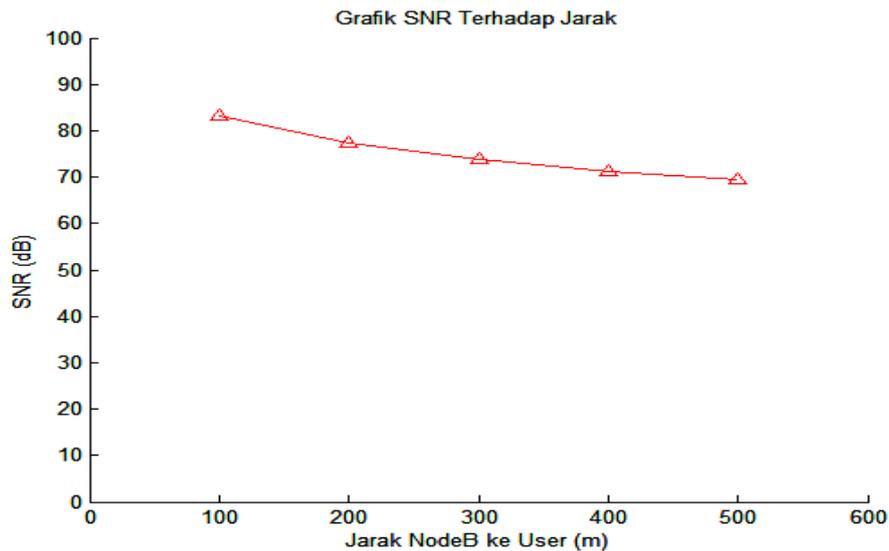
$$\begin{aligned} SNR_{sistem} &= (1 - \alpha_{cp}) SNR \\ SNR_{sistem} &= (1 - 0.066) 1.993 \times 10^8 \\ SNR_{sistem} &= 1.861 \times 10^8 \\ SNR_{sistem} &= 82.697 \text{ dB} \end{aligned}$$

Dengan menggunakan cara yang sama, dapat diperoleh nilai SNR sistem untuk jarak UE dan *Node-B* antara 200 m – 500 nm. Hasil analisis tersebut ditunjukkan pada Tabel 4.4. Hubungan antara SNR sistem terhadap perubahan jarak ditunjukkan pada Gambar 4.3.

Tabel 4.4 Hasil Analisis SNR sistem dengan jarak antara UE dan *Node-B* yang berubah-ubah

No.	Jarak (m)	Daya Terima (dBm)	Noise (dBm)	SNR sistem (dB)
1.	100	-45.164	-130.300	82.697
2.	200	-51.185	-130.300	76.976
3.	300	-54.707	-130.300	73.454
4.	400	-57.206	-130.300	70.955
5.	500	-59.144	-130.300	69.017

(Sumber : Perhitungan)



Gambar 4.4 Hubungan SNR sistem dengan jarak antara UE dan *Node-B* yang berubah-ubah
(Sumber : Perhitungan)

Berdasarkan analisis perhitungan *signal to noise ratio* (SNR) sistem di atas dapat diketahui bahwa :

1. Besarnya nilai SNR sistem dipengaruhi oleh jarak antara UE dan *Node-B*. Jarak yang lebih jauh, akan menyebabkan nilai SNR sistem lebih kecil dibandingkan dengan jarak antara UE dan *Node-B* yang lebih dekat.
2. Panjang *cyclic prefix* yang digunakan juga mempengaruhi besarnya nilai SNR sistem.
3. Nilai SNR sistem yang paling besar adalah 82.996 dB dengan jarak antara UE dan *Node-B* sebesar 100 m dan yang paling kecil adalah 69.017 dB dengan jarak antara UE dan *Node-B* sebesar 500 m.

c. Analisis Energy bit to Noise Ratio (E_b/N_o)

E_b/N_o dapat didefinisikan sebagai perbandingan energi sinyal per *bit* terhadap *noise* dan digunakan sebagai ukuran mutu standar untuk kinerja sistem komunikasi digital. Perhitungan nilai E_b/N_o akan digunakan untuk pengukuran nilai *bit error rate* (BER).

Perhitungan nilai E_b/N_o yang tidak dipengaruhi *fading* lintasan jamak pada jarak 100 m dengan nilai SNR sistem = 82.996 dB dan menggunakan modulasi QPSK yang mempunyai data *rate* sebesar 8.4 Mbps dapat diperoleh dengan menggunakan persamaan (2-31).

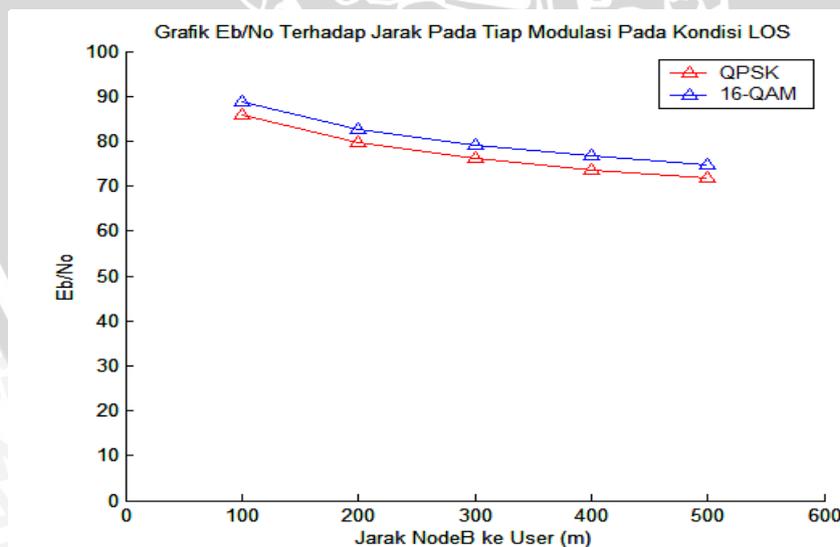
$$\begin{aligned} \frac{E_b}{N_o} &= \frac{S}{N} - 10 \log \frac{B}{R} \\ &= 82.996 - 10 \log \left(\frac{4.498 * 10^6}{8.4 * 10^6} \right) \\ &= 82.996 - (-2.713) \\ &= 85.709 \text{ dB} \end{aligned}$$

Dengan cara perhitungan yang sama untuk modulasi 16-QAM yang mempunyai data rate 16.8 Mbps serta jarak antara UE dan Node-B 200 m – 500 m, maka akan diperoleh nilai Eb/No seperti yang ditunjukkan pada Tabel 4.5. Hubungan antara Eb/No terhadap perubahan jarak ditunjukkan pada Gambar 4.4.

Tabel 4.5 Hasil analisis Eb/No dengan jarak antara UE dan Node-B yang berubah-ubah

No	Jarak (m)	SNR (dB)	Eb/No (dB)	
			QPSK	16-QAM
1.	100	82.697	85.709	88.718
2.	200	76.976	79.689	82.698
3.	300	73.454	76.167	79.176
4.	400	70.955	73.668	76.677
5.	500	69.017	71.730	74.739

(Sumber : Perhitungan)



Gambar 4.5 Hubungan Eb/No dengan jarak antara UE dan Node-B yang berubah-ubah

(Sumber : Perhitungan)

Berdasarkan analisis perhitungan Eb/No di atas dapat diketahui bahwa :

1. Besarnya nilai E_b/N_0 dipengaruhi oleh jarak antara UE dan *Node-B*. Jarak yang lebih jauh, akan menyebabkan nilai E_b/N_0 lebih kecil dibandingkan dengan jarak antara UE dan *Node-B* yang lebih dekat.
2. Kecepatan transmisi data untuk tiap modulasi juga mempengaruhi besarnya nilai E_b/N_0 .
3. Nilai E_b/N_0 yang paling besar adalah 88.718 dB dengan jarak antara UE dan *Node-B* sebesar 100 m untuk modulasi 16-QAM dan yang paling kecil adalah 71.730 dB dengan jarak antara UE dan *Node-B* sebesar 500 m untuk modulasi QPSK.

d. Analisis Bit Error Rate (BER)

BER adalah banyaknya *bit* yang salah ketika sejumlah *bit* ditransmisikan dari titik asal ke titik tujuan. Pada analisis ini hanya akan dihitung nilai BER pada perangkat *user equipment* (UE) saja dengan menggunakan teknik modulasi QPSK dan 16-QAM.

- **QPSK**

Besarnya nilai BER atau probabilitas *bit error* (P_b), dengan menggunakan teknik modulasi QPSK pada jarak 100 m dengan $E_b/N_0 = 85.709$ dB dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (2-32) :

$$\begin{aligned}
 P_{b,QPSK} &= Q\left(\sqrt{2\frac{E_b}{N_0}}\right) \\
 &= \frac{1}{2} \operatorname{erfc}\sqrt{\frac{E_b}{N_0}} \\
 &= \frac{1}{2} \operatorname{erfc}\sqrt{85.709} \\
 &= \frac{1}{2} \operatorname{erfc}(9.257)
 \end{aligned}$$

dimana,

$$\begin{aligned}
 \operatorname{erfc}(x) &\approx \frac{1}{\sqrt{\pi x}} \cdot e^{-x^2} \\
 &\approx \frac{1}{\sqrt{\pi(9.257)}} e^{-(9.257^2)} \\
 &\approx \frac{1}{5.391} e^{-85.692} \\
 &\approx 1.129 \times 10^{-30}
 \end{aligned}$$



Sehingga,

$$\begin{aligned} P_{b \cdot QPSK} &= \frac{1}{2} \times 1.129 \times 10^{-30} \\ &= 0.064 \times 10^{-38} \end{aligned}$$

Dengan cara perhitungan yang sama untuk jarak UE dan *Node-B* antara 200 m – 500 m, maka akan diperoleh nilai P_b modulasi QPSK seperti pada Tabel 4.6.

- 16-QAM

Besarnya nilai BER atau probabilitas *bit error* (P_b), dengan menggunakan teknik modulasi 16-QAM pada jarak 100 m dengan $E_b/N_0 = 88.718$ dB dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (2-33) :

$$\begin{aligned} P_{b \cdot 16-QAM} &= \frac{2(\sqrt{M} - 1)}{\sqrt{M} \log_2 M} \operatorname{erfc} \left(\sqrt{\frac{3 \log_2 M}{4(M-1)} \frac{E_b}{N_0}} \right) \\ &= \frac{2(\sqrt{16} - 1)}{\sqrt{16} \log_2 16} \operatorname{erfc} \left(\sqrt{\frac{3 \log_2 16}{4(16-1)} \times 88.718} \right) \\ &= \frac{6}{16} \operatorname{erfc}(\sqrt{0.2 \times 88.718}) \\ &= 0.375 \operatorname{erfc}(4.212) \end{aligned}$$

dimana,

$$\begin{aligned} \operatorname{erfc}(x) &\approx \frac{1}{\sqrt{\pi x}} e^{-x^2} \\ &\approx \frac{1}{\sqrt{\pi(4.212)}} e^{-(4.212^2)} \\ &\approx \frac{1}{3.636} e^{-17.74} \\ &\approx 5.432 \times 10^{-9} \end{aligned}$$

Sehingga,

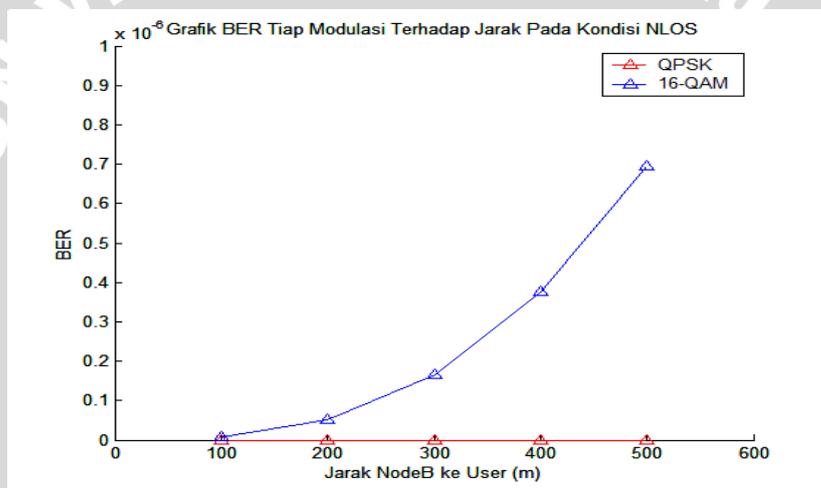
$$\begin{aligned} P_{b \cdot 16-QAM} &= 0.375 \times 5.432 \times 10^{-9} \\ &= 2.037 \times 10^{-9} \end{aligned}$$

Dengan cara perhitungan yang sama untuk jarak UE dan *Node-B* antara 200 m – 500 m, maka akan diperoleh nilai P_b modulasi 16-QAM seperti pada Tabel 4.6.

Tabel 4.6 Hasil analisis BER dengan jarak antara UE dan *Node-B* yang berubah-ubah

No.	Jarak (m)	Bit Error Rate (BER)	
		QPSK	16-QAM
1.	100	0.064×10^{-38}	2.037×10^{-9}
2.	200	1.402×10^{-36}	6.093×10^{-9}
3.	300	4.811×10^{-35}	1.254×10^{-8}
4.	400	5.51×10^{-34}	2.092×10^{-8}
5.	500	4.19×10^{-33}	3.135×10^{-8}

(Sumber : Perhitungan)



Gambar 4.6 Hubungan BER dengan jarak antara UE dan *Node-B* yang berubah-ubah

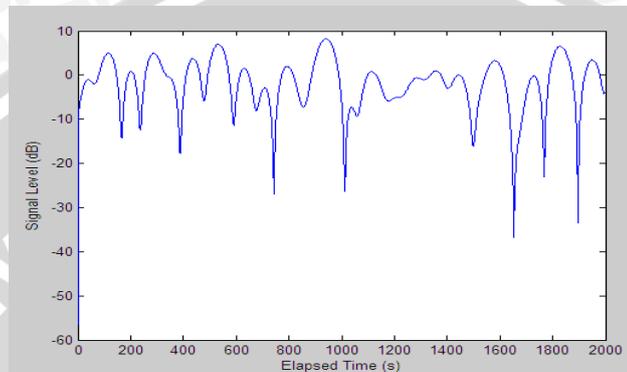
(Sumber : Perhitungan)

Berdasarkan analisis perhitungan BER di atas dapat diketahui bahwa :

1. Besarnya nilai BER dipengaruhi oleh jarak antara UE dan *Node-B*. Jarak yang lebih jauh, akan menyebabkan nilai BER lebih besar dibandingkan dengan jarak antara UE dan *Node-B* yang lebih dekat.
2. Besarnya nilai E_b/N_0 untuk tiap modulasi juga mempengaruhi besarnya nilai BER.
3. Nilai BER yang paling besar adalah 3.135×10^{-8} dengan jarak antara UE dan *Node-B* sejauh 500 m untuk modulasi 16-QAM dan yang paling kecil adalah 0.064×10^{-38} dengan jarak antara UE dan *Node-B* sejauh 100 m untuk modulasi QPSK.

4.1.2 Analisis Parameter Performansi HSDPA Dengan Pengaruh *Fading* Lintasan Jamak

Pada HSDPA, *fading* lintasan jamak terjadi ketika sinyal ditransmisikan dari pemancar menuju penerima. *Fading* lintasan jamak tersebut menyebabkan sinyal yang ditransmisikan akan mengalami gangguan sehingga performansi sistem menjadi menurun. Sinyal yang mengalami gangguan *fading* lintasan jamak ditunjukkan pada Gambar 4.6.



Gambar 4. 7 Sinyal yang mengalami gangguan *fading* lintasan jamak

Performansi HSDPA yang dipengaruhi oleh *fading* lintasan jamak dapat diketahui dengan cara menghitung dan menganalisis beberapa parameter yang diperlukan pada kondisi NLOS. Kondisi NLOS adalah kondisi dimana antara *transmitter* (*Node-B*) dan *receiver* (UE) terdapat penghalang sinyal seperti rumah, pohon dan gedung. Kondisi ini menyebabkan sinyal yang dikirim oleh pemancar mengalami pantulan, difraksi atau *scattering*, sehingga sinyal tersebut memiliki lebih dari satu jalur dari pemancar ke penerima.

Semua parameter performansi HSDPA dihitung dengan menggunakan data primer dan data sekunder yang diperoleh dari pengukuran *drive test*. Parameter tersebut meliputi *path loss*, SNR, Eb/No dan BER.

➤ **Parameter Performansi HSDPA Dengan Menggunakan Perhitungan Secara Teori**

a. **Analisis Redaman Propagasi (*Path Loss*)**

Path loss dengan pengaruh *fading* lintasan jamak dapat diketahui berdasarkan kondisi *non-line of sight* (NLOS). Perhitungan rugi - rugi propagasi untuk kondisi NLOS (*path loss*) ini nantinya akan digunakan untuk menghitung besarnya daya yang diterima oleh UE (Pr). Parameter yang dibutuhkan dalam perhitungan nilai *path loss* antara lain yaitu jarak antara UE dan *Node-B* dan frekuensi yang digunakan.

Pada kondisi ini akan dihitung besarnya nilai rugi - rugi propagasi NLOS (*path loss*) jika jarak antara UE dan *Node-B* berubah-ubah mulai dari jarak 100 m – 500 m. Dengan menggunakan persamaan (2-26), yang merupakan persamaan *path loss* untuk kondisi *fading* lintasan jamak, maka nilai *path loss* dapat dihitung sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 PL &= 40(1 - 4 \times 10^{-3} \Delta h_b) \log_{10} R - 18 \log_{10} \Delta h_b + 21 \log_{10} f + 80 \\
 &= 40(1 - 4 \times 10^{-3} \times 50) \log_{10}(0.2) - 18 \log_{10}(50) + 21 \log_{10}(1.9 \times 10^3) + 80 \\
 &= 86.272 \text{ dB}
 \end{aligned}$$

Untuk menghitung level sinyal terima pada penerima, maka digunakan persamaan (2-27).

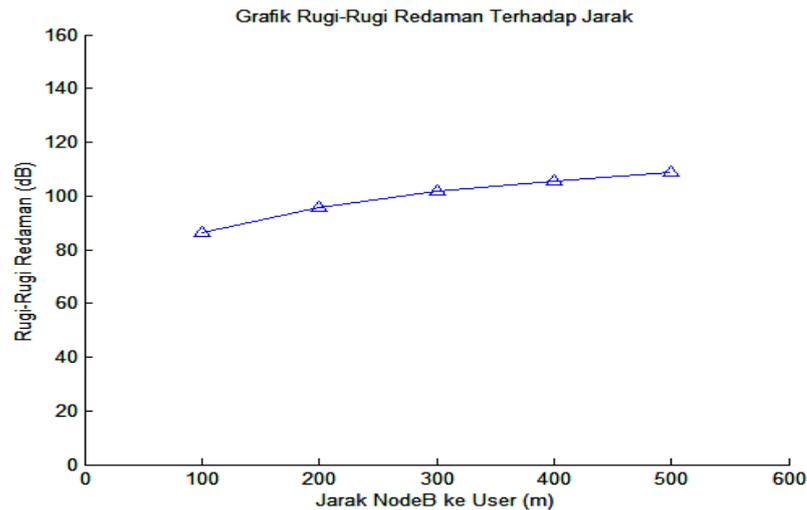
$$\begin{aligned}
 P_r &= P_t + G_t + G_r - PL - 10 \cdot \log_{10}(N) \\
 &= 43 + 18 + 2 - 86.272 - 10 \log_{10}(1024) \\
 &= -53.375 \text{ dBm}
 \end{aligned}$$

Dengan cara perhitungan yang sama untuk jarak UE dan *Node-B* antara 200 m – 500 m, maka akan diperoleh nilai *path loss* dan daya terima pada kondisi NLOS seperti yang ditunjukkan pada Tabel 4.7. Hubungan antara *path loss* dan daya terima terhadap perubahan jarak ditunjukkan pada Gambar 4.7 dan Gambar 4.8.

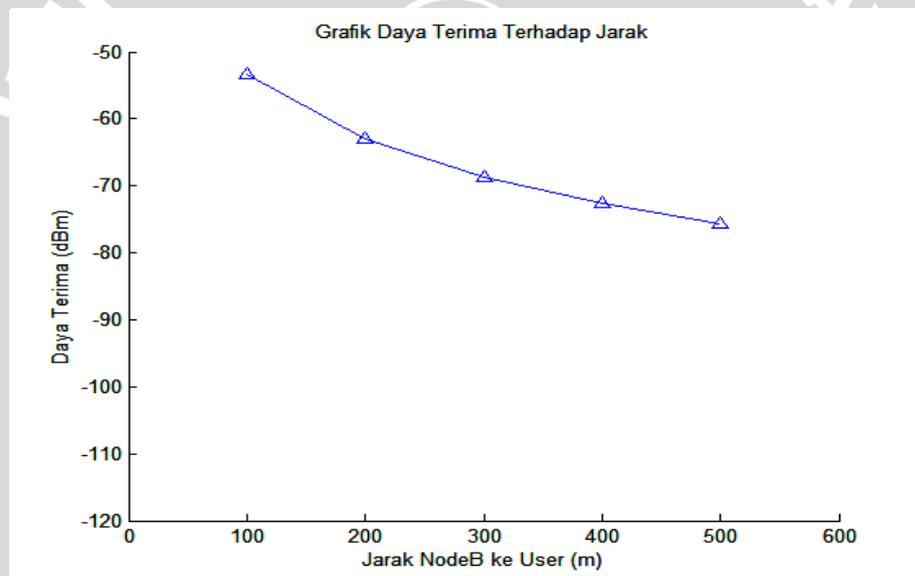
Tabel 4.7 Hasil analisis *path loss* dan daya terima dengan jarak antara UE dan *Node-B* yang berubah-ubah

No.	Jarak (m)	<i>Path Loss</i> (dB)	Daya Terima (dBm)
1.	100	86.272	-53.375
2.	200	95.905	-63.008
3.	300	101.540	-68.643
4.	400	105.538	-72.641
5.	500	108.639	-75.742

(Sumber :Perhitungan)



Gambar 4.8 Hubungan rugi-rugi redaman dengan jarak antara UE dan *Node-B* yang berubah-ubah
(Sumber : Perhitungan)



Gambar 4.9 Hubungan daya terima dengan jarak antara UE dan *Node-B* yang berubah-ubah
(Sumber : Perhitungan)

Berdasarkan analisis perhitungan redaman propagasi (*path loss*) dan daya terima di atas dapat diketahui bahwa :

1. Besarnya *path loss* dipengaruhi oleh jarak antara UE dan *Node-B*. Jarak yang lebih jauh, akan menyebabkan redaman propagasi lebih besar dibandingkan dengan jarak antara UE dan *Node-B* yang lebih dekat. Sedangkan besarnya daya terima pada *receiver* (UE) dipengaruhi oleh nilai *path loss*, daya pancar pada *transmitter* (*Node-B*) dan *gain* antena pada sisi *Node-B* dan UE.
2. Frekuensi kerja dan tinggi antena yang digunakan juga mempengaruhi besarnya nilai redaman propagasi.

3. Redaman propagasi yang paling besar adalah 108.639 dB dengan jarak antara UE dan *Node-B* sebesar 500 m dan yang paling kecil adalah 86.272 dB dengan jarak antara UE dan *Node-B* sebesar 100m. Sedangkan daya terima pada *receiver* (UE) yang paling besar adalah -53.375 dBm dengan jarak antara UE dan *Node-B* sebesar 100 m dan yang paling kecil adalah -75.742 dB dengan jarak antara UE dan *Node-B* sebesar 500 m.

b. Analisis Signal to Noise Ratio (SNR)

Untuk menghitung nilai SNR yang dipengaruhi *fading* lintasan jamak, perhitungan menggunakan persamaan yang sama seperti persamaan dalam menghitung SNR pada kondisi LOS. Namun, data daya diterima menggunakan data yang terdapat pada Tabel 4.7.

Daya *noise* dengan *bandwidth* sistem sebesar 4.498 MHz, dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (2-27).

$$\begin{aligned} N_{o(dBm)} &= 10\log k \cdot T + 10\log B + NF \\ &= 10\log(1.38 \times 10^{-23} \times 300) + 10\log(4.498 \times 10^6) + 7 \\ &= -203.83 + 66.530 + 7 \\ &= -130.300dBm \end{aligned}$$

Sesuai dengan Tabel 4.7, didapatkan $P_r = -53.375$ dan $N_o = -130.300dBm$. Sehingga diperoleh nilai SNR sistem dengan jarak 100 m dengan menggunakan persamaan (2-28) sebagai berikut :

$$\begin{aligned} SNR_{(dB)} &= P_r(dBm) - N_o(dBm) \\ &= -53.375 - (-130.300) \\ &= 76.925dB \end{aligned}$$

Dengan menggunakan cara yang sama, dapat diperoleh nilai SNR untuk jarak UE dan *Node-B* antara 200 m – 500 m.

Untuk nilai SNR = 76.925dB = 0.492×10^8 , diperoleh SNR sistem dengan persamaan (2-30) berikut :

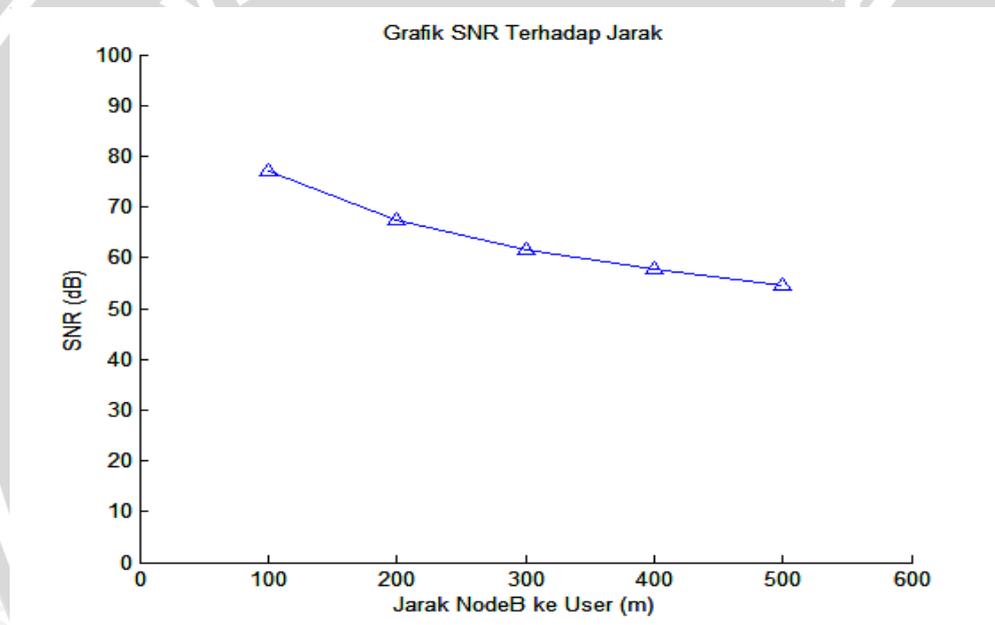
$$\begin{aligned} SNR_{sistem} &= (1 - \alpha_{cp}) SNR \\ SNR_{sistem} &= (1 - 0.066) 0.492 \times 10^8 \\ SNR_{sistem} &= 0.459 \times 10^8 \\ SNR_{sistem} &= 76.627dB \end{aligned}$$

Dengan menggunakan cara yang sama, dapat diperoleh nilai SNR sistem untuk jarak UE dan *Node-B* antara 200m – 500m. Hasil analisis tersebut ditunjukkan pada Tabel 4.8. Hubungan antara SNR sistem terhadap perubahan jarak ditunjukkan pada Gambar 4.9.

Tabel 4. 8 Hasil Analisis SNR sistem dengan jarak antara UE dan *Node-B* yang berubah-ubah

No.	Jarak (m)	Daya Terima (dBm)	Noise (dBm)	SNR sistem (dB)
1.	100	-53.375	-130.300	76.627
2.	200	-63.008	-130.300	66.994
3.	300	-68.643	-130.300	61.360
4.	400	-72.641	-130.300	57.362
5.	500	-75.742	-130.300	54.260

(Sumber : Perhitungan)



Gambar 4. 10 Hubungan SNR sistem dengan jarak antara UE dan *Node-B* yang berubah-ubah

(Sumber : Perhitungan)

Berdasarkan analisis perhitungan *signal to noise ratio* (SNR) sistem di atas dapat diketahui bahwa :

1. Besarnya nilai SNR sistem dipengaruhi oleh jarak antara UE dan *Node-B*. Jarak yang lebih jauh, akan menyebabkan nilai SNR sistem lebih kecil dibandingkan dengan jarak antara UE dan *Node-B* yang lebih dekat.
2. Panjang *cyclic prefix* yang digunakan juga mempengaruhi besarnya nilai SNR sistem.

3. Nilai SNR sistem yang paling besar adalah 76.627dB dengan jarak antara UE dan *Node-B* sebesar 100 m dan yang paling kecil adalah 54.260dB dengan jarak antara UE dan *Node-B* sebesar 500 m.

c. Analisis Energy bit to Noise Ratio (Eb/No)

Perhitungan nilai Eb/No yang dipengaruhi *fading* lintasan jamak pada jarak 100 m dengan nilai SNR sistem=76.627 dB dan menggunakan modulasi QPSK yang mempunyai data *rate* 8.4 Mbps, dapat diperoleh dengan cara:

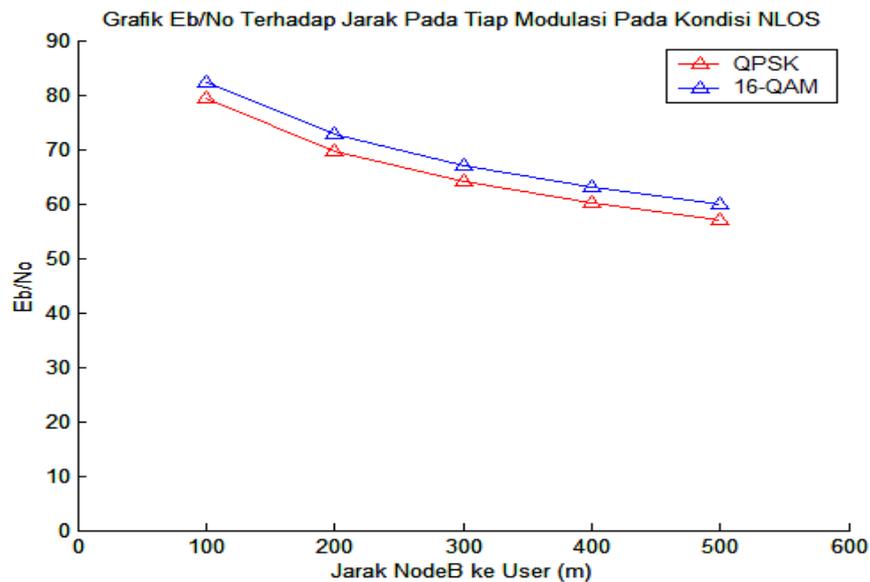
$$\begin{aligned} \frac{Eb}{No} &= \frac{S}{N} - 10 \log \frac{B}{R} \\ &= 76.627 - 10 \log \left(\frac{4.498 * 10^6}{8.4 * 10^6} \right) \\ &= 76.627 - (-2.713) \\ &= 79.340dB \end{aligned}$$

Dengan cara perhitungan yang sama untuk modulasi 16-QAM yang mempunyai data *rate* 16.8 Mbps serta jarak antara UE dan *Node-B* 100 m – 500m, maka akan diperoleh nilai Eb/No seperti yang ditunjukkan pada Tabel 4.9. Hubungan antara Eb/No terhadap perubahan jarak ditunjukkan pada Gambar 4.10.

Tabel 4.9 Hasil analisis Eb/No dengan jarak antara UE dan *Node-B* yang berubah-ubah

No	Jarak (m)	SNR (dB)	Eb/No (dB)	
			QPSK	16-QAM
1.	100	76.627	79.340	82.349
2.	200	66.994	69.707	72.716
3.	300	61.360	64.073	67.082
4.	400	57.362	60.075	63.084
5.	500	54.260	56.973	59.982

(Sumber : Perhitungan)



Gambar 4. 11 Hubungan Eb/No dengan jarak antara UE dan *Node-B* yang berubah-ubah
(Sumber : Perhitungan)

Berdasarkan analisis perhitungan Eb/No di atas dapat diketahui bahwa :

1. Besarnya nilai Eb/No dipengaruhi oleh jarak antara UE dan *Node-B*. Jarak yang lebih jauh, akan menyebabkan nilai Eb/No lebih kecil dibandingkan dengan jarak antara UE dan *Node-B* yang lebih dekat.
2. Kecepatan transmisi data untuk tiap modulasi juga mempengaruhi besarnya nilai Eb/No.
3. Nilai Eb/No yang paling besar adalah 79.340dB dengan jarak antara UE dan *Node-B* sebesar 100 m untuk modulasi QPSK dan yang paling kecil adalah 56.973dB dengan jarak antara UE dan *Node-B* sebesar 500 m untuk modulasi QPSK.

d. Analisis Bit Error Rate (BER)

- QPSK

Nilai BER dengan jarak antara *Node-B* dan UE sejauh 100 m dan Eb/No=62.698 dB dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut :

$$\begin{aligned}
 P_{b,QPSK} &= Q\left(\sqrt{2\frac{Eb}{No}}\right) \\
 &= \frac{1}{2} \operatorname{erfc}\sqrt{\frac{Eb}{No}} \\
 &= \frac{1}{2} \operatorname{erfc}\sqrt{79.340} \\
 &= \frac{1}{2} \operatorname{erfc}(8.907)
 \end{aligned}$$

dimana,

$$\begin{aligned}
 \operatorname{erfc}(x) &\approx \frac{1}{\sqrt{\pi x}} e^{-x^2} \\
 &\approx \frac{1}{\sqrt{\pi(8.907)}} e^{-(8.907^2)} \\
 &\approx 6.642 \times 10^{-34}
 \end{aligned}$$

Sehingga,

$$\begin{aligned}
 P_{b \cdot QPSK} &= \frac{1}{2} \times 6.642 \times 10^{-34} \\
 &= 3.321 \times 10^{-34}
 \end{aligned}$$

Dengan cara perhitungan yang sama untuk jarak UE dan *Node-B* antara 200 m – 500 m, maka akan diperoleh nilai probabilitas *bit error* (P_b) modulasi QPSK seperti yang ditunjukkan pada Tabel 4.10.

- 16-QAM

Besarnya nilai BER atau probabilitas *bit error* (P_b), dengan menggunakan teknik modulasi 16-QAM pada jarak 100 m dengan $E_b/N_0 = 49.411\text{dB}$ dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut :

$$\begin{aligned}
 P_{b \cdot 16-QAM} &= \frac{2(\sqrt{M}-1)}{\sqrt{M} \log_2 M} \operatorname{erfc}\left(\sqrt{\frac{3 \log_2 M Eb}{4(M-1) No}}\right) \\
 &= \frac{2(\sqrt{16}-1)}{\sqrt{16} \log_2 16} \operatorname{erfc}\left(\sqrt{\frac{3 \log_2 16}{4(16-1)} \times 82.349}\right) \\
 &= \frac{6}{16} \operatorname{erfc}(\sqrt{0.2 \times 82.349}) \\
 &= 0.375 \operatorname{erfc}(4.058)
 \end{aligned}$$

dimana,

$$\begin{aligned}
 \operatorname{erfc}(x) &\approx \frac{1}{\sqrt{\pi x}} \cdot e^{-x^2} \\
 &\approx \frac{1}{\sqrt{\pi(4.058)}} e^{-(4.058^2)} \\
 &\approx \frac{1}{3.569} e^{-16.467} \\
 &\approx 1.976 \times 10^{-8}
 \end{aligned}$$

Sehingga,

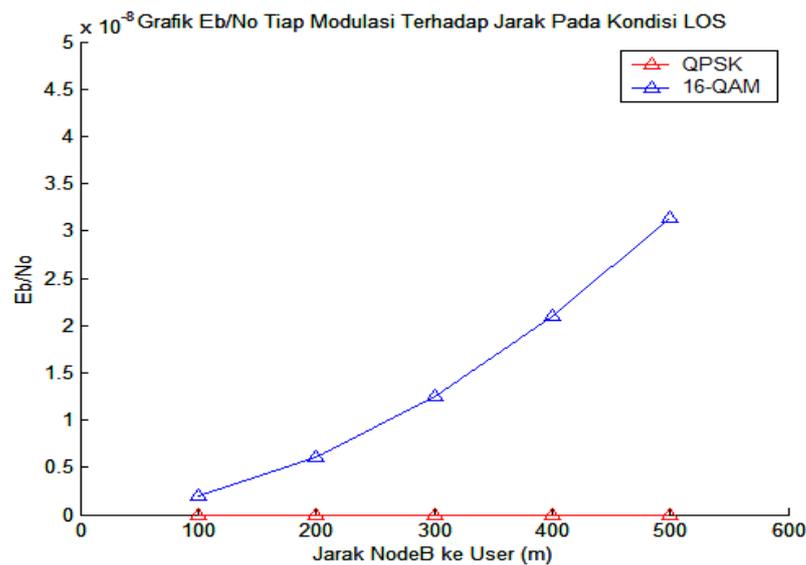
$$\begin{aligned}
 P_{b,16\text{-QAM}} &= 0.375 \times 1.976 \times 10^{-8} \\
 &= 7.410 \times 10^{-9}
 \end{aligned}$$

Dengan cara perhitungan yang sama untuk jarak UE dan *Node-B* antara 200 m – 500 m, maka akan diperoleh nilai P_b modulasi 16-QAM seperti yang ditunjukkan pada Tabel 4.10.

Tabel 4.10 Hasil analisis BER dengan jarak antara UE dan *Node-B* yang berubah-ubah

Jarak (m)	Bit Error Rate (BER)	
	QPSK	16-QAM
100	3.321×10^{-34}	7.410×10^{-9}
200	0.532×10^{-31}	5.253×10^{-8}
300	1.524×10^{-28}	1.657×10^{-7}
400	8.230×10^{-27}	3.749×10^{-7}
500	1.808×10^{-25}	6.945×10^{-7}

(Sumber : Perhitungan)



Gambar 4. 12 Hubungan BER dengan jarak antara UE dan *Node-B* yang berubah-ubah
(Sumber : Perhitungan)

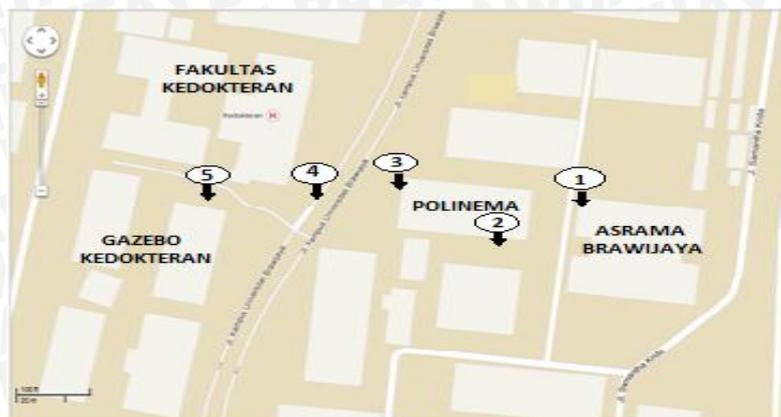
Berdasarkan analisis perhitungan BER di atas dapat diketahui bahwa :

1. Besarnya nilai BER dipengaruhi oleh jarak antara UE dan *Node-B*. Jarak yang lebih jauh, akan menyebabkan nilai BER lebih besar dibandingkan dengan jarak antara UE dan *Node-B* yang lebih dekat.
2. Besarnya nilai Eb/No untuk tiap modulasi juga mempengaruhi besarnya nilai BER.
3. Nilai BER yang paling besar adalah 6.945×10^{-7} dengan jarak antara UE dan *Node-B* sejauh 500 m untuk modulasi 16-QAM dan yang paling kecil adalah 3.321×10^{-34} dengan jarak antara UE dan *Node-B* sejauh 100 m untuk modulasi QPSK.

➤ **Parameter Performansi HSDPA Dengan Menggunakan Hasil Pengukuran Drive Test**

Lokasi pengukuran *drive test* dilakukan di dalam area kampus Universitas Brawijaya. Dimulai dari asrama Brawijaya sampai dengan gazebo Fakultas Kedokteran.

Berikut denah lokasi pengukuran *drive test* :



1. Lokasi 100m (depan KOPMA Brawijaya)



2. Lokasi 200m (parkiran POLINEMA)



3. Lokasi 300 m (Fakultas Kedokteran)



4. Lokasi 400 m (pertigaan gerbang veteran)



5. Lokasi 500 m (gazebo kedokteran)

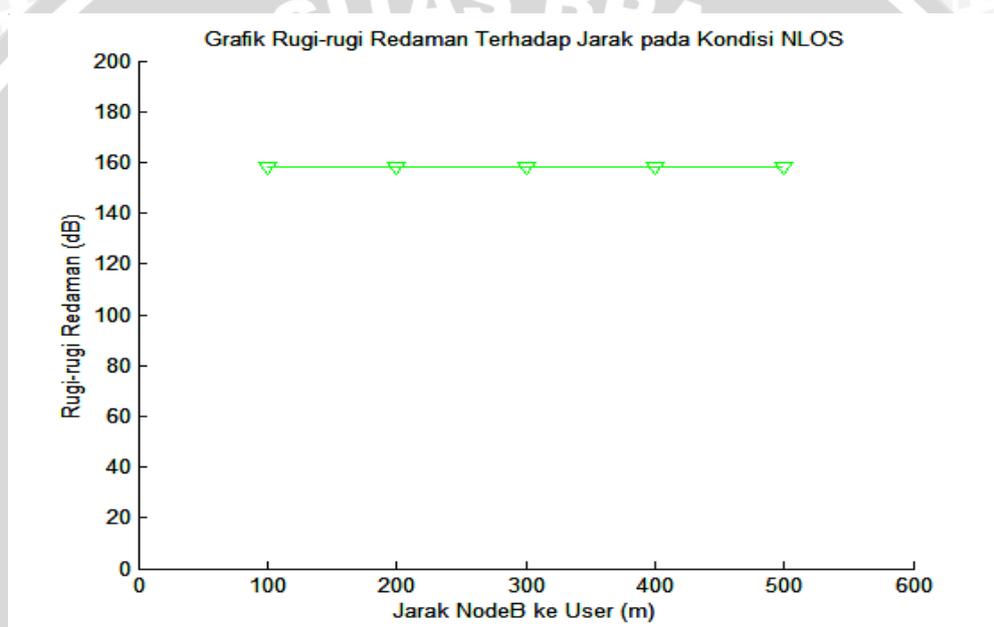


Dari hasil pengukuran yang telah dilakukan, diperoleh nilai *pathloss* dan daya terima (RSCP) yang kemudian akan digunakan untuk menghitung beberapa parameter sistem HSDPA yang lain. Nilai *pathloss* dan daya terima yang diperoleh dari pengukuran *drive test* adalah sebagai berikut :

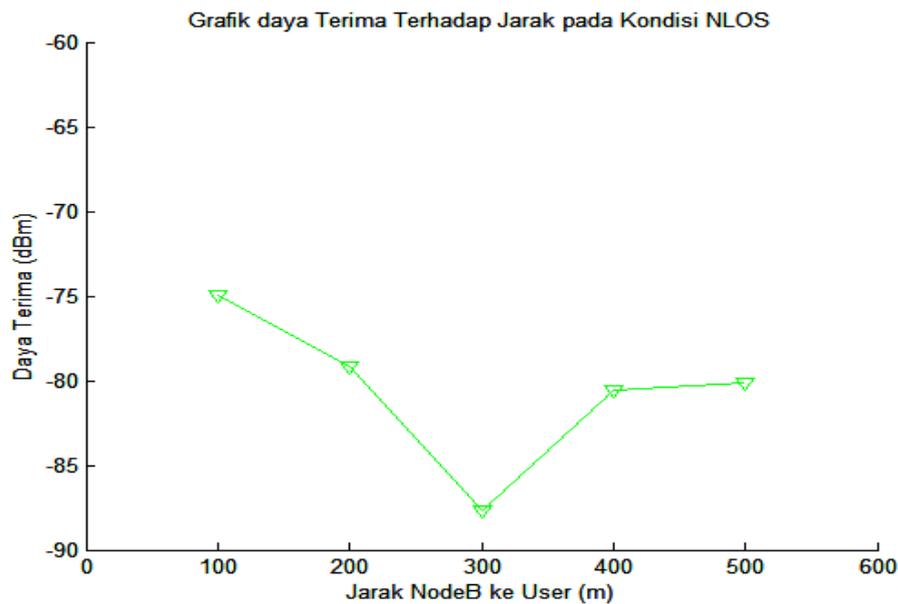
Tabel 4.11 Nilai *pathloss* dan daya terima berdasarkan pengukuran *drive test*

No.	Jarak (m)	<i>Path Loss</i> (dB)	Daya Terima (dBm)
1.	100	158.00	-74.917
2.	200	158.00	-79.200
3.	300	158.00	-87.693
4.	400	158.00	-80.564
5.	500	158.00	-80.100

(Sumber : Pengukuran *drive test*)



Gambar 4. 13 Hubungan rugi-rugi redaman dengan jarak antara UE dan *Node-B* yang berubah-ubah
(Sumber : Pengukuran *drive test*)



Gambar 4. 14 Hubungan daya terima dengan jarak antara UE dan *Node-B* yang berubah-ubah
(Sumber : Pengukuran *drive test*)

Berdasarkan analisis perhitungan redaman propagasi (*path loss*) dan daya terima di atas dapat diketahui bahwa :

1. Besarnya *path loss* dipengaruhi oleh jarak antara UE dan *Node-B*. Jarak yang lebih jauh, akan menyebabkan redaman propagasi lebih besar dibandingkan dengan jarak antara UE dan *Node-B* yang lebih dekat. Sedangkan besarnya daya terima pada *receiver* (UE) dipengaruhi oleh nilai *path loss*, daya pancar pada *transmitter* (*Node-B*) dan *gain* antenna pada sisi *Node-B* dan UE.
2. Frekuensi kerja dan tinggi antenna yang digunakan juga mempengaruhi besarnya nilai redaman propagasi.
3. Redaman propagasi yang paling besar adalah 108.639 dB dengan jarak antara UE dan *Node-B* sebesar 500 m dan yang paling kecil adalah 86.272 dB dengan jarak antara UE dan *Node-B* sebesar 100 m. Sedangkan daya terima pada *receiver* (UE) yang paling besar adalah -53.375 dBm dengan jarak antara UE dan *Node-B* sebesar 100 m dan yang paling kecil adalah -75.742 dB dengan jarak antara UE dan *Node-B* sebesar 500 m.

a. **Signal to Noise Ratio (SNR)**

Untuk menghitung nilai SNR dari hasil pengukuran *drive test*, perhitungan menggunakan persamaan yang sama seperti persamaan dalam menghitung SNR dengan

pengaruh *fading* lintasan jamak. Namun, data daya diterima menggunakan data yang terdapat pada Tabel 4.11 yang merupakan hasil pengukuran *drive test*. Dengan menggunakan daya *noise* (N) yang sama seperti perhitungan sebelumnya, yaitu sebesar -130.300dBm, maka nilai SNR pada jarak 100 m dapat dihitung seperti berikut di bawah ini :

$$\begin{aligned} SNR_{(dB)} &= P_r(dBm) - N_o(dBm) \\ &= -74.917 - (-130.300) \\ &= 55.383dB \end{aligned}$$

Dengan menggunakan cara yang sama, dapat diperoleh nilai SNR untuk jarak UE dan *Node-B* antara 200 m – 500 m.

Untuk nilai SNR = 55.383 dB = 0.345×10^6 , diperoleh SNR sistem dengan persamaan (2-30) berikut :

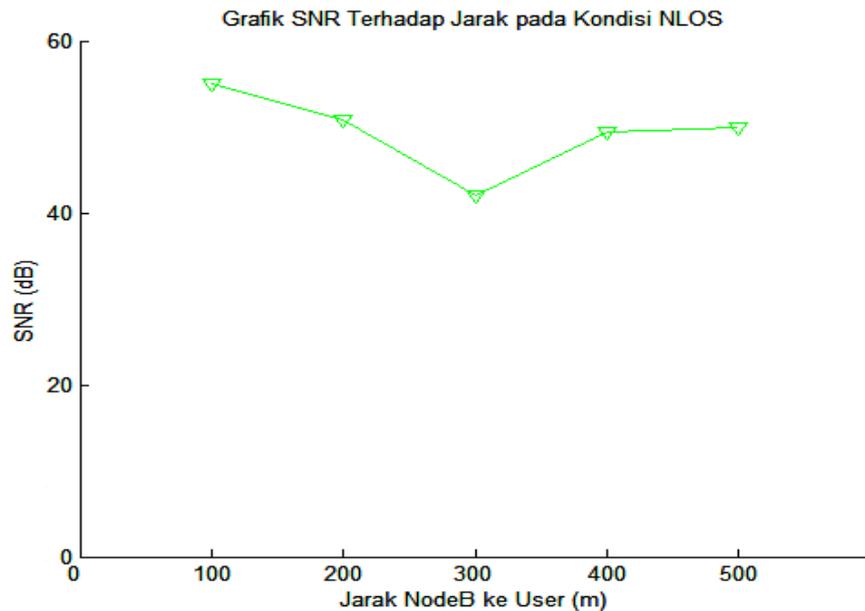
$$\begin{aligned} SNR_{sistem} &= (1 - \alpha_{ep}) SNR \\ SNR_{sistem} &= (1 - 0.066) 0.345 \times 10^6 \\ SNR_{sistem} &= 0.322 \times 10^6 \\ SNR_{sistem} &= 55.078 \text{ dB} \end{aligned}$$

Dengan menggunakan cara yang sama, dapat diperoleh nilai SNR sistem untuk jarak UE dan *Node-B* antara 200 m – 500 m. Hasil analisis tersebut ditunjukkan pada Tabel 4.12. Hubungan antara SNR sistem terhadap perubahan jarak ditunjukkan pada Gambar 4.14.

Tabel 4.12 Hasil Analisis SNR sistem dengan jarak antara UE dan *Node-B* yang berubah-ubah

No.	Jarak (m)	Daya Terima (dBm)	Noise (dBm)	SNR sistem (dB)
1.	100	-74.917	-130.300	55.078
2.	200	-79.200	-130.300	50.755
3.	300	-87.693	-130.300	42.041
4.	400	-80.564	-130.300	49.395
5.	500	-80.100	-130.300	49.867

(Sumber: Perhitungan)



Gambar 4. 15 Hubungan SNR dengan jarak antara UE dan *Node-B* yang berubah-ubah
(Sumber : Perhitungan)

Berdasarkan analisis perhitungan *signal to noise ratio* (SNR) sistem di atas dapat diketahui bahwa :

1. Besarnya nilai SNR sistem tidak dipengaruhi oleh jarak antara UE dan *Node-B*
2. Panjang *cyclic prefix* yang digunakan juga mempengaruhi besarnya nilai SNR sistem.
3. Nilai SNR sistem yang paling besar adalah 55.078dB dengan jarak antara UE dan *Node-B* sebesar 100 m dan yang paling kecil adalah 49.867 dB dengan jarak antara UE dan *Node-B* sebesar 500 m.

b. Analisis Energy bit to Noise Ratio (Eb/No)

Perhitungan nilai Eb/No jamak pada jarak 100 m dengan nilai SNR sistem = 55.078dB dan menggunakan modulasi QPSK yang mempunyai data rate 8.4 Mbps, dapat diperoleh dengan cara:

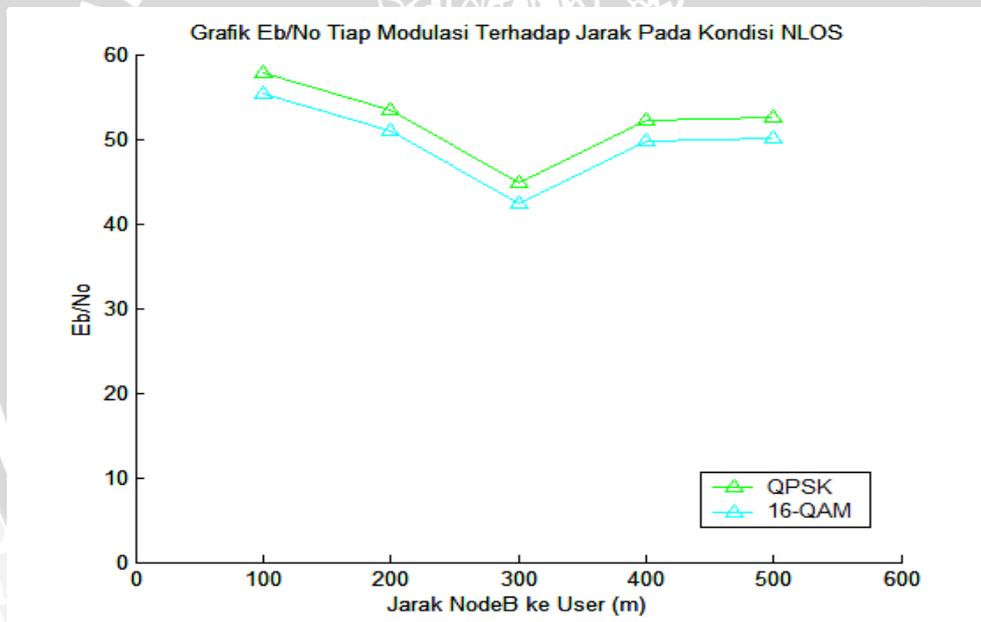
$$\begin{aligned}
 \frac{Eb}{No} &= \frac{S}{N} - 10 \log \frac{B}{R} \\
 &= 55.078 - 10 \log \left(\frac{4.498 * 10^6}{8.4 * 10^6} \right) \\
 &= 55.078 - (-2.713) \\
 &= 57.791dB
 \end{aligned}$$

Dengan cara perhitungan yang sama untuk modulasi 16-QAM yang mempunyai data rate 16.8 Mbps serta jarak antara UE dan *Node-B* 100 m – 500m, maka akan diperoleh nilai E_b/N_0 seperti yang ditunjukkan pada Tabel 4.13. Hubungan antara E_b/N_0 terhadap perubahan jarak ditunjukkan pada Gambar 4.15.

Tabel 4.13 Hasil analisis E_b/N_0 dengan jarak antara UE dan *Node-B* yang berubah-ubah

No	Jarak (m)	SNR (dB)	E_b/N_0 (dB)	
			QPSK	16-QAM
1.	100	55.078	57.791	55.345
2.	200	50.755	53.468	51.022
3.	300	42.041	44.754	42.308
4.	400	49.395	52.108	49.662
5.	500	49.867	52.580	50.134

(Sumber : Perhitungan)



Gambar 4. 16 Hubungan E_b/N_0 dengan jarak antara UE dan *Node-B* yang berubah-ubah

(Sumber : Perhitungan)

Berdasarkan analisis perhitungan E_b/N_0 di atas dapat diketahui bahwa :

1. Besarnya nilai E_b/N_0 tidak dipengaruhi oleh jarak antara UE dan *Node-B*. Kecepatan transmisi data untuk tiap modulasi juga mempengaruhi besarnya nilai E_b/N_0 .
2. Nilai E_b/N_0 yang paling besar adalah 57.791 dB dengan jarak antara UE dan *Node-B* sebesar 100 m untuk modulasi QPSK dan yang paling kecil adalah

42.308 dB dengan jarak antara UE dan *Node-B* sebesar 500 m untuk modulasi 16-QAM.

c. **Analisis *Bit Error Rate* (BER)**

- QPSK

Nilai BER dengan jarak antara *Node-B* dan UE sejauh 100 m dan $E_b/N_0 = 57.791$ dB dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut :

$$\begin{aligned} P_{b,QPSK} &= Q\left(\sqrt{2\frac{E_b}{N_0}}\right) \\ &= \frac{1}{2} \operatorname{erfc}\sqrt{\frac{E_b}{N_0}} \\ &= \frac{1}{2} \operatorname{erfc}\sqrt{57.791} \\ &= \frac{1}{2} \operatorname{erfc}(7.602) \end{aligned}$$

dimana,

$$\begin{aligned} \operatorname{erfc}(x) &\approx \frac{1}{\sqrt{\pi x}} e^{-x^2} \\ &\approx \frac{1}{\sqrt{\pi(7.602)}} e^{-(7.602)^2} \\ &\approx 1.634 \times 10^{-26} \end{aligned}$$

Sehingga,

$$\begin{aligned} P_{b,QPSK} &= \frac{1}{2} \times 1.634 \times 10^{-26} \\ &= 0.817 \times 10^{-26} \end{aligned}$$

Dengan cara perhitungan yang sama untuk jarak UE dan *Node-B* antara 200 m – 500 m, maka akan diperoleh nilai probabilitas *bit error* (P_b) modulasi QPSK seperti yang ditunjukkan pada Tabel 4.14.

- 16-QAM

Besarnya nilai BER atau probabilitas *bit error* (P_b), dengan menggunakan teknik modulasi 16-QAM pada jarak 100 m dengan $E_b/N_0 = 55.345$ dB dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut :



$$\begin{aligned}
 P_{b,16-QAM} &= \frac{2(\sqrt{M}-1)}{\sqrt{M} \log_2 M} \operatorname{erfc}\left(\sqrt{\frac{3 \log_2 M Eb}{4(M-1) N_0}}\right) \\
 &= \frac{2(\sqrt{16}-1)}{\sqrt{16} \log_2 16} \operatorname{erfc}\left(\sqrt{\frac{3 \log_2 16}{4(16-1)} \times 55.345}\right) \\
 &= \frac{6}{16} \operatorname{erfc}(\sqrt{0.2 \times 55.345}) \\
 &= 0.375 \operatorname{erfc}(3.327)
 \end{aligned}$$

dimana,

$$\begin{aligned}
 \operatorname{erfc}(x) &\approx \frac{1}{\sqrt{\pi x}} \cdot e^{-x^2} \\
 &\approx \frac{1}{\sqrt{\pi(3.327)}} e^{-(3.327^2)} \\
 &\approx \frac{1}{3.232} e^{-11.068} \\
 &\approx 4.823 \times 10^{-6}
 \end{aligned}$$

Sehingga,

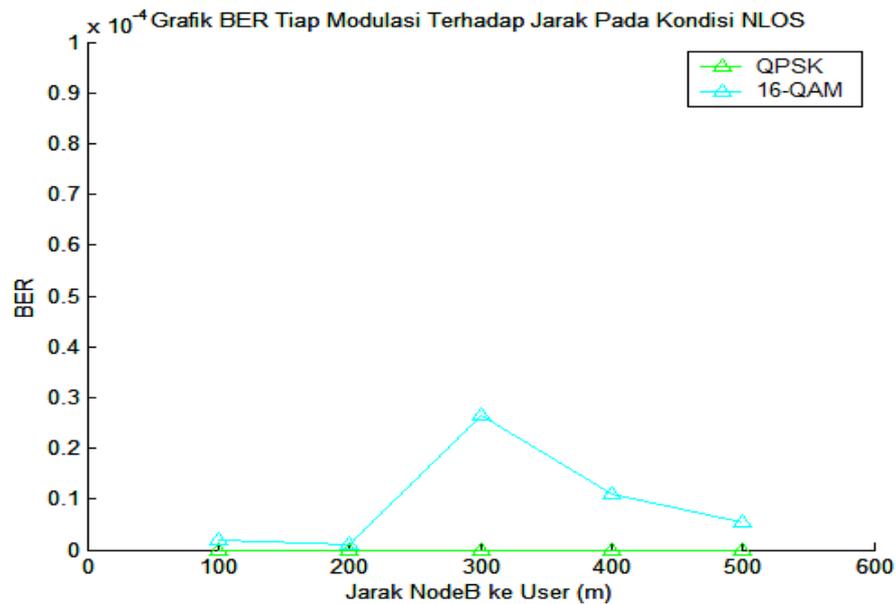
$$\begin{aligned}
 P_{b,16-QAM} &= 0.375 \times 4.823 \times 10^{-6} \\
 &= 1.808 \times 10^{-6}
 \end{aligned}$$

Dengan cara perhitungan yang sama untuk jarak UE dan *Node-B* antara 200 m – 500 m, maka akan diperoleh nilai P_b modulasi 16-QAM seperti yang ditunjukkan pada Tabel 4.14.

Tabel 4. 14 Hasil analisis BER dengan jarak antara UE dan *Node-B* yang berubah-ubah

Jarak (m)	Bit Error Rate (BER)	
	QPSK	16-QAM
100	0.817×10^{-26}	1.808×10^{-6}
200	6.29×10^{-25}	1.099×10^{-6}
300	4.043×10^{-21}	2.639×10^{-5}
400	2.483×10^{-24}	1.111×10^{-5}
500	1.536×10^{-24}	0.527×10^{-5}

(Sumber : Perhitungan)



Gambar 4. 17 Hubungan BER dengan jarak antara UE dan *Node-B* yang berubah-ubah
(Sumber : Hasil Perhitungan)

Berdasarkan analisis perhitungan BER di atas dapat diketahui bahwa :

1. Besarnya nilai BER dipengaruhi oleh jarak antara UE dan *Node-B*. Jarak yang lebih jauh, akan menyebabkan nilai BER lebih besar dibandingkan dengan jarak antara UE dan *Node-B* yang lebih dekat.
2. Besarnya nilai E_b/N_0 untuk tiap modulasi juga mempengaruhi besarnya nilai BER.
3. Nilai BER yang paling besar adalah 6.945×10^{-7} dengan jarak antara UE dan *Node-B* sejauh 500 m untuk modulasi 16-QAM dan yang paling kecil adalah 3.321×10^{-34} dengan jarak antara UE dan *Node-B* sejauh 100 m untuk modulasi QPSK.

4.1.3 Analisis Parameter Performansi HSDPA Tanpa Pengaruh dan Dengan Pengaruh *Fading* Lintasan Jamak

Dari hasil perhitungan yang telah dilakukan, diperoleh nilai beberapa parameter sistem HSDPA baik yang tidak dipengaruhi maupun dipengaruhi oleh *fading* lintasan jamak. Nilai-nilai dari parameter performansi sistem HSDPA antara lain sebagai berikut:

a. Daya terima (Pr)

Tabel 4.15 Nilai Daya Terima Sinyal pada Kondisi LOS dan NLOS

No.	Jarak (m)	Line of Sight(LOS)	Non-Line of Sight (NLOS)	
		Daya Terima (dBm)	Daya Terima Perhitungan Teori (dBm)	Daya Terima Pengukuran <i>drive test</i> (dBm)
1.	100	-45.164	-86.314	-74.917
2.	200	-51.185	-53.375	-79.200
3.	300	-54.707	-63.008	-87.693
4.	400	-57.206	-68.643	-80.564
5.	500	-59.144	-72.641	-80.100

(Sumber : Hasil Perhitungan)

- Kondisi *Line Of Sight* (LOS) : sinyal masih dapat diterima dan diproses dengan baik sampai dengan jarak 500 m, karena daya terima (Pr = -59.144 dBm) tidak melebihi sensitivitas penerima (-106.5 dBm)
- Kondisi *Non-Line Of Sight* (NLOS) :sinyal masih dapat diterima dan diproses dengan baik sampai jarak 500 m karena tidak melebihi sensitivitas penerima.
- Hasil pengukuran *drive test* menunjukkan bahwa jarak tidak mempengaruhi nilai dari daya terima.

b. *Signal to noise ratio* (SNR)

Tabel 4.16 Nilai SNR sistem Pada Kondisi LOS dan NLOS

No.	Jarak (m)	Line of Sight(LOS)	Non-Line of Sight (NLOS)	
		SNR (dBm)	SNR Perhitungan Teori (dB)	SNR Pengukuran <i>drive test</i> (dB)
1.	100	82.697	76.627	50.755
2.	200	76.976	66.994	42.041
3.	300	73.454	61.360	49.395
4.	400	70.955	57.362	49.867
5.	500	69.017	54.260	50.755

(Sumber : Hasil Perhitungan)

- Semakin besar nilai SNR maka kualitas sinyal terima akan semakin baik. Nilai SNR akan menurun sesuai dengan pertambahan jarak (d) dan penurunan daya terima (P_r). Artinya, kualitas sinyal akan semakin buruk apabila jarak antara *transmitter* dan *receiver* semakin jauh. *Bandwidth* yang lebar akan menyebabkan nilai *noise* (N) menjadi semakin kecil, sehingga nilai SNR akan semakin besar.
- Hasil pengukuran *drive test* menunjukkan bahwa jarak tidak mempengaruhi nilai SNR. Semakin besar nilai SNR maka kualitas sinyal yang diterima akan semakin baik. Nilai SNR dari hasil pengukuran lebih bagus dibandingkan dengan nilai SNR berdasarkan perhitungan teori.

c. **Energy bit to noise ratio (E_b/N_o)**

Tabel 4.17 Nilai E_b/N_o hasil perhitungan dan pengukuran

No.	Jarak (m)	Line of Sight (LOS)		Non-Line of Sight (NLOS)			
		Eb/no		Eb/No Perhitungan Teori		Eb/No Pengukuran <i>drive test</i>	
		QPSK	16-QAM	QPSK	16-QAM	QPSK	16-QAM
1.	100	85.709	88.718	79.340	82.349	57.791	55.345
2.	200	79.689	82.698	69.707	72.716	53.468	51.022
3.	300	76.167	79.176	64.073	67.082	44.754	42.308
4.	400	73.668	76.677	60.075	63.084	52.108	49.662
5.	500	71.730	74.739	56.973	59.982	52.580	50.134

(Sumber : Hasil Perhitungan)

- Semakin besar nilai E_b/N_o maka kualitas sinyal terima akan semakin baik.
- Semakin besar nilai *bit rate* (R) maka nilai E_b/N_o akan semakin besar, dan semakin besar nilai *bandwidth* (B) maka nilai E_b/N_o akan semakin kecil.
- Pada perhitungan teori kondisi NLOS, semakin jauh jarak antara *transmitter* (*Node-B*) dan *receiver* (*UE*), maka nilai E_b/N_o akan semakin kecil.
- Hasil pengukuran *drive test* memperlihatkan bahwa jarak tidak mempengaruhi nilai E_b/N_o . Nilai E_b/N_o yang diperoleh lebih rendah dibandingkan dengan nilai dari hasil perhitungan.

d. *Bit error rate (BER)*

Tabel 4.18 Nilai BER hasil perhitungan dan pengukuran

No.	Jarak (m)	<i>Line of Sight (LOS)</i>		<i>Non-Line of Sight (NLOS)</i>			
		BER		BER Perhitungan Teori		BER Pengukuran <i>drive test</i>	
		QPSK	16- QAM	QPSK	16- QAM	QPSK	16- QAM
1.	100	0.064 x 10 ⁻³⁸	2.037 x 10 ⁻⁹	3.321 x 10 ⁻³⁴	7.410 x 10 ⁻⁹	0.817 x 10 ⁻²⁶	1.808 x 10 ⁻⁶
2.	200	1.402 x 10 ⁻³⁶	6.093 x 10 ⁻⁹	0.532 x 10 ⁻³¹	5.253 x 10 ⁻⁸	6.29 x 10 ⁻²⁵	1.099 x 10 ⁻⁶
3.	300	4.811 x 10 ⁻³⁵	1.254 x 10 ⁻⁸	1.524 x 10 ⁻²⁸	1.657 x 10 ⁻⁷	4.043 x 10 ⁻²¹	2.639 x 10 ⁻⁵
4.	400	5.51 x 10 ⁻³⁴	2.092 x 10 ⁻⁸	8.230 x 10 ⁻²⁷	3.749 x 10 ⁻⁷	2.483 x 10 ⁻²⁴	1.111 x 10 ⁻⁵
5.	500	4.19 x 10 ⁻³³	3.135 x 10 ⁻⁸	1.808 x 10 ⁻²⁵	6.945 x 10 ⁻⁷	1.536 x 10 ⁻²⁴	0.527 x 10 ⁻⁵

(Sumber : Hasil Perhitungan)

- Kualitas sinyal terima akan semakin baik bila nilai BER semakin kecil.
- Pada perhitungan teori, nilai BER akan meningkat sesuai dengan pertambahan jarak antara *transmitter* dan *receiver*. Sedangkan pada hasil pengukuran, jarak tidak mempengaruhi nilai BER.
- Semakin kecil nilai Eb/No maka nilai BER akan semakin besar.
- Nilai BER dari hasil perhitungan lebih baik dibandingkan dengan nilai BER dari hasil pengukuran *drive test*.