

BAB IV

PEMBAHASAN DAN HASIL

4.1 Umum

Dalam bab ini akan dilakukan analisis dan pembahasan tentang pengaruh *multipath fading* terhadap performansi CDMA 2000 1X EV-DO Rev. A. 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 dalam Bab II. Analisis yang dilakukan meliputi analisis perhitungan parameter performansi EV-DO Rev. A, yang meliputi *path loss*, *Signal to Noise Ratio* (SNR), *Energy bit per Noise* (Eb/No), dan *Bit Error Rate* (BER). Data sekunder yang digunakan antara lain berupa link budget dan spesifikasi teknis untuk EV-DO Rev. A diperoleh dari buku, penelitian dan jurnal.

Analisis dilakukan dengan cara menghitung nilai parameter performansi pada kondisi *Line of Sight* (LOS) dan *Non Line of Sight* (NLOS) dengan jarak antara BTS dan UE yang berubah-ubah. Hal ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh jarak dan keadaan lingkungan terhadap sinyal yang diterima oleh *receiver* (UE). Untuk melakukan proses analisis ini digunakan beberapa asumsi, yaitu:

1. *User Equipment* (UE) dan BTS yang akan diamati berada di luar ruangan (*outdoor*) pada daerah urban di sekitar pegunungan, dengan banyak gedung bertingkat, serta pohon dan menara. Hal ini dilakukan agar sinyal yang diterima pada *receiver* merupakan gabungan dari sinyal LOS (*Line of Sight*) dan sinyal hasil pantulan.
2. *User Equipment* (UE) dalam keadaan bergerak dengan kecepatan sedang (30 km/jam)
3. Tinggi antena *transmitter* / BTS (h_t) = 50 m.
4. Tinggi antena *receiver* / UE (h_r) = 1 m.
5. Frekuensi kerja *downlink* = 1900 MHz.
6. *Bandwidth* = 1,25 MHz.
7. Jarak antara UE dan BTS bervariasi mulai dari 1 km hingga 5 km, dengan selisih jarak sebesar 1 km. Jarak yang digunakan hingga 5 km dengan

tujuan untuk mengetahui apakah sinyal masih dapat diterima dengan baik atau tidak.

8. Sinyal 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*.

4.2 Analisis Pengaruh *Multipath Fading* Terhadap *Delay Spread*

Delay spread adalah lebar pulsa dari impulse yang dikirim antara pemancar dan penerima, yang merupakan fenomena alami yang disebabkan oleh propagasi pantulan dan hamburan pada kanal komunikasi. *Delay spread* juga dapat diartikan sebagai beda antara waktu kedatangan dari komponen *multipath* pertama dengan waktu kedatangan dari komponen *multipath* yang terakhir. Sinyal yang mengalami *multipath fading* akan mengalami penundaan waktu terima (*delay*). Hal ini disebabkan oleh adanya perbedaan jalur (*path*) dengan panjang yang berbeda.

Pengaruh *multipath fading* terhadap *delay spread* dapat diketahui dengan menghitung beberapa parameter seperti *mean excess delay*, *maximum excess delay* dan RMS *delay spread*, yang diperoleh dari *multipath power delay profile*. *Multipath power delay profile* adalah besarnya daya yang diharapkan terhadap waktu terima dengan *delay* tertentu. Analisis dalam penelitian ini menggunakan *multipath power delay profile* pada Tabel 4.1, yang diperoleh dari kondisi lingkungan *non line of sight* (NLOS) pada daerah *urban (terrain type A)*, memiliki enam jalur pantulan (*path*) serta proses terjadinya yaitu pada kanal *fading*.

Tabel 4.1. *Multipath Power Delay Profile*

<i>Path</i>	<i>Delay, τ_k</i> (μs)	<i>Power</i> (dB)	<i>Power, $P(\tau_k)$</i> (mw)
1	0	0	1
2	310	-1	0,794
3	710	-9	0,125
4	1090	-10	0,1
5	1730	-15	0,031
6	2510	-20	0,01

(Sumber : ITU Channel Model for Vehicular Test Environment)

a. Perhitungan *Mean Excess Delay*

Mean excess delay merupakan momen pertama dari *power delay profile*, dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (2-5) dan data yang digunakan yaitu berdasarkan Tabel 4.1.

$$\bar{\tau} = \frac{\sum_k a_k^2 \tau_k}{\sum_k a_k^2} = \frac{\sum_k P(\tau_k) \tau_k}{\sum_k P(\tau_k)}$$

$$= \frac{(1)(0) + (0,794)(310) + (0,125)(710) + (0,1)(1090) + (0,031)(1730) + (0,01)(2510)}{(1 + 0,794 + 0,125 + 0,1 + 0,031 + 0,01)}$$

$$= \frac{508,67}{2,015}$$

$$= 252,441 \mu\text{s}$$

b. Perhitungan *RMS Delay Spread*

RMS delay spread dapat diperoleh dengan cara menghitung nilai momen kedua dari *power delay profile* berdasarkan persamaan (2-10).

$$\bar{\tau}^2 = \frac{\sum_k a_k^2 \tau_k^2}{\sum_k a_k^2} = \frac{\sum_k P(\tau_k) \tau_k^2}{\sum_k P(\tau_k)}$$

$$= \frac{[(1)(0)^2] + [(0,794)(310)^2] + [(0,125)(710)^2] + [(0,1)(1090)^2] + [(0,031)(1730)^2] + [(0,01)(2510)^2]}{(1 + 0,794 + 0,125 + 0,1 + 0,031 + 0,01)}$$

$$\begin{aligned}
 &= \frac{1248925,9}{2,015} \\
 &= 619814,342 \mu\text{s}
 \end{aligned}$$

Sehingga dapat diperoleh nilai *RMS Delay Spread* sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 \sigma_{\tau} &= \sqrt{\tau^2 - (\bar{\tau})^2} \\
 &= \sqrt{619814,342 - (252,441)^2} \\
 &= 754,713 \mu\text{s}
 \end{aligned}$$

c. Perhitungan *Maximum Excess Delay*

Maximum Excess Delay adalah rentang *delay* antara munculnya impulse pertama sampai impulse terakhir pada *power delay profile*. Nilai untuk *Maximum Excess Delay* dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (2-6), dengan data berdasarkan Tabel 4.1.

$$\begin{aligned}
 \tau_d &= \max_{i,j} |\tau_i(t) - \tau_j(t)| \\
 &= \max_{1,6} |0 - 2510| \\
 &= 2510 \mu\text{s}
 \end{aligned}$$

Hasil perhitungan di atas dapat disimpulkan hasilnya dalam Tabel 4.2.

Tabel 4.2. Hasil Perhitungan *Delay Spread*

Parameter	Path 1	Path 2	Path 3	Path 4	Path 5	Path 6
<i>Delay</i> (τ), μs	0	310	710	1090	1730	2510
<i>Power</i> (dB)	0	-1	-9	-10	-15	-20
<i>Mean Excess Delay</i> ($\bar{\tau}$)	252,441 μs					
<i>Max. Excess Delay</i> (τ_d)	2510 μs					
<i>RMS Delay Spread</i> (σ_{τ})	754,713 μs					

(Sumber : Hasil Perhitungan)

4.3 Analisis Pengaruh Delay Spread Terhadap Kanal Multipath Fading

Sinyal yang mengalami efek *multipath fading*, yang disebabkan oleh propagasi pantulan dan hamburan pada kanal radio, akan mengalami *delay spread* pada sinyal yang diterima. *Delay spread multipath* akan mengakibatkan dua jenis *fading* pada kanal multipath fading, yaitu *flat fading* dan *frequency selective fading*, yang sangat dipengaruhi oleh *bandwidth* sinyal (B_s), *bandwidth* koheren (B_c), RMS *delay spread* (σ_τ) dan periode simbol (T_s).

4.3.1 Analisis Pengaruh Delay Spread Terhadap Flat Fading

Flat fading akan terjadi pada sinyal yang diterima di *receiver* apabila *bandwidth* koheren lebih besar dari *bandwidth* sinyal transmisi dan periode simbol lebih besar dari RMS *delay spread*. Syarat terjadinya *flat fading* yaitu :

$$B_s \ll B_c \text{ dan } T_s \gg \sigma_\tau$$

Dimana nilai *bandwidth* sinyal (B_s) yaitu :

$$B_s = \frac{1}{2\Delta\tau}$$

$$\text{Dengan } \Delta\tau = \frac{\tau_d}{N_{\text{path}}}$$

$$= \frac{2510 \mu\text{s}}{6} = 418,33 \mu\text{s}$$

Sehingga,

$$B_s = \frac{1}{2(418,33 \times 10^{-6})}$$

$$= 1,195 \text{ KHz}$$

Bandwidth koheren adalah *bandwidth* yang digunakan untuk mentransmisikan data/informasi. Besarnya nilai *bandwidth* koheren (B_c) yaitu :

$$B_c = \frac{1}{\sigma_\tau}$$

$$= \frac{1}{754,713 \times 10^{-6}}$$

$$= 1,325 \text{ KHz}$$

Nilai periode simbol (T_s) yaitu :

$$\begin{aligned}
 T_s &= \frac{1}{B_s} \\
 &= \frac{1}{1,195 \times 10^3} \\
 &= 0,836 \text{ ms} = 836 \mu\text{s}
 \end{aligned}$$

Berdasarkan syarat terjadinya *flat fading* yang telah dijelaskan sebelumnya, maka berdasarkan hasil perhitungan dapat dituliskan sebagai berikut:

$$B_s = 1,195 \text{ KHz} ; B_c = 1,325 \text{ KHz} ; T_s = 836 \mu\text{s} ; \sigma_\tau = 754,713 \mu\text{s}$$

Dapat disimpulkan bahwa syarat terjadinya *flat fading* terpenuhi. Jadi *fading* yang terjadi adalah *flat fading*.

4.3.2 Analisis Pengaruh *Delay Spread* Terhadap *Frequency Selective Fading*

Frequency selective fading akan terjadi pada sinyal yang diterima di *receiver* apabila *bandwidth* sinyal transmisi lebih besar dari *bandwidth* koheren. Syarat terjadinya *frequency selective fading* yaitu :

$$B_s \gg B_c \text{ dan } T_s \ll \sigma_\tau$$

Berdasarkan perhitungan sebelumnya, telah diperoleh nilai-nilai sebagai berikut :

$$B_s = 1,195 \text{ KHz} ; B_c = 1,325 \text{ KHz} ; T_s = 836 \mu\text{s} ; \sigma_\tau = 754,713 \mu\text{s}$$

Sehingga dapat disimpulkan bahwa syarat *frequency selective fading* tidak terpenuhi.

4.4 Analisis Pengaruh *Multipath Fading* Terhadap Parameter Performansi CDMA 2000 1X EV-DO Rev. A

Perhitungan parameter performansi EV-DO Rev. A antara lain meliputi perhitungan nilai redaman propagasi (*pathloss*), SNR, Eb/No, dan BER. Semua parameter performansi tersebut dihitung pada kondisi LOS dan NLOS dengan jarak antara UE dan BTS yang berubah-ubah untuk mengetahui perbedaan kualitas sinyal yang diterima pada *receiver*.

4.4.1 Analisis Redaman Propagasi (*Path Loss*)

a. Kondisi *Line Of Sight* (LOS)

Parameter redaman propagasi atau *path loss* digunakan untuk menentukan besarnya daya selama proses pengiriman data dari *transmitter* ke *receiver* pada

media transmisi. Redaman propagasi yang tidak terpengaruh oleh multipath fading dapat diketahui berdasarkan pada kondisi *Line Of Sight* (LOS). Kondisi LOS adalah kondisi di mana antara *transmitter* (BTS) dan *receiver* (*User Equipment* / UE) tidak terdapat halangan sama sekali. Perhitungan redaman 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 redaman propagasi LOS (*free space loss*) jika jarak antara UE dan *Node B* berubah-ubah mulai dari jarak 1 km – 5 km dan sistem bekerja pada frekuensi 1900 MHz. Dengan menggunakan persamaan (2-17), maka redaman propagasi untuk jarak 1 km pada kondisi LOS dapat dihitung sebagai berikut :

$$FSL = -20 \log \left(\frac{\lambda}{4\pi d} \right)$$

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

$$= \frac{3 \times 10^8}{1,9 \times 10^9}$$

$$= 0,157 \text{ m}$$

Maka akan diperoleh nilai *free space loss* (FSL) sebagai berikut :

$$FSL = -20 \log \left(\frac{0,157}{4 \times 3,14 \times 1000} \right)$$

$$= 98,061 \text{ dB}$$

Dengan menggunakan persamaan (2-18) maka perhitungan level sinyal pada *receiver* dapat dihitung dengan cara sebagai berikut :

$$P_r (\text{dBm}) = P_t + G_t - L_t + G_r - L_r - FSL - FM$$

Berdasarkan Tabel 4.2 diketahui bahwa :

$$P_t = 41,8 \text{ dBm} ; G_t = 17 \text{ dBi} ; G_r = 0 \text{ dBi} ; FM = 10,3 \text{ dB} ; L_t = 3 \text{ dBi} ; L_r = 3 \text{ dB}$$

maka,

$$P_r (\text{dBm}) = 41,8 + 17 - 3 + 0 - 3 - 98,061 - 10,3$$

$$= -55,061 \text{ dBm}$$

b. Kondisi Non Line Of Sight (NLOS)

Kondisi *Non Line of Sight* (NLOS) adalah kondisi dimana antara *transmitter* (BTS) dan *receiver* (UE) terdapat penghalang sinyal seperti rumah, pohon dan gedung. Kondisi ini menyebabkan sinyal yang dikirim oleh *transmitter* mengalami pantulan, difraksi atau *scattering*, sehingga sinyal tersebut memiliki lebih dari satu jalur dari *transmitter* ke *receiver*.

Perhitungan redaman propagasi untuk kondisi NLOS ini selanjutnya digunakan untuk menghitung besarnya daya yang diterima oleh UE (P_r). Parameter yang dibutuhkan dalam perhitungan nilai *path loss* antara lain yaitu jarak antara UE dan BTS (d), *gain* pada *transmitter* (G_t), *gain* pada *receiver* (G_r), tinggi antena *transmitter* (h_t), dan tinggi antena *receiver* (h_r).

Pada kondisi ini akan dihitung besarnya nilai redaman propagasi NLOS (*path loss*) jika jarak antara UE dan BS berubah-ubah mulai dari jarak 1 km – 5 km. Dengan menggunakan persamaan (2-19), maka nilai *path loss* pada kondisi NLOS dapat dihitung sebagai berikut :

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

Untuk jarak antara UE dan BTS sejauh 1000 m, maka nilai *path loss* dapat dihitung dengan menggunakan langkah – langkah berikut :

- Perhitungan nilai *path loss* referensi (A)

$$A = 20 \log\left(\frac{4\pi d_0}{\lambda}\right)$$

Nilai λ diperoleh berdasarkan perhitungan sebelumnya, yaitu 0,157 m, sedangkan nilai $d_0 = 100$ m.

Sehingga,

$$\begin{aligned} A &= 20 \log\left(\frac{4 \times 3,14 \times 100}{0,157}\right) \\ &= 78,061 \text{ dB} \end{aligned}$$

- Perhitungan nilai eksponen *path loss* (γ)

$$\gamma = a - b.h_t + \frac{c}{h_t}$$

Karena telah diasumsikan bahwa daerah yang diamati berada di daerah urban, maka nilai a, b dan c menggunakan data pada Tabel 2.2 untuk *terrain type A*.

$$\begin{aligned}\gamma &= 4,6 - 0,0075 \times 50 + \frac{12,6}{50} \\ &= 4,477\end{aligned}$$

- Perhitungan faktor koreksi frekuensi (ΔPL_f)

$$\Delta PL_f = 6 \log \frac{f}{2000}$$

Jika diketahui nilai $f = 1900$ MHz, maka:

$$\begin{aligned}\Delta PL_f &= 6 \log \frac{1900}{2000} \\ &= -0,13\end{aligned}$$

- Perhitungan faktor koreksi tinggi antenna user (ΔPL_h)

$$\Delta PL_h = -10,8 \log \left(\frac{h_r}{2} \right)$$

Diketahui nilai $h_r = 1$ m, maka :

$$\begin{aligned}\Delta PL_h &= -10,8 \log \left(\frac{1}{2} \right) \\ &= 3,2511\end{aligned}$$

- *Shadow fading variation* (s)

Nilai s dapat dilihat pada Tabel 2.2. Untuk *terrain type A*, nilai $s = 10,6$ dB.

Setelah diperoleh nilai-nilai yang diperlukan, maka dapat dihitung nilai *path loss* untuk kondisi NLOS dengan jarak UE dan *Node B* sejauh 500 m sebagai berikut :

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

$$\begin{aligned}PL &= 78,061 + 10 \times 4,477 \log \left(\frac{1000}{100} \right) - 0,13 + 3,2511 + 10,6 \\ &= 118,2 \text{ dB}\end{aligned}$$

Untuk menghitung level sinyal terima pada *receiver*, maka digunakan persamaan (2-22).

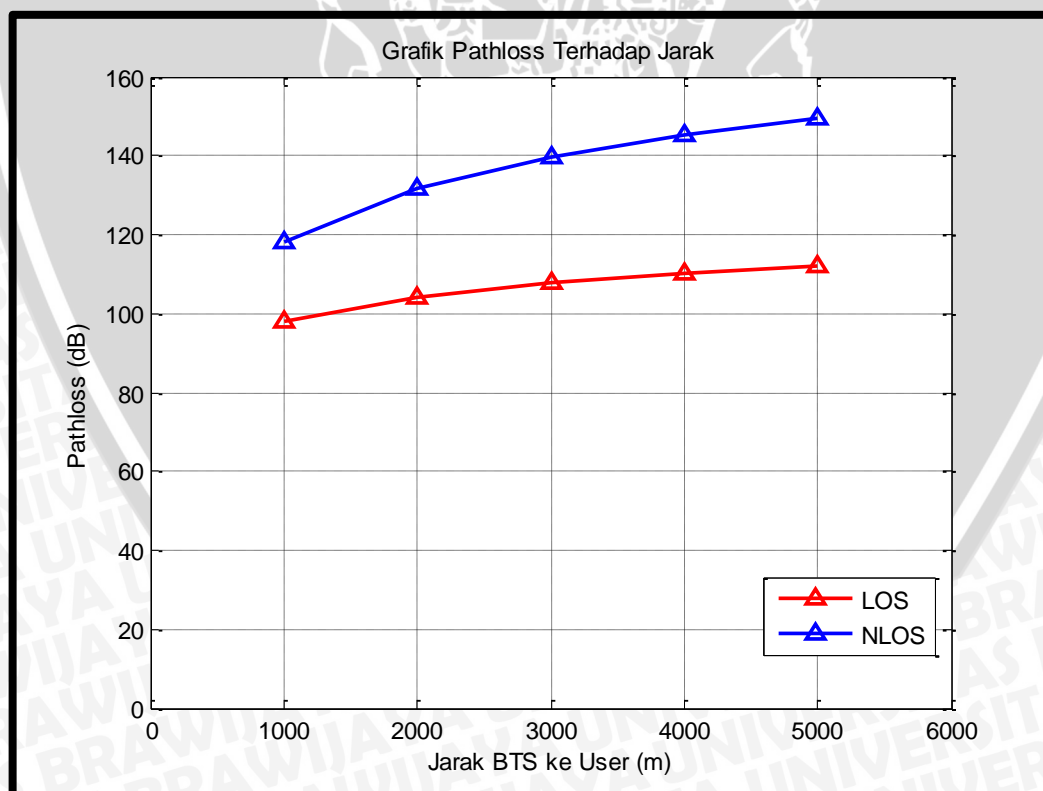
$$\begin{aligned}
 P_r \text{ (dBm)} &= P_t + G_t - L_t + G_r - L_r - PL - FM \\
 &= 41,8 + 17 - 3 + 0 - 3 - 118,2 - 10,3 \\
 &= -75,700 \text{ dBm}
 \end{aligned}$$

Dengan cara perhitungan yang sama untuk jarak UE dan BS antara 2 km – 5 km, maka akan diperoleh nilai *path loss* dan daya terima pada kondisi LOS dan NLOS seperti pada Tabel 4.3. Hubungan antara *path loss* dan daya terima terhadap jarak ditunjukkan pada gambar 4.1 dan gambar 4.2.

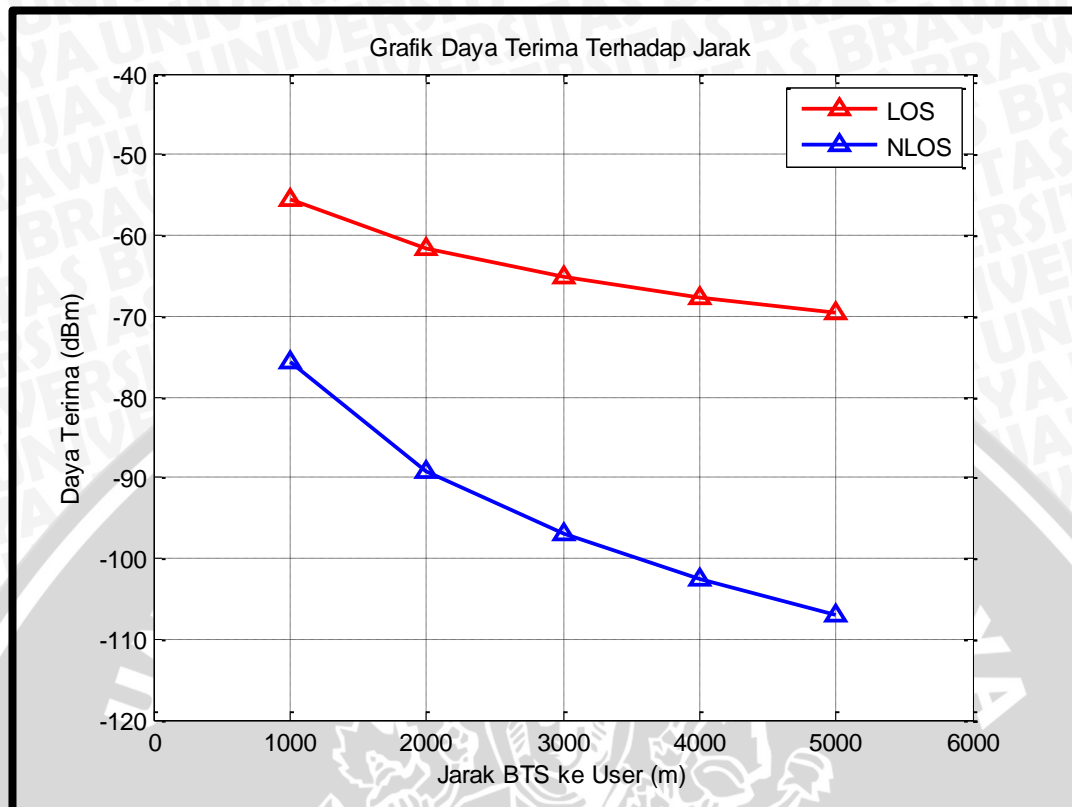
Tabel 4.3. Perhitungan *path loss* dan daya terima pada kondisi LOS dan NLOS

Jarak (m)	Line of Sight (LOS)		Non Line of Sight (NLOS)	
	Free Space Loss (dB)	Daya Terima (dBm)	Path Loss (dB)	Daya Terima (dBm)
1000	98,061	-55,561	118,200	-75,700
2000	104,082	-61,582	131,677	-89,177
3000	107,604	-65,104	139,561	-97,061
4000	110,103	-67,603	145,154	-102,654
5000	112,041	-69,541	149,493	-106,993

(Sumber : Hasil Perhitungan)



Gambar 4.1 Hubungan *path loss* dan jarak BTS ke UE
(Sumber : Hasil Perhitungan)



Gambar 4.2 Hubungan daya terima dan jarak BTS ke UE
(Sumber : Hasil Perhitungan)

1. Berdasarkan grafik di atas, redaman propagasi (*path loss*) pada kondisi tidak terpengaruh *multipath fading* (LOS) lebih kecil bila dibandingkan dengan keadaan yang terpengaruh oleh *multipath fading* (NLOS). Sedangkan besarnya daya terima pada kondisi LOS lebih besar bila dibandingkan dengan kondisi NLOS. Hal ini menunjukkan bahwa *multipath fading* akan menyebabkan redaman propagasi bertambah atau *loss* akan semakin besar.
2. Pada kondisi LOS maupun NLOS, besarnya redaman propagasi dipengaruhi oleh jarak antara BTS dan UE. Jarak yang semakin jauh menyebabkan redaman propagasi semakin besar, sebaliknya semakin dekat jaraknya maka redaman propagasi semakin kecil. Sedangkan besarnya daya terima dipengaruhi oleh besarnya nilai redaman propagasi atau *path loss*, semakin besar *path loss* maka semakin kecil

daya terimanya dan semakin kecil *path loss* maka semakin besar daya terimanya.

3. Berdasarkan Tabel 2.1 tentang parameter *link budget* EV-DO Rev. A diketahui bahwa sensitivitas *receiver* yaitu -104 dBm, artinya UE hanya dapat menerima dan memproses sinyal dengan baik apabila besar daya terimanya (P_r) di atas nilai -104 dBm. Pada kondisi LOS, untuk jarak antara BTS dan UE sampai dengan 5000 m, UE masih dapat menerima dan memproses sinyal dengan baik dengan daya terima sebesar -69,541 dBm. Sedangkan pada kondisi NLOS, UE hanya dapat menerima sinyal sampai dengan jarak 4000 m dengan daya terima sebesar -102,654 dB.

4.4.2 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 nilai SNR dilakukan pada kanal *wireless* yang terdiri dari kanal AWGN dan kanal *fading*. Kanal AWGN digunakan untuk kondisi LOS, sedangkan kanal *fading* digunakan untuk kondisi NLOS.

a. Kondisi *Line of Sight* (LOS)

Untuk menghitung nilai SNR, maka terlebih dahulu harus menghitung besarnya daya noise sesuai dengan persamaan (2-24).

$$N_{total} = P_t \cdot (N - 1)$$

$$N - 1 = \frac{B / R}{E_b / N_o} \quad , \text{ di mana } E_b = P_t / R \text{ dan } N_o = kTB + NF +$$

gain

$$N_{total} = P_t \cdot \frac{\frac{B / R}{P_t / R}}{kTB + NF + \text{gain}}$$

$$\begin{aligned}
 &= 41,8 \times \frac{1,25 / 3,1}{\frac{48,1}{3,1} / (1,38 \cdot 10^{-23} \cdot 300 \cdot 1,25 \cdot 10^6)} \\
 &= 41,8 \times -2,69 \\
 &= -112,442 \text{ dBm}
 \end{aligned}$$

Dengan nilai $N_{\text{total}} = -112,442 \text{ dBm}$, maka nilai SNR pada jarak 1000 m dengan kondisi LOS dapat dihitung menggunakan persamaan (2-23) sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 SNR(\text{dB}) &= P_r(\text{dBm}) - N_{\text{total}}(\text{dBm}) \\
 &= -55,561 - (-112,442) \\
 &= 56,880 \text{ dB}
 \end{aligned}$$

Dengan nilai N yang sama (-133,860 dBm) dan cara perhitungan yang sama untuk jarak UE dan BTS antara 2 km – 5 km, maka akan diperoleh nilai SNR pada kondisi LOS seperti pada Tabel 4.4.

b. Kondisi Non Line of Sight (NLOS)

Perhitungan SNR pada kondisi NLOS sama seperti perhitungan SNR pada kondisi LOS. Namun daya yang diterima oleh *receiver* (P_r) menggunakan daya terima pada kondisi NLOS. Dengan menggunakan daya noise (N) yang sama yaitu sebesar -112,442 dBm, maka nilai SNR pada jarak 1000 m dengan kondisi NLOS dapat dihitung seperti berikut di bawah ini :

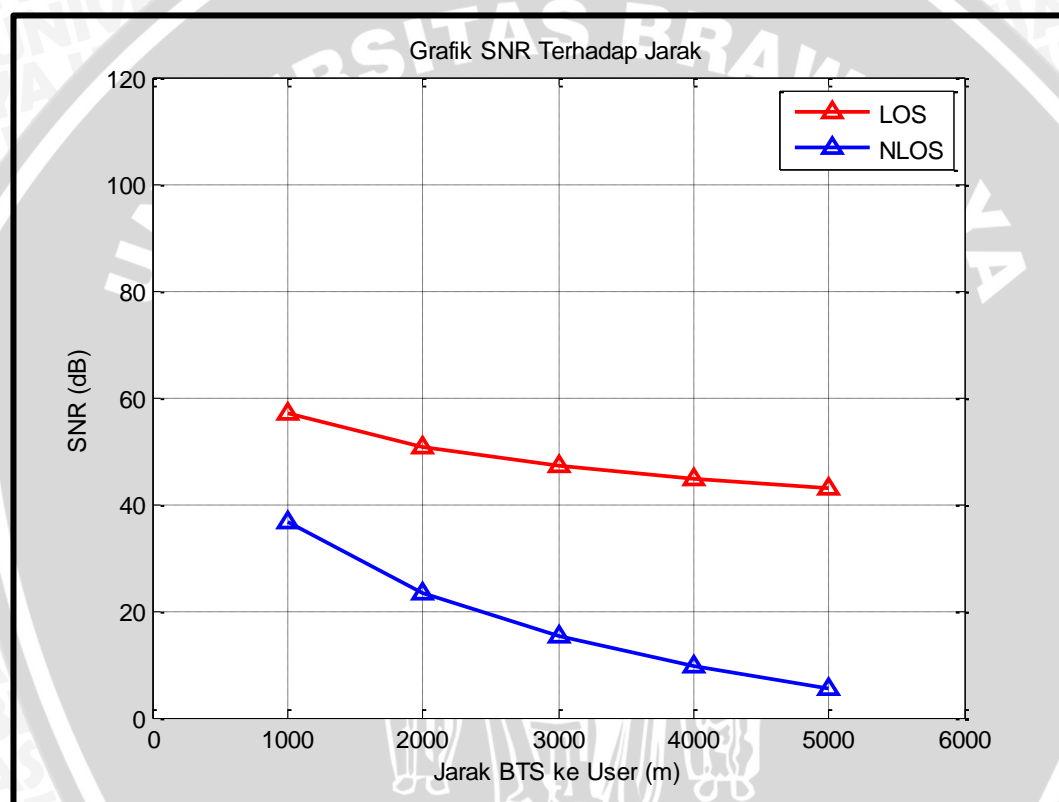
$$\begin{aligned}
 SNR(\text{dB}) &= P_r(\text{dBm}) - N(\text{dBm}) \\
 &= -75,700 - (-112,442) \\
 &= 36,7416 \text{ dB}
 \end{aligned}$$

Dengan cara perhitungan yang sama untuk jarak UE dan BS antara 2 km – 4 km, maka akan diperoleh nilai SNR pada kondisi NLOS seperti pada Tabel 4.4.

Tabel 4.4. Perhitungan SNR pada kondisi LOS dan NLOS

Jarak (m)	Line of Sight (LOS)			Non Line of Sight (NLOS)		
	Daya Terima(Pr) (dBm)	Noise (N) (dBm)	SNR (dB)	Daya Terima(Pr) (dBm)	Noise (N) (dBm)	SNR (dB)
1000	-55,561	-112,442	56,880	-75,700	-112,442	36,741
2000	-61,582	-112,442	50,859	-89,177	-112,442	23,264
3000	-65,104	-112,442	47,337	-97,061	-112,442	15,380
4000	-67,603	-112,442	44,839	-102,654	-112,442	9,787
5000	-69,541	-112,442	42,900	-	-	-

(Sumber : Hasil Perhitungan)

**Gambar 4.3.** Hubungan SNR dan jarak dari BTS ke UE
(Sumber :Hasil perhitungan)

1. Berdasarkan grafik di atas, dapat diketahui bahwa nilai SNR pada kondisi yang terpengaruh *multipath fading* (NLOS) lebih kecil dari nilai SNR pada kondisi LOS. Maka dapat disimpulkan bahwa *multipath fading* mengakibatkan nilai SNR menurun.
2. Dengan daya *noise* (N) yang sama dan jarak yang berbeda, dapat diketahui bahwa sinyal pada kondisi LOS dan NLOS akan

menghasilkan daya terima (P_r) dan nilai SNR yang berbanding terbalik terhadap jarak antara BTS dan UE. Semakin jauh jarak antara *transmitter* (BTS) dan *receiver* (UE), maka nilai SNR akan semakin kecil. Hal ini menandakan kualitas sinyal yang diterima semakin buruk karena terjadi penurunan daya terima sesuai dengan bertambahnya jarak.

3. Untuk kondisi LOS pada jarak 5000 m masih dapat menerima sinyal terhadap *noise* dengan nilai SNR = 42,900 dB dan nilai daya terima -69,541 dBm. Sedangkan untuk kondisi NLOS dapat menerima sinyal terhadap *noise* dengan nilai SNR = 9,787 dB dengan nilai daya terima -102,154 dBm pada jarak 4000 m.

4.4.3 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).

a. Kondisi *Line of Sight* (LOS)

Perhitungan nilai E_b/N_o untuk kondisi LOS pada jarak 1000 m dapat diperoleh dengan menggunakan persamaan 2-30.

$$\frac{E_b}{N_o} (dB) = \frac{S}{N} - 10 \log \frac{B}{R}$$

Diketahui nilai *bandwidth* (B) = 1,25 MHz, *bit rate* (R) yang digunakan = 3,1 Mbps, dan S/N = 56,880 dB.

Maka,

$$\begin{aligned} \frac{E_b}{N_o} (dB) &= 56,880 - 10 \log \left(\frac{1,25 \times 10^6}{3,1 \times 10^6} \right) \\ &= 56,880 - (-3,944) \\ &= 60,824 \text{ dB} \end{aligned}$$

Dengan cara perhitungan yang sama untuk jarak UE dan BTS antara 2 km – 5 km, maka akan diperoleh nilai E_b/N_o pada kondisi LOS seperti pada Tabel 4.3.

b. Kondisi *Non Line of Sight* (NLOS)

Perhitungan nilai E_b/N_0 untuk kondisi NLOS pada jarak 1000 m dapat diperoleh dengan cara yang sama seperti pada kondisi LOS, yaitu :

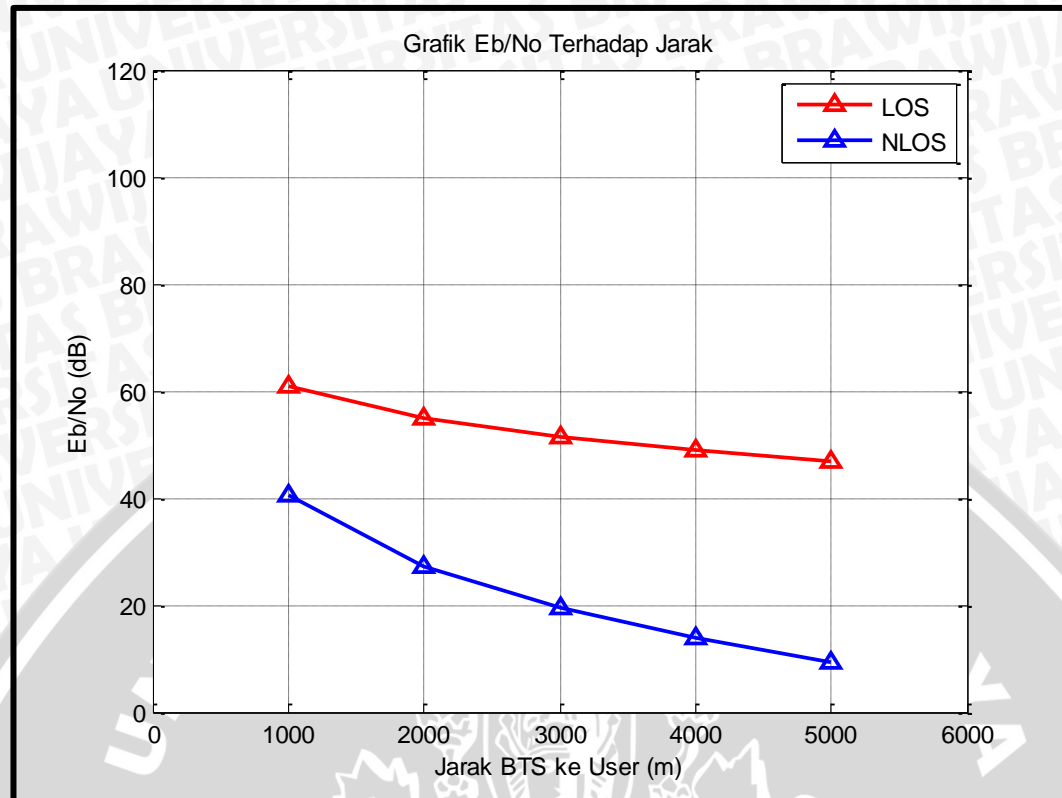
$$\begin{aligned} \frac{E_b}{N_0} \text{ (dB)} &= \frac{S}{N} - 10 \log \frac{B}{R} \\ &= 36,741 - 10 \log \left(\frac{1,25 \times 10^6}{3,1 \times 10^6} \right) \\ &= 36,741 - (-3,944) \\ &= 40,686 \text{ dB} \end{aligned}$$

Dengan cara perhitungan yang sama untuk jarak UE dan BTS antara 2 km – 4 km, maka akan diperoleh nilai E_b/N_0 pada kondisi NLOS seperti pada Tabel 4.5.

Tabel 4.5. Perhitungan E_b/N_0 pada kondisi LOS dan NLOS

Jarak (m)	<i>Line of Sight</i> (LOS)		<i>Non Line of Sight</i> (NLOS)	
	SNR (dB)	E_b/N_0 (dB)	SNR (dB)	E_b/N_0 (dB)
1000	56,880	60,824	36,741	40,686
2000	50,859	54,804	23,264	27,209
3000	47,337	51,282	15,380	19,325
4000	44,839	48,783	9,787	13,371
5000	42,900	46,845	-	-

(Sumber : Hasil Perhitungan)



Gambar 4.4. Hubungan E_b/N_0 dengan jarak BTS ke UE
(Sumber : Hasil Perhitungan)

1. Berdasarkan grafik di atas, dapat diketahui bahwa nilai E_b/N_0 pada kondisi LOS lebih besar dari nilai E_b/N_0 pada kondisi NLOS. Hal ini menunjukkan bahwa multipath fading menyebabkan E_b/N_0 akan semakin kecil. E_b/N_0 berbanding terbalik terhadap jarak dan berbanding lurus terhadap nilai *bit rate* dan SNR.
2. Pada kondisi LOS dan NLOS, semakin jauh jarak antara *transmitter* (BTS) dan *receiver* (UE), maka nilai E_b/N_0 akan semakin kecil.
3. Untuk kondisi LOS pada jarak 5000 m masih dapat menerima sinyal terhadap *noise* dengan nilai SNR = 42,900 dB dan nilai E_b/N_0 = 46,845 dB. Sedangkan untuk kondisi NLOS dapat menerima sinyal terhadap *noise* dengan nilai SNR = 9,787 dB dengan nilai E_b/N_0 = 13,371 dB pada jarak 4000 m.

4.4.4 Analisis *Bit Error Rate* (BER)

BER adalah banyaknya *bit* yang salah ketika sejumlah *bit* ditransmisikan dari titik asal ke titik tujuan. Teknologi EV-DO Rev. A yang menggunakan jenis modulasi QPSK diharapkan mempunyai nilai batas BER maksimum sebesar 10^{-6} , artinya dari 1 juta bit ada 1 bit yang mengalami kerusakan. Pada analisis ini hanya akan dihitung nilai BER pada perangkat *user equipment* (UE) saja.

a. Kondisi *Line of Sight* (LOS)

Besarnya nilai BER, atau sering disebut probabilitas bit error (P_{be}), dengan menggunakan teknik modulasi QPSK pada jarak 1000 m dengan $E_b/N_0 = 82,243$ dB dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (2-31).

$$\begin{aligned} P_{be.QPSK} &= Q\left(\sqrt{2 \frac{E_b}{N_0}}\right) \\ &= Q\left(\sqrt{2 \times 60,824}\right) \\ &= Q(11,029) \end{aligned}$$

Dengan nilai (x) adalah (11,029) maka diperoleh :

$$\begin{aligned} Q(x) &= \frac{1}{2} \operatorname{erfc}\left(\frac{x}{\sqrt{2}}\right) \\ Q(11,029) &= \frac{1}{2} \operatorname{erfc}\left(\frac{11,029}{\sqrt{2}}\right) \\ &= \frac{1}{2} \operatorname{erfc}(7,798) \end{aligned}$$

Dimana,

$$\begin{aligned} \operatorname{erfc}(x) &\approx \frac{1}{\sqrt{\pi x}} \cdot e^{-x^2} \\ \operatorname{erfc}(7,798) &\approx \frac{1}{\sqrt{3,14 \times 7,798}} \cdot e^{-(7,798^2)} \\ &\approx \frac{1}{4,948} \cdot e^{-60,808} \\ &\approx 7,888 \times 10^{-28} \end{aligned}$$

Sehingga,

$$\begin{aligned} Q(11,029) &= \frac{1}{2} (7,888 \times 10^{-28}) \\ &= 3,944 \times 10^{-28} \end{aligned}$$

Dengan cara perhitungan yang sama untuk jarak UE dan BTS antara 2 km – 5 km, maka akan diperoleh nilai P_{be} pada kondisi LOS seperti pada Tabel 4.6.

b. Kondisi Non Line of Sight (NLOS)

Perhitungan nilai BER untuk kondisi NLOS samadengan perhitungan nilai BER pada kondisi LOS. Yang membedakan hanya pada nilai E_b/N_0 saja. Nilai BER pada kondisi NLOS dengan jarak antara BTS dan User Equipment (UE) sejauh 1000 m dan $E_b/N_0=62,105$ dB dapat dihitung sebagai berikut.

$$\begin{aligned} P_{be,QPSK} &= Q\left(\sqrt{2\frac{E_b}{N_0}}\right) \\ &= Q\left(\sqrt{2 \times 40,686}\right) \\ &= Q(9,020) \end{aligned}$$

Dengan nilai (x) adalah (8,842) maka diperoleh :

$$\begin{aligned} Q(x) &= \frac{1}{2} \operatorname{erfc}\left(\frac{x}{\sqrt{2}}\right) \\ Q(9,020) &= \frac{1}{2} \operatorname{erfc}\left(\frac{9,020}{\sqrt{2}}\right) \\ &= \frac{1}{2} \operatorname{erfc}(6,378) \end{aligned}$$

Dimana,

$$\begin{aligned} \operatorname{erfc}(x) &\approx \frac{1}{\sqrt{\pi x}} \cdot e^{-x^2} \\ \operatorname{erfc}(6,378) &\approx \frac{1}{\sqrt{3,14 \times 6,378}} \cdot e^{-(6,378^2)} \\ &\approx \frac{1}{4,475} \cdot e^{-40,704} \\ &\approx 4,695 \times 10^{-19} \end{aligned}$$

Sehingga,

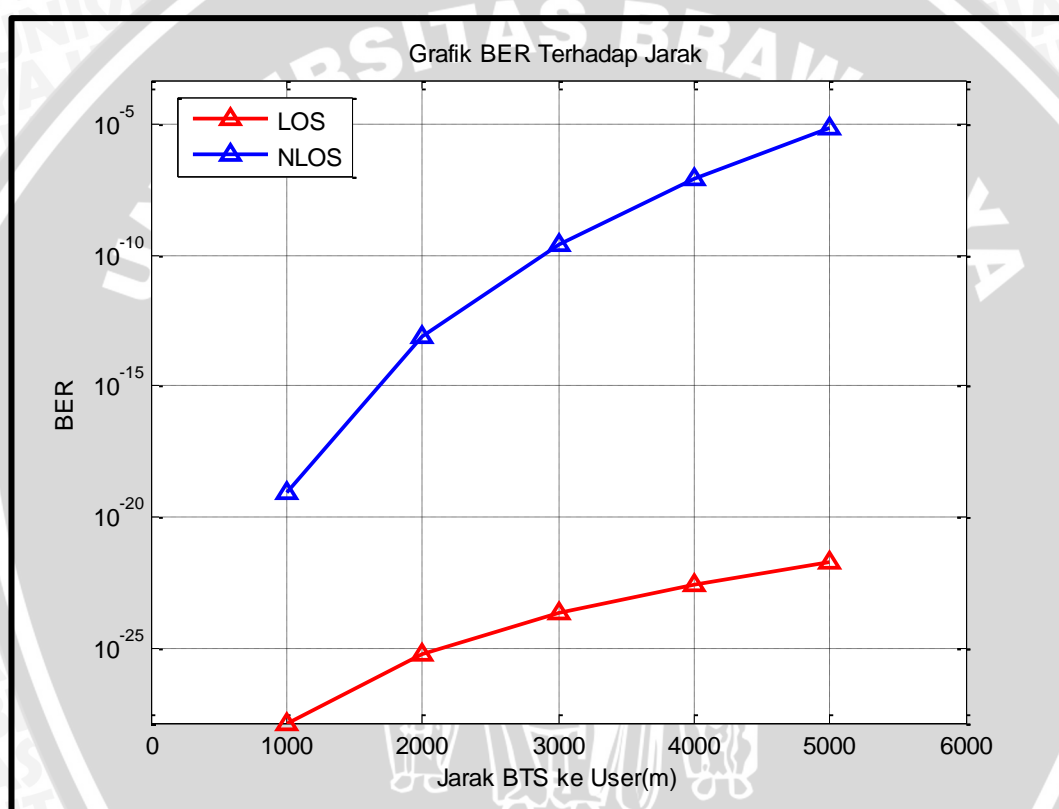
$$\begin{aligned} Q(9,020) &= \frac{1}{2} (4,695 \times 10^{-19}) \\ &= 2,347 \times 10^{-19} \end{aligned}$$

Dengan cara perhitungan yang sama untuk jarak UE dan BTS antara 2 km – 4 km, maka akan diperoleh nilai P_{be} pada kondisi NLOS seperti pada Tabel 4.6.

Tabel 4.6. Perhitungan Probabilitas *bit error* (Pbe) kondisi LOS dan NLOS

Jarak (m)	Line of Sight (LOS)		Non Line of Sight (NLOS)	
	Eb/No (dB)	Probabilitas <i>bit error</i> (Pbe)	Eb/No (dB)	Probabilitas <i>bit error</i> (Pbe)
1000	60,824	$3,944 \times 10^{-28}$	40,686	$2,347 \times 10^{-19}$
2000	54,804	$3,399 \times 10^{-26}$	27,209	$1,888 \times 10^{-13}$
3000	51,282	$5,654 \times 10^{-24}$	15,380	$2,974 \times 10^{-8}$
4000	48,783	$6,903 \times 10^{-23}$	9,787	$8,986 \times 10^{-6}$
5000	46,845	$4,834 \times 10^{-22}$	-	-

Sumber : Hasil Perhitungan



Gambar 4.5. Hubungan BER terhadap jarak BTS ke UE
(**Sumber :** Hasil Perhitungan)

1. Berdasarkan grafik di atas, nilai BER pada kondisi terpengaruh *multipath fading* (NLOS) lebih besar jika dibandingkan dengan BER tanpa pengaruh *multipath fading* (LOS). Hal ini menunjukkan bahwa *multipath fading* akan menyebabkan nilai BER akan semakin besar, yang berarti jumlah bit yang salah akan semakin banyak.
2. Nilai BER juga dipengaruhi oleh jarak antara BTS dan UE, semakin jauh jarak antara *transmitter* (BTS) dan *receiver* (UE) maka nilai

probabilitas *bit error* (P_{be}) atau BER akan semakin besar. Hal ini berarti bahwa bit-bit yang diterima pada UE akan semakin besar kesalahannya jika jaraknya semakin jauh.

3. Nilai BER terbesar yaitu $6,344 \times 10^{-17}$ pada kondisi NLOS pada jarak 4000 m. Hal ini berarti kondisi yang terpengaruh oleh multipath fading memiliki kesalahan lebih besar bila dibandingkan dengan kondisi LOS dengan nilai BER sebesar $2,221 \times 10^{-31}$ pada jarak 5000 m.

4.5 Hasil Analisis

Dari hasil perhitungan diperoleh nilai *delay spread* yang mempengaruhi kanal *multipath fading*, yaitu sebagai berikut :

- a. *Mean Excess Delay* ($\bar{\tau}$) = 252,441 μ s
- b. *Maximum Excess Delay* (τ_d) = 2510 μ s
- c. *RMS Delay Spread* (σ_τ) = 754,713 μ s
- d. *Bandwidth* sinyal (B_s) = 1,195 KHz
- e. *Bandwidth* koheren (B_c) = 1,325 KHz
- f. Periode simbol (T_s) = 836 μ s
- g. Jenis *fading* yang terjadi = *flat fading*

Hasil *delay spread* tersebut menimbulkan terjadinya *flat fading* yang terjadi pada kanal *multipath fading* yang akan mempengaruhi parameter performansi EV-DO Rev. A. Nilai-nilai dari parameter performansi EV-DO Rev. A tanpa pengaruh efek *multipath fading* dan yang dipengaruhi oleh efek *multipath fading* antara lain sebagai berikut :

a. Daya Terima (P_r)

Tabel 4.7. Hasil perhitungan Daya Terima

Jarak (m)	Daya Terima (dBm)	
	<i>Line of Sight</i> (LOS)	<i>Non Line of Sight</i> (NLOS)
1000	-55,561	-75,700
2000	-61,582	-89,177
3000	-65,104	-97,061
4000	-67,603	-102,654
5000	-69,541	-

(Sumber : Hasil perhitungan)

- Daya terima akan semakin kecil jika terpengaruh *multipath fading*.
- Kondisi *Line of Sight* (LOS) : sinyal dapat diterima dan diproses dengan baik sampai dengan jarak 5000 m, dengan daya terima ($Pr = -69,541$ dBm).
- Kondisi *Non Line of Sight* (NLOS) : sinyal masih dapat diterima dan diproses sampai dengan jarak 4000 m dengan nilai $Pr = -102,654$.

b. Signal to Noise Ratio (SNR)

Tabel 4.8. Hasil perhitungan SNR

Jarak (m)	SNR (dB)	
	<i>Line of Sight</i> (LOS)	<i>Non Line of Sight</i> (NLOS)
1000	56,880	36,741
2000	50,859	23,264
3000	47,337	15,380
4000	44,839	9,787
5000	42,900	-

(Sumber : Hasil perhitungan)

- Semakin besar nilai SNR maka kualitas sinyal yang terima akan semakin baik.
- Nilai SNR akan menurun jika terpengaruh *multipath fading*.
- Nilai SNR juga akan menurun sesuai dengan penambahan jarak (d) dan penurunan daya terima (Pr). Artinya, kualitas sinyal akan semakin buruk apabila jarak antara *transmitter* dan *receiver* semakin jauh.

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

Tabel 4.9. Hasil perhitungan Eb/No

Jarak (m)	Eb/No (dB)	
	<i>Line of Sight</i> (LOS)	<i>Non Line of Sight</i> (NLOS)
1000	60,824	40,686
2000	54,804	27,209
3000	51,282	19,325
4000	48,783	13,371
5000	9,787	-

(Sumber : Hasil perhitungan)



- *Multipath fading* akan menyebabkan nilai Eb/No semakin kecil dan kualitas sinyal semakin buruk.
- Semakin besar nilai Eb/No maka kualitas sinyal yang diterima akan semakin baik.
- Nilai Eb/No juga akan menurun sesuai dengan penambahan jarak dan penurunan nilai SNR.
- Semakin besar nilai *bit rate* (R) maka nilai Eb/No akan semakin besar, dan semakin kecil nilai *bandwidth* (B) maka nilai Eb/No akan semakin besar.

d. *Bit Error Rate* (BER)

Tabel 4.10. Hasil perhitungan BER

Jarak (m)	Probabilitas <i>bit error</i> , P_{be}	
	<i>Line of Sight</i> (LOS)	<i>Non Line of Sight</i> (NLOS)
1000	$3,944 \times 10^{-28}$	$2,347 \times 10^{-19}$
2000	$3,399 \times 10^{-26}$	$1,888 \times 10^{-13}$
3000	$5,654 \times 10^{-24}$	$2,974 \times 10^{-8}$
4000	$6,903 \times 10^{-23}$	$8,986 \times 10^{-6}$
5000	$4,834 \times 10^{-22}$	-

(Sumber : Hasil perhitungan)

- *Multipath fading* akan memperbesar nilai P_{be} atau BER, di mana kualitas sinyal juga akan menjadi semakin buruk.
- Kualitas sinyal terima akan semakin baik bila nilai P_{be} atau BER semakin kecil.
- Nilai P_{be} akan meningkat sesuai dengan penambahan jarak antara *transmitter* dan *receiver*.
- Semakin kecil nilai Eb/No maka nilai P_{be} akan semakin besar.

Dari hasil analisis di atas, maka dapat disimpulkan bahwa *multipath fading* akan menyebabkan performansi jaringan CDMA2000 1X EV-DO Rev. A semakin menurun. Selain itu, penurunan performansi juga terjadi akibat semakin jauhnya jarak antara BTS dan *User Equipment* (UE).

Jaringan CDMA2000 1X EV-DO Rev. A memiliki *bit rate* hingga sebesar 3,1 mbps serta *bandwidth* sebesar 1,25 MHz. Dari hasil analisis diketahui bahwa semakin besar nilai *bit rate* maka nilai Eb/No akan semakin besar, dan semakin kecil nilai *bandwidth* maka nilai Eb/No akan semakin besar. Hal ini menunjukkan

bahwa jaringan CDMA2000 1X EV-DO Rev. A akan memiliki energi sinyal yang besar dan dapat mengurangi *noise* yang terjadi pada saat transmisi, sehingga jaringan ini lebih efisien jika digunakan untuk layanan data, karena layanan data membutuhkan *bit rate* yang cukup besar dan *noise* yang kecil agar performansinya baik.

