

ANALISIS PENGARUH KECEPATAN USER TERHADAP KUALITAS LAYANAN DATA PADA JARINGAN CDMA 2000 1xEV-DO

⁽¹⁾Hurianti Vidyningtyas, ⁽²⁾Uke Kurniawan.U, ⁽³⁾Budi Prasetya

^(1,2,3)Jurusan Teknik Elektro IT Telkom, Bandung
(LP_vidya@yahoo.com, uku@ittelkom.ac.id, bpy@ittelkom.ac.id)

ABSTRACT

CDMA 2000 1xEV-DO is the third generation system which can give high speed data service. Using 1.25 MHz bandwidth, CDMA 2000 1xEV-DO is able to support up to 2.4576 Mbps data rate at forward link. However, the mobility of mobile station will surely give impact on service performance of CDMA 2000 1xEV-DO. The movement of user will cause Doppler spread which creates mismatch frequency between transmitter and the moving mobile station.

The research is studies about the effect of mobile station movement to CDMA 2000 1xEV-DO data service performance. It is done toward simulation of CDMA 2000 1xEV-DO transmission passed through canal of in Rayleigh distribution multipath fading. The transmission system model used is only on physical layer, which is between mobile station and Base Transceiver Station in form of encoder, interleaving, QPSK/8-PSK modulation, Walsh code, and quadrature spreading. The research uses data rate of 614.4 kbps, 1228.8 kbps, and 1843.2 kbps, where the simulated speeds are 0 km/hour, 3 km/hour, 30 km/hour, and 90 km/hour.

The result shows that, started from 0 km/hour to 90 km/hour of speed, the performance of system tends to be stable. To reach 100% throughput value, the SNR needed between 30 km/hour and 90 km/hour of speed is only differ ± 1 dB for 614.4 kbps, 1228.8 kbps and 1843.2 kbps. On the other hand, the FER value resulted from 0 km/hour to 90 km/hour of speed is around $6,7 \cdot 10^{-3}$ to $2,8 \cdot 10^{-1}$. The stable value of FER and throughput shows that with high user mobility, CDMA 2000 1xEV-DO is appropriate to be used in data package service for various application.

Keyword : EVDO, high data rate

PENDAHULUAN

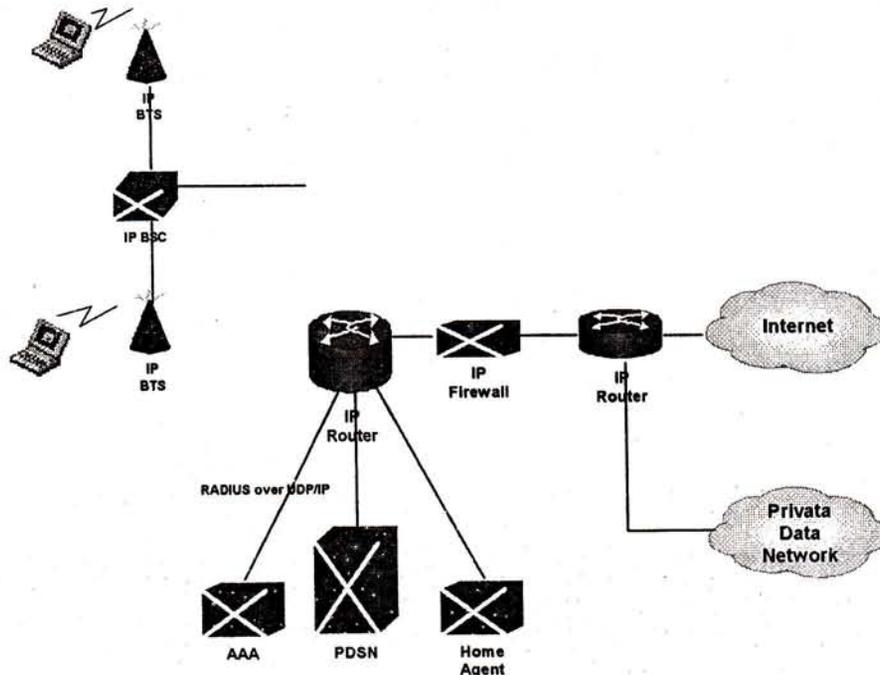
Para pengguna layanan jaringan komunikasi bergerak memiliki mobilitas yang berbeda-beda. Karakteristik mobilitas pelanggan tersebut ada yang stationary (diam ditempat), pedestrian (pejalan kaki) yang memiliki mobilitas sedang, maupun yang berada dalam kendaraan yang berkecepatan tinggi. Gerak relatif *mobile station* dengan kecepatan yang bervariasi terhadap *Base transceiver Station* (BTS) tersebut akan menghasilkan modulasi frekuensi random yang berkaitan dengan efek *doppler* pada sinyal penerima. Dan pada kenyataannya sinyal yang diterima oleh *mobile station* tidak hanya merupakan satu sinyal langsung dari BTS tetapi juga merupakan superposisi sinyal multipath akibat keadaan sekitar *mobile station*. Akibat gerak relatif antara *mobile station* dengan BTS tersebut, tiap lintasan multipath dalam kanal radio mobile mengalami pergeseran frekuensi *Doppler* yang berbeda. Dan pergeseran frekuensi tersebut akan menimbulkan *Doppler spread* berupa pelebaran bandwidth sinyal terima. *Doppler spread* ini akan menimbulkan gangguan terhadap kualitas paket data dalam 1xEV-DO sehingga data yang sampai di penerima bisa saja rusak.

Beranjak dari hal tersebut, maka pada penelitian ini dilakukan penelitian tentang pengaruh pergerakan *mobile station* terhadap kualitas paket data dalam 1xEV-DO.

Dasar Teori CDMA 2000 1x EV-DO

Teknologi CDMA 2000 1x EV-DO yang juga dikenal dengan *High Data Rate (HDR)*, adalah sebuah solusi untuk transmisi data packet pada jaringan wireless dengan performasi yang tinggi dan juga cost yang efektif. Teknologi ini menawarkan *wireless internet technology* dengan data rate yang tinggi dan kapasitas yang besar

Arsitektur Jaringan CDMA 2000 1x EV-DO



Gambar 1. Arsitektur Jaringan CDMA 2000 1xEV-DO

Jaringan inti layanan data packet pada 1x EV-DO adalah sebagai berikut :

1. *Base Transceiver Station (BTS)*
2. *Base Station Controller (BSC)*
3. *Packet Data Serving Node (PDSN)*
4. *Authentication, Authorization, and Accounting (AAA)*
5. *Home Agent (HA)*
6. *Router*

Forward Link

Forward Link pada CDMA 2000 1x EV-DO memiliki fitur yang berbeda dengan CDMA 2000 1x, diantaranya adalah :

- Forward Link pada 1x EV-DO menggunakan multiplexing TDM berbeda dengan CDMA 2000 1x yang menggunakan CDM
- Power yang full diberikan pada user, tidak menggunakan power control seperti di CDMA 2000 1x
- Modulasi yang digunakan pada EV-DO adalah QPSK, 8-PSK, dan 16-QAM
- Pada EV-DO setiap user diberi period of time dimana hanya data yang ditransmisikan dengan full power pada forward link. Hal ini akan mengurangi batas transmisi power yang tidak terpakai

- Data rate bervariasi dari 38,4 kbps hingga 2,4 Mbps yang menyesuaikan dengan perubahan kondisi kanal

Data Rate (kbps)	Modulation Type	Bits per Encoder Packet	Code Rate	Number of Slots Used per Packet
38.4	QPSK	1024	1/5	16
76.8	QPSK	1024	1/5	8
153.6	QPSK	1024	1/5	4
307.2	QPSK	1024	1/5	2
307.2	QPSK	2048	1/3	4
614.4	QPSK	1024	1/3	1
614.4	QPSK	2048	1/3	2
921.6	8-PSK	3072	1/3	2
1228.8	QPSK	2048	1/3	1
1228.8	16-QAM	4096	1/3	2
1843.2	8-PSK	3072	1/3	1
2457.6	16-QAM	4096	1/3	1

Jika di CDMA 2000 1x menggunakan power control untuk mengubah daya transmisi untuk mengatasi perubahan pada kondisi kanal.

Forward Error Control (FEC)

Berguna untuk mendeteksi dan memperbaiki kesalahan acak yang diakibatkan oleh gangguan kanal, sedangkan untuk mengatasi kesalahan yang berurut karena multipath fading biasanya menggunakan rangkaian interleaver setelah FEC. Untuk CDMA2000 1xEV-DO jenis *forward error control* yang digunakan adalah *convolutional code*.

Encoder Konvolusional

Kode konvolusional adalah kode yang dibentuk dengan menambah informasi tambahan (parity) berdasarkan bit inputan $u = u_1, u_2, \dots, u_l$ yang sedang diproses dikonvolusi dengan generator $g^{(i)}$ untuk m kode data sebelumnya, dimana m adalah panjang memori atau *shift register* dari kode. Jika panjang memori m , maka jumlah state memorinya (isi memori) adalah 2^m . Secara matematis kode konvolusi dapat dinyatakan dengan $C(n, k, m)$, dimana $k = \text{input}$, $n = \text{output}$ dan $m = \text{memori}$.

Decoder Konvolusional

Decoding viterbi ini berfungsi untuk melakukan deteksi sekaligus koreksi terhadap kesalahan yang terjadi selama perjalanan mulai dari output konvolusi sampai keinput decoder viterbi.

Interleaver

Pengkodean kebanyakan tidak didesign untuk dapat mengatasi *burst error* tapi hanya mengatasi *error* acak yang terdistribusi saling bebas. Salah satu cara mengatasi *burst error* adalah dengan menambahkan interleaver dan deinterleaver dengan cara mengacak terjadinya error sehingga mirip dengan *random error*. Pada pengirim, deretan bit diatur sedemikian rupa untuk memastikan agar bit-bit yang bersebelahan terpisah sejauh beberapa bit setelah interleaving. Pada penerima, dilakukan proses inverse dari proses di pengirim.

Direct Sequence Spread Spektrum (DS-SS)

Sistem *direct sequence spread spektrum* (DS-SS) merupakan salah satu teknik spektral tersebar yang digunakan pada CDMA2000 1x. Pada DS-SS, bandwidth sinyal informasi $d(t)$ ditebar secara langsung oleh data terkode $c(t)$ yang merupakan deretan data yang telah dikodekan dengan kode berkecepatan tinggi dan memiliki karakteristik random semu karena dapat diprediksi dan bersifat periodik. Sinyal yang telah tersebar ini kemudian dimodulasi.

Kode Walsh

Sistem CDMA pada *forward link*, untuk memisahkan masing-masing pengguna pada kanal yang sama menggunakan suatu kode PN ortogonal khusus, yang disebut dengan kode Walsh. Kode walsh dihasilkan dengan menggunakan *hadamard matriks*, yang merupakan matrik segiempat dengan elemen biner, dan berdimensi kelipatan 2. Kode walsh bersifat orthogonal, artinya bahwa jumlah perkalian pada dua baris akan bernilai nol. Hal ini disebabkan karena masing-masing kode mempunyai jumlah bit 1 dan -1 sama banyak.

Sistem Modulasi

QPSK (*Quadrature Phase Shift Keying*)

Pada modulasi QPSK (*Quadrature Phase Shift Keying*) sinyal pembawa merepresentasikan empat keadaan fasa untuk menyatakan empat simbol. Satu simbol QPSK terdiri dari dua bit (*dibit*) yaitu '00', '01', '10', dan '11'. Setiap dua bit akan mengalami perubahan fasa sebesar 90° . Modulasi QPSK memiliki efisiensi *bandwidth* dua kali lebih besar dibandingkan dengan BPSK.

PSK (*8 Phase Shift Keying*)

Pada modulasi 8-PSK (*8 Phase Shift Keying*) sinyal pembawa merepresentasikan delapan keadaan fasa untuk menyatakan delapan simbol. Satu simbol 8-PSK terdiri dari tiga bit yaitu '000', '001', '010', '011', '100', '101', '110', dan '111'. Setiap tiga bit akan mengalami perubahan fasa sebesar 45° . Modulasi 8-PSK memiliki efisiensi *bandwidth* tiga kali lebih besar dibandingkan dengan BPSK.

Propagasi Kanal Komunikasi Bergerak

Small scale fading atau biasa disebut fading digunakan untuk menggambarkan fluktuasi amplituda yang terjadi secara cepat pada sinyal radio dalam periode waktu dan jarak tempuh yang kecil, sehingga pengaruh *path loss* skala besar dapat diabaikan. *Fading* disebabkan oleh adanya interferensi antara dua atau lebih versi sinyal transmisi yang datang pada *receiver* dengan perbedaan waktu yang tidak jauh berbeda. Gelombang ini disebut gelombang *multipath* yang akan digabungkan pada antena penerima sehingga menghasilkan resultan sinyal yang sangat bervariasi dalam hal amplituda dan fasanya.

Parameter Multipath Pada Komunikasi Bergerak

Fenomena *multipath fading* pada kanal radio *mobile* dapat dikarakterisasikan dalam parameter-parameter *delay spread* (T_m), *coherence bandwidth* (B_c), *doppler spread* (B_D) dan *coherence time* (T_c).

Delay Spread (T_m) dan *Coherence Bandwidth* (B_c)

- *Delay spread* (T_m)
Sinyal *multipath* akan sampai di penerima dengan waktu tiba yang berbeda-beda tergantung jarak lintasan yang ditempuh. Perbedaan waktu tiba antara yang paling awal dengan akhir akan menghasilkan *delay spread*.
- *Coherence Bandwidth* (B_c)
Merupakan parameter ukur statistik dalam suatu *range* frekuensi yang dapat dianggap "flat" yaitu semua komponen spektrum dalam *range* frekuensi tersebut mendapatkan *gain* dan fasa linear.

Doppler spread (B_D) dan *Coherence time* (T_c)

- *Doppler spread*
Pergerakan relatif antara *transmitter* dan *receiver* akan menimbulkan pelebaran spektrum yang disebabkan oleh laju perubahan waktu terhadap kanal (*time varying*). Jika suatu sinyal sinusoidal murni f_c dipancarkan, spektrum sinyal terima yang dinamakan spektrum doppler akan memiliki *range* frekuensi $f_c - f_d$ sampai $f_c + f_d$, dimana f_d adalah pergeseran Doppler. Pelebaran spektrum frekuensi ini disebabkan oleh *Doppler shift* (f_d) yang merupakan fungsi

dari kecepatan relatif (v) MS yang bergerak serta sudut θ antara arah gerak MS dengan arah kedatangan gelombang yang dihamburkan

Doppler shift dapat dinyatakan dengan persamaan :

$$f_d = \frac{V}{\lambda} \cos \theta$$

v = kecepatan pergerakan relatif mobile station (m/s)

λ = Panjang gelombang frekuensi *carrier* (m)

θ = Sudut antara arah propagasi sinyal datang dengan arah pergerakan antena

- **Coherence time (T_c)**

Merupakan domain waktu dari *Doppler shift* yang mengukur kesamaan dari respon kanal dalam waktu yang berbeda. Jadi jika dua sinyal diterima dalam perbedaan waktu yang lebih besar dari T_c , maka akan diperlakukan berbeda oleh kanal radio bergerak. T_c berbanding terbalik dengan *Doppler*.

Kanal Additive White Gaussian Noise (AWGN)

Sumber *noise* dapat dibagi menjadi dua, yaitu yang disebabkan oleh manusia dan *noise* alami. *Noise* alami yang tidak dapat dihilangkan keberadaannya adalah *noise* thermal. *Noise* thermal disebabkan oleh adanya pergerakan elektron dari suatu komponen yang bersifat disipatif seperti resistor, kabel, dan lain-lain.

Noise thermal yang disebabkan akibat pergerakan elektron dapat diasumsikan mengalami proses 'gaussian', karakteristik nilai *noise* power ini adalah flat untuk semua frekuensi sehingga disebut dengan 'white' karena sifatnya mirip dengan cahaya putih yang ditambahkan terhadap sinyal sehingga dikatakan 'additive'.

Distribusi Rayleigh

Pada kanal komunikasi bergerak, distribusi Rayleigh biasa digunakan untuk menjelaskan karakteristik statistik variasi waktu dari selubung sinyal *fading* yang diterima, atau selubung dari satu komponen multipath dimana tidak terdapat komponen line of side (LOS) yang dominan. Telah diketahui bahwa selubung dari jumlah antara dua sinyal derau gaussian dapat membentuk distribusi rayleigh. Distribusi Rayleigh mempunyai fungsi kerapatan probabilitas (*probability density function* - pdf) diberikan oleh :

$$p(r) = \begin{cases} \frac{r}{\sigma^2} \exp\left(-\frac{r^2}{2\sigma^2}\right) & (0 \leq r \leq \infty) \\ 0 & (r < 0) \end{cases}$$

dimana σ adalah nilai rms dari level sinyal yang diterima sebelum proses deteksi selubung, dan σ^2 adalah daya waktu rata-rata dari sinyal yang diterima sebelum deteksi selubung.

Throughput

Throughput merupakan suatu ukuran yang menyatakan berapa banyak bit sukses yang diterima tujuan yang dimaksud dibandingkan dengan lamanya waktu yang dibutuhkan untuk mengirimkan bit-bit tersebut. Throughput dinyatakan dalam persen(%).

$$\text{throughput} = \frac{\sum \text{bit terima benar}}{\sum \text{bit kirim}}$$

Pemodelan dan Simulasi

Bagian Transmitter dan Receiver

Bagian Transmitter

Bagian pengirim transmisi data pada sistem CDMA 2000 1xEV-DO antara BTS dengan MS terdiri atas:

1. Data Source

Data kirim yang disimulasikan merupakan data yang terdistribusi *uniform* dan dibangkitkan secara acak dengan menggunakan fungsi *randint* pada Matlab R2007a. Data yang dibangkitkan berupa data biner 0 dan 1.

2. Encoder Convolutional

Pola pengkodean konvolusional yang digunakan dalam simulasi sesuai dengan standar *Radio Configurasi 3* yaitu C (4,1,8) dengan *coding rate* $R = 1/3$, jumlah *state* 256 dan *constraint length* $K = 9$, dengan code generator [557 663 711] dalam octal.

Dalam simulasi, pengkodean konvolusional ini menggunakan fungsi 'convolutional encoder (convenc)' yang ada pada Matlab R2007a :

```
trellis = poly2trellis(constlen, codegen);
```

```
sinyal_koding = convenc(datakirim, trellis);
```

3. Interleaver

Interleaver yang digunakan dalam simulasi adalah tipe interleaver blok, dimana bit-bit keluaran encoder konvolusional disusun kolom per kolom dan dibaca baris per baris. Untuk arah forward menggunakan dua matrik 16 baris dan 16 kolom.

Dalam simulasi ini, interleaver menggunakan fungsi 'matintrlv' yang ada pada Matlab R2007a :

```
intrlvd = matintrlv(data,Nrows,Ncols)
```

4. Mapping QPSK/8-PSK

Pada proses ini, deretan bit serial hasil interleaver akan dibentuk menjadi simbol – simbol kompleks sesuai dengan konstelasi QPSK dimana 1 simbol QPSK akan membawa 2 bit informasi, dan 8-PSK dimana setiap simbolnya akan membawa 3 bit informasi. Dalam simulasi Matlab digunakan fungsi:

```
datamodulasi=pskmod(dataforward,M);
```

dimana keluaran Mapping QPSK dan 8-PSK dibagi menjadi dua lengan, yaitu inphase dan quadrature.

5. Orthogonal Spreading

Penyebaran ortogonal pada arah forward menggunakan kode *Walsh*. Pada simulasi ini, kode *walsh* dibangkitkan dengan fungsi *hadamard matriks* 16x16. Tiap baris dari matrik merepresentasikan satu kode *walsh* yang nantinya digunakan sebagai kode tiap *user* dan juga sekaligus sebagai kode penyebar dari bit - bit data yang sudah dimodulasi.

6. Quadrature Spreading

Quadrature Spreading yang digunakan pada sistem CDMA 2000 1xEV-DO berupa PN sequence dengan panjang 2^{15} chips. Karakteristik polinomial untuk PN sequence adalah sebaga berikut :

$$PN_I(x) = x^{15} + x^{10} + x^8 + x^7 + x^6 + x^2 + 1$$

(untuk in-phase (I) sequence)

$$PN_Q(x) = x^{15} + x^{12} + x^{11} + x^{10} + x^9 + x^5 + x^4 + x^3 + 1$$

(untuk quadrature phase(Q) sequence)

Bagian Receiver

1. Despreading Quadrature

Proses Despreading quadrature merupakan proses pengembalian bentuk data dari data yang seolah – olah disamarkan ke dalam noise, kembali menjadi data yang saling ortogonal. Dimana fungsi Matlab yang digunakan adalah sebagai berikut :

```
outdespreadI=Irx.*kodepnI;
```

dan

```
outdespreadQ=Qrx.*kodepnQ;
```

2. Despreading Walsh Code

Dalam simulasi ini, pada proses deteksi diasumsikan sempurna. Data biner yang diterima, di-*despread* dengan kode walsh yang sama dengan kode walsh yang dikirim, kemudian data hasil *despread* dijumlahkan chips sesuai dengan *walsh code* yang digunakan, dan data yang terbentuk masuk ke demodulator.

3. Demapping QPSK/ 8-PSK

Data biner keluaran dari despreading, dimapping sehingga hasilnya akan sama dengan sebelum spreading atau pada saat modulasi. Dimana proses demappingnya pada matlab sebagai berikut :

```
datademod1=pskdemod(dataIQ,M);
```

4. Deinterleaver

Proses *deinterleaver* merupakan kebalikan dari *interleaver*. Deretan bit masuk ke *block deinterleaver* per baris dan keluar atau dibaca per kolom.

Dalam simulasi ini, interleaver menggunakan fungsi 'matdeintrlv' yang ada pada Matlab:

```
deintrlvd = matdeintrlv(data,Nrows,Ncols)
```

5. Viterbi Decoder

Dekoder *viterbi* yang digunakan adalah *hard decision viterbi decoder*. Prinsip kerja dari dekode *viterbi* adalah berdasarkan prinsip *Hamming distance decoding* dan pengetahuan akan diagram *trellis* enkoder di pengirim.

Pada simulasi proses dekode ini menggunakan function yang ada pada matlab yaitu:

```
datadekoding=vitdec(sinyal_deint,trellis,traceback, , 'hard');
```

Pemodelan Kanal Radio Propagasi

Kanal radio transmisi yang digunakan pada simulasi dibagi menjadi 2 yaitu kanal AWGN (*Additive White Gaussian Noise*) dan kanal *Rayleigh multipath fading*.

1. Kanal AWGN

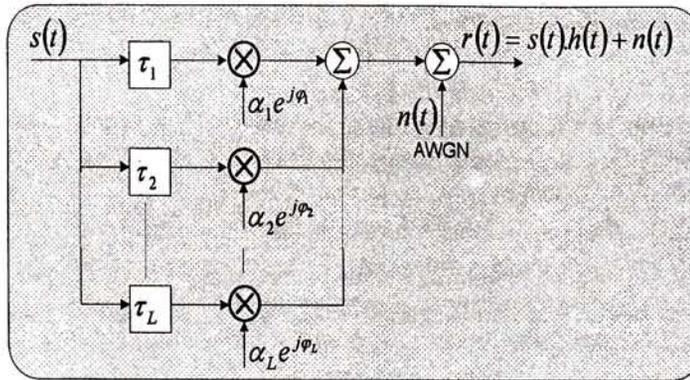
Pemodelan kanal AWGN dilakukan dengan menggunakan fungsi *awgn* pada MATLAB 7.0 :

```
noisel=awgn( sinyal,Eb/No(k),'measured');
```

dimana 'sinyal' menunjukkan sinyal hasil modulasi yang ditransmisikan, 'Eb/No' menunjukkan nilai Eb/No yang diinginkan dalam dB yang dihasilkan dari logaritmik SNR, dan 'measured' menunjukkan adanya pengukuran daya sinyal ditambah *noise*.

2. Kanal *Rayleigh multipath fading*

Dalam simulasi kanal propagasi multipath ini dapat dimodelkan seperti blok diagram berikut :



Gambar 2. Diagram blok kanal multipath dengan L lintasan

Dari dari gambar 2. diasumsikan jumlah dari *multipath* sebanyak L, dimana setiap lintasan akan mengalami delay dan fading yang berbeda-beda satu sama lainnya, sehingga sinyal yang diterima oleh antenna *mobile station* $r(t)$ adalah penjumlahan dari semua sinyal *multipath* dan $n(t)$ additive white Gaussian noise (AWGN) sebagai thermal noise yang terdapat diperangkat Tx-Rx .

Dimana :

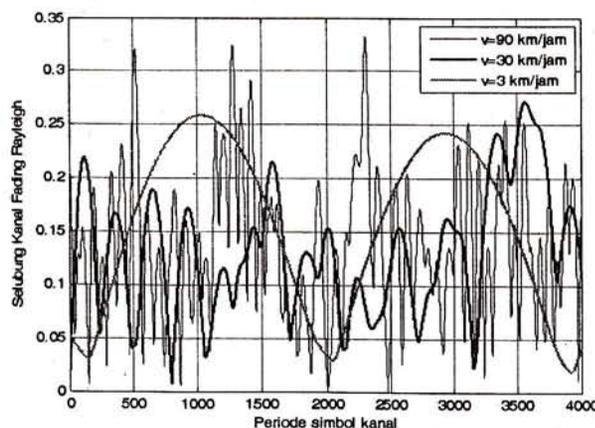
$f_d = \frac{v \cdot f_c}{c}$ adalah frekuensi Doppler maksimum yang digunakan untuk membangkitkan sinyal frekuensi tergeser dari suatu frekuensi pembawa, v adalah kecepatan penerima(m/s), f_c frekuensi pembawa(Hz), dan c adalah kecepatan cahaya ($3 \cdot 10^8$ m/s). Pada simulasi ini digunakan frekuensi pembawa $f_c = 1900$ MHz.

Pemodelan Pergerakan *Mobile station* Dalam Satu Sel

Untuk memodelkan pergerakan *mobile station*, diasumsikan *mobile station* melakukan pergerakan dalam satu sel saja. Dan model arah pergerakan *mobile station* bersifat *random* pada arah 0 sampai 2π yang terdistribusi *uniform*.

ANALISA PERFORMANSI DATA PADA SISTEM CDMA2000 1XEV-DO

Analisa sinyal pada Generator kanal Rayleigh

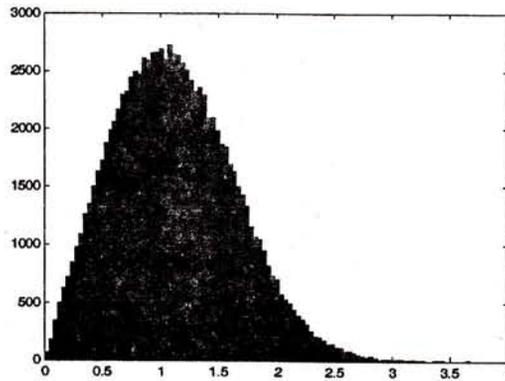


Gambar 3. Grafik karakteristik sinyal pada kanal *Rayleigh fading*

Dari gambar 3. terlihat jumlah fading semakin meningkat seiring dengan meningkatnya kecepatan *mobile station*, jika *mobile station* bergerak dengan kecepatan 90 km/jam sinyalnya akan lebih rapat dibandingkan dengan kecepatan 30 km/jam dan kecepatan 3 km/jam. Hal ini disebabkan karena

perubahan fasa yang sangat cepat sehubungan dengan variasi panjang lintasan akibat pergerakan *mobile station*. Sehingga semakin cepat pergerakan *mobile station* maka semakin cepat perubahan fasa sinyal.

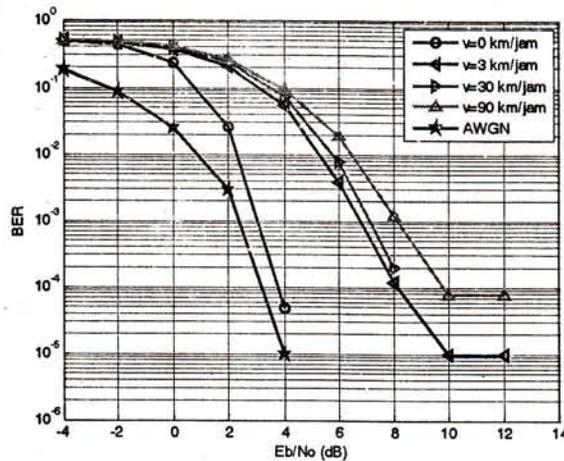
Adapun penggambaran distribusi Rayleigh yang merupakan amplitudo fading dari setiap lintasan dapat dilihat pada gambar di bawah ini:



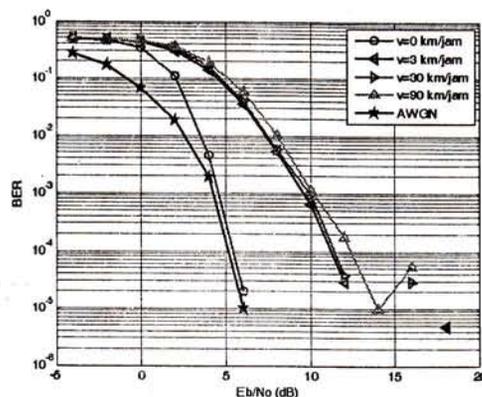
Gambar 4. Distribusi amplitudo fading (terdistribusi Rayleigh)

Selain perubahan fasa, fluktuasi amplitudo juga terjadi akibat akumulasi sinyal-sinyal terima melalui lintasan yang berbeda-beda yang menyebabkan sinyal yang diterima pada penerima memiliki karakteristik yang berbeda pula.

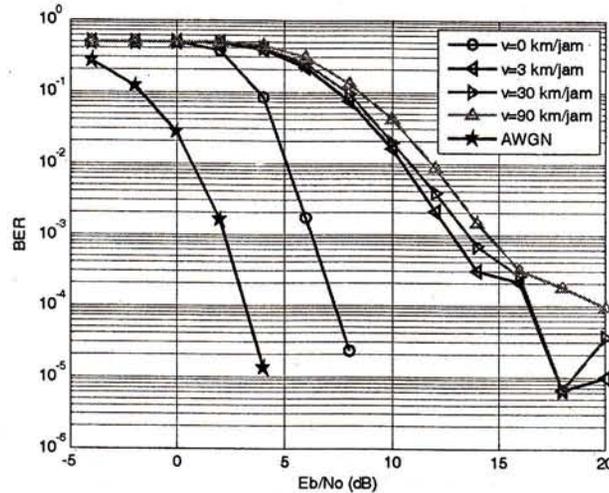
Analisa pengaruh kecepatan *mobile station* terhadap BER



Gambar 5. Grafik BER terhadap E_b/N_0 untuk data rate 614,4 kbps



Gambar 6. Grafik BER terhadap E_b/N_0 untuk data rate 1288,8 kbps



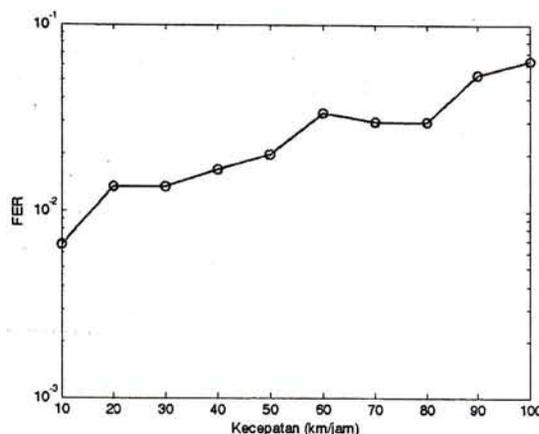
Gambar 7. Grafik BER terhadap Eb/No untuk data rate 1843,2 kbps

Dari gambar 5, gambar 6, dan gambar 7 didapat bahwa pada Eb/No 8 dB didapat hasil BER yang semakin meningkat, seperti yang terjadi pada kecepatan 3 km/jam didapatkan nilai BER sebesar $1,18 \cdot 10^{-4}$ untuk data rate 614,4 kbps, $3,9 \cdot 10^{-3}$ untuk data rate 1228,8 kbps, dan $7,3133 \cdot 10^{-2}$ untuk data rate 1843,2 kbps. Hal ini disebabkan oleh beberapa hal, diantaranya: rate pada encoder, bit repetition, dan jenis modulasi. Namun, rate pada encoder yang dipergunakan pada ketiga simulasi adalah sama, yaitu 1/3.

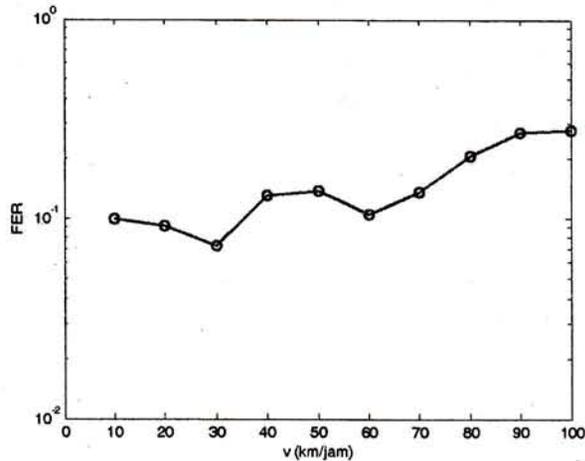
Repetition atau pengulangan bit merupakan suatu proses dimana bit yang akan dikirimkan diulang terlebih dahulu sesuai standar setiap data rate. Adanya repetition bit dalam sistem berfungsi untuk mengurangi kesalahan mendeteksi bit pada receiver. Pada data rate 614,4 kbps, bit-bit data sumber diulang sebanyak 2 kali sedangkan data rate 1228,8 kbps dan 1843,2 kbps tidak terdapat pengulangan bit-bit data sumbernya. Kondisi ini yang menjadi salah satu penyebab BER pada data rate 614,4 kbps lebih kecil dibandingkan data rate yang lain.

Jenis modulasi yang digunakan menjadi salah satu penyebab terjadinya peningkatan nilai BER pada data rate yang semakin besar karena adanya kebutuhan sistem untuk memperbaiki error yang terjadi. Pada kecepatan 3 km/jam, dibutuhkan Eb/No 8 dB untuk mendapatkan BER sebesar $3,9 \cdot 10^{-3}$ untuk data rate 1228,8 kbps yang menggunakan modulasi QPSK, sedangkan data rate 1843,2 kbps yang menggunakan modulasi 8-PSK untuk mendapatkan BER sebesar $3,9 \cdot 10^{-3}$ dibutuhkan Eb/No 16,25 dB. Pada modulasi QPSK, konstelasi sinyal terbagi menjadi 4 daerah keputusan, sedangkan pada modulasi 8-PSK konstelasi sinyal dibagi ke dalam 8 daerah keputusan. Semakin banyak daerah keputusannya maka kemungkinan terjadinya eror juga semakin besar, sehingga dibutuhkan Eb/No yang lebih besar untuk mengurangi eror yang terjadi.

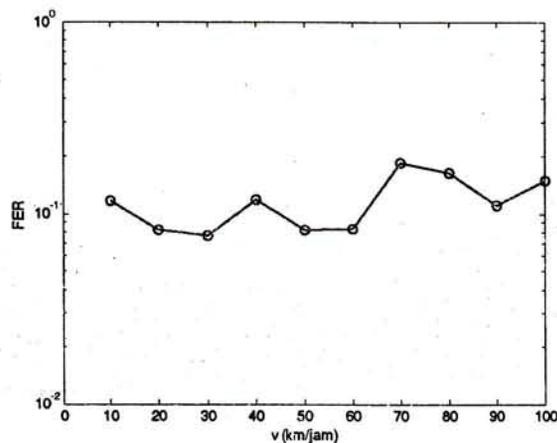
Analisa pengaruh kecepatan mobile station terhadap FER



Gambar 8. Grafik FER terhadap v(km/jam) untuk data rate 614,4 kbps



Gambar 9. Grafik FER terhadap v(km/jam) untuk data rate 1228,8 kbps

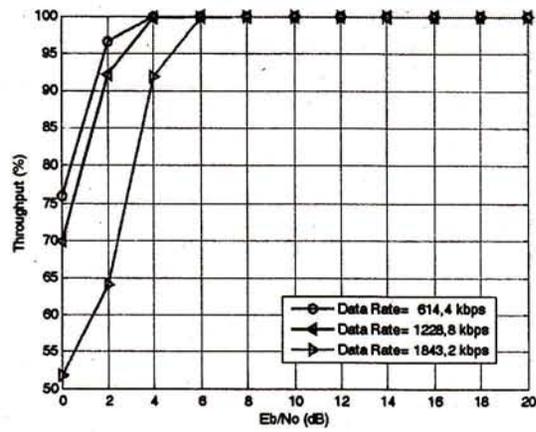


Gambar 10. Grafik FER terhadap v(km/jam) untuk data rate 1843,2 kbps

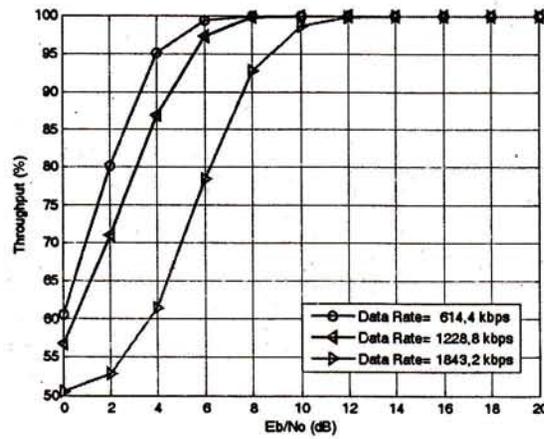
Dari gambar 8, 9 dan 10. terlihat bahwa untuk data rate 614,4 kbps, nilai FER cenderung meningkat seiring dengan meningkatnya kecepatan. Hal ini menunjukkan bahwa untuk data rate 614,4 kbps, frekuensi doppler mengakibatkan distorsi terhadap sinyal kirim. Akan tetapi, adanya simbol repetition sebanyak dua kali untuk data rate 614,4 kbps dapat mengurangi error yang terjadi pada data. Oleh karena itu, untuk data rate 614,4 kbps nilai FER yang diperoleh lebih kecil dibandingkan nilai FER yang diperoleh untuk data rate 1228,8 kbps dan 1843,2 kbps. Hal ini terlihat dari rentang nilai FER untuk 614,4 kbps berada di kisaran $6,7 \cdot 10^{-3}$ sampai $6,33 \cdot 10^{-2}$, sedangkan nilai FER untuk data rate 1228,8 kbps berada dikisaran $6,1 \cdot 10^{-2}$ sampai $2,8 \cdot 10^{-1}$.

Untuk data rate 1228,8 kbps dan 1843,2 kbps nilai FER yang dihasilkan tidak mengalami peningkatan pada setiap peningkatan kecepatan, tetapi FER mengalami fluktuasi. Hal ini dikarenakan mulai dari kecepatan 0 km/jam sampai 100 km/jam kecepatan cenderung stabil, dengan kata lain frekuensi doppler belum mengakibatkan distorsi yang besar terhadap sinyal yang dikirim untuk data rate 1228,8 kbps dan 1843,2 kbps. Sehingga sampai kecepatan 100 km/jam FER yang dihasilkan masih berfluktuasi.

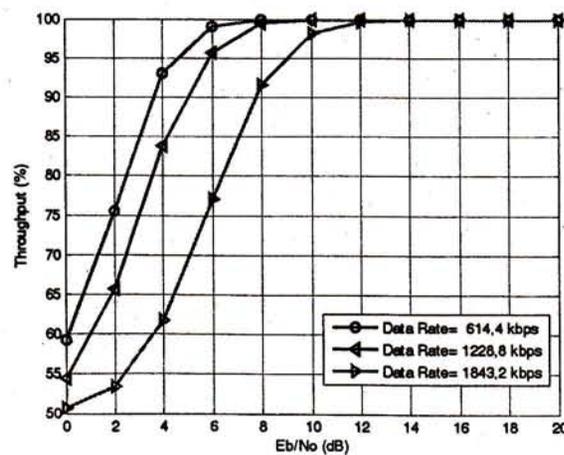
Analisa pengaruh kecepatan terhadap *throughput* dengan data rate yang berbeda



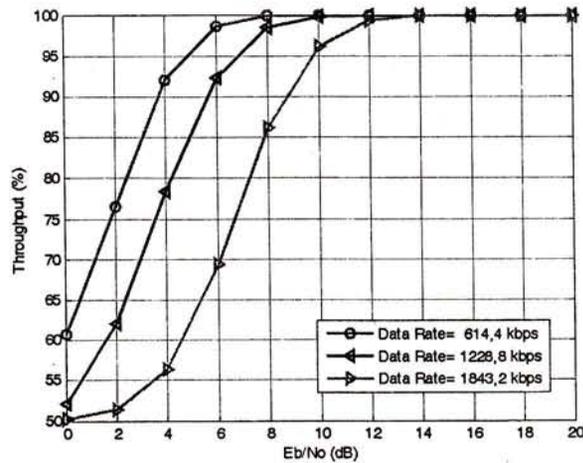
Gambar 11. Grafik throughput terhadap Eb/No pada kecepatan 0 km/jam



Gambar 12. Grafik throughput terhadap Eb/No untuk kecepatan 3 km/jam



Gambar 13. Grafik throughput terhadap Eb/No untuk kecepatan 30 km/jam



Gambar 14. Grafik throughput terhadap Eb/No untuk kecepatan 90 km/jam

Dari hasil pengamatan terhadap gambar 11, gambar 12, gambar 13, dan gambar 14, *throughput* tiap grafik hasil simulasi tersebut menunjukkan semakin besar kecepatan *mobile station* maka *throughput* yang dihasilkan akan semakin kecil atau daya yang dibutuhkan akan semakin besar. Hal ini berlaku untuk semua data rate, yaitu: 614,4 kbps, 1228,8 kbps, dan 1843,2 kbps. Pada data rate 614,4 kbps, daya yang dibutuhkan untuk mencapai *throughput* 100% adalah sebesar 6 dB, 10 dB, 14 dB, dan 15 dB, dimana nilai tersebut merupakan besarnya Eb/No yang dibutuhkan pada kecepatan 0 km/jam, 3 km/jam, 30 km/jam, dan 90 km/jam secara berurutan. Meningkatnya kebutuhan Eb/No ini seiring dengan meningkatnya frekuensi doppler yang menurunkan performansi error rate sistem transmisi paket data, dimana faktor kecepatan dapat merubah kebutuhan Eb/No yang dibutuhkan oleh *mobile station* untuk mencapai *throughput* yang sesuai. Akan tetapi, mulai kecepatan 30 km/jam sampai 90 km/jam *throughput* 100% yang dicapai cenderung stabil, hanya membutuhkan tambahan EB/NO ± 1 dB untuk data rate 614,4 kbps, 1228,8 kbps, dan 1843,2 kbps. Dari hasil simulasi yang dibuat, didapatkan kesimpulan sebagai berikut :

Tabel 1. Kesimpulan hasil perolehan simulasi

	Data Rate	BER 10^{-4}	FER		Throughput yg dicapai 100 %
0 km/jam	614,4 kbps	3,78 dB	9 dB	0	6 dB
	1228,8 kbps	5,769 dB	13 dB	0	7 dB
	1843,2 kbps	7,51 dB	19 dB	0	8 dB
3 km/jam	614,4 kbps	8,11 dB	9 dB	0	10 dB
	1228,8 kbps	11,5 dB	13 dB	0	16 dB
	1843,2 kbps	16,4 dB	19dB	0	19 dB
30 km/jam	614,4 kbps	8,79 dB	9 dB	0,0133	14 dB
	1228,8 kbps	11,615 dB	13 dB	0,0732	18 dB
	1843,2 kbps	16,7 dB	19 dB	0,081	20 dB
90 km/jam	614,4 kbps	9,78 dB	9 dB	0,0533	15 dB
	1228,8 kbps	12,692 dB	13 dB	0,268	19 dB
	1843,2 kbps	20 dB	19 dB	0,112	21 dB

Dari tabel 1. terlihat bahwa untuk semua data rate, yaitu 614,4 kbps, 1228,8 kbps, dan 1843,2 kbps nilai BER yang diperoleh meningkat seiring dengan meningkatnya kecepatan mobile station. Peningkatan yang seiring dengan kecepatan juga terjadi pada Eb/No yang dibutuhkan untuk mencapai *throughput* 100%. Sedangkan untuk nilai FER, hanya pada data rate 614,4 kbps yang cenderung mengalami peningkatan seiring dengan meningkatnya kecepatan mobile station. Untuk data rate 1228,8 kbps dan 1843,2 kbps, nilai FER yang diperoleh mengalami fluktuasi.

KESIMPULAN

Berdasarkan dari hasil penelitian dan analisa yang dilakukan maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Pengaruh dari pergerakan *user* dari hasil simulasi, dengan kecepatan 90 km/jam maka periode simbol akan lebih rapat dibandingkan dengan kecepatan *user* pada saat 30 km/jam maupun 3 km/jam. Selain itu, adanya fluktuasi amplitudo yang tinggi akan mengakibatkan sinyal terganggu ketika sampai di penerima.
2. Semakin besar data rate yang digunakan maka untuk mencapai BER 10^{-4} dibutuhkan daya yang semakin besar pula. Misalnya pada kecepatan 30 km/jam, daya yang dibutuhkan data rate 614,4 kbps untuk mencapai BER 10^{-4} adalah 9,78 dB, data rate 1228,8 kbps membutuhkan 12,692 kbps, dan data rate 1843,2 kbps membutuhkan daya sebesar 20 dB. Dari hasil tersebut dapat diambil kesimpulan jika *mobile station* bergerak dengan kecepatan tinggi maka semakin banyak sinyal yang mengalami distorsi di penerima sehingga dapat menurunkan performansi layanan data.
3. Untuk data rate 614,4 kbps didapatkan nilai FER yang cenderung meningkat, sedangkan untuk data rate 1228,8 kbps, dan 1843,2 kbps, didapatkan nilai FER yang berfluktuasi mulai dari 0 km/jam sampai 100 km/jam. Sehingga dapat diambil kesimpulan bahwa frekuensi Doppler yang digunakan dapat membuat sinyal yang dikirim mengalami distorsi untuk data rate 614,4 kbps. Akan tetapi, frekuensi Doppler tersebut tidak cukup lebar untuk membuat sinyal yang dikirim mengalami distorsi pada data rate 1228,8 kbps, dan 1843,2 kbps.
4. Hasil *throughput* yang diperoleh pada kecepatan 30 km/jam tidak terlalu jauh berbeda dengan hasil yang didapat pada kecepatan 90 km/jam. Walaupun terjadi penurunan nilai *throughput*, tetapi tidak terlalu besar nilainya hanya sekitar 1dB. Hal ini terjadi karena pada kecepatan 90 km/jam masih dianggap stabil jika data rate yang digunakan adalah 614,4 kbps, 1228,8 kbps, dan 1843,2 kbps, sehingga *throughput* seperti stabil.
5. Diperolehnya nilai FER dan *throughput* yang cenderung stabil mulai kecepatan 30 km/jam sampai 90 km/jam membuktikan bahwa dengan mobilitas user yang cukup tinggi, CDMA 2000 1x EV-DO sesuai untuk digunakan sebagai layanan paket data untuk berbagai aplikasi.

DAFTAR PUSTAKA

- Bi, Qi., "A Forward Link Performance Study of the 1xEV-DO Rev. 0 System Using Field Measurements and Simulations", Lucent Technologies, 2005.
- C. Yang Samuel, "CDMA RF System Engineering", Artech House, Boston, 1998.
- C. Yang Samuel, "CDMA 2000 Wireless System Engineering", Artech House, Boston, 2004.
- Harte, Lawrence., " Introduction to EVDO, Physical Channels, Logical Channels, Network and Operation", ALTHOS Publishing Inc, 2004.
- Vanghi, Vieri. Damnjanovic, Aleksandar., "The CDMA 2000 System for Mobile Communications", Prentice Hall, New York, 2004.
- 3rd Generation Partnership Project 2., "cdma2000 High Rate Packet Data Air Interface Specification", TIA/EIA/IS-856, Version 2.0, C.S0024-A, July, 2005.