

ANALISA UNJUK KERJA CDMA 2000 1X PADA KANAL AWGN DAN RAYLEIGH FADING

LEVY OLIVIA NUR

Jurusan Teknik Elektro
Universitas Komputer Indonesia

Komunikasi radio seluler adalah salah satu yang paling menantang dari aplikasi teknologi telekomunikasi. Tujuan dari teknologi radio seluler ini adalah penyediaan keandalan sistem yang efektif dan ongkos suara, video atau data yang murah kepada setiap orang, dimanapun dan kapanpun. Code Division Multiple Access (CDMA) merupakan salah satu teknik multiple access yang banyak diaplikasikan untuk komunikasi radio seluler. Konsep dasar dari CDMA terletak pada teknik multiple access yaitu memungkinkan suatu sistem dapat diakses oleh beberapa user yang saling berjauhan dengan tidak saling mengganggu. Teknik ini membagi spektrum radio menjadi beberapa kanal dan kanal tersebut dialokasikan untuk beberapa pelanggan menggunakan pengkodean yang unik untuk masing-masing user. Pada penelitian ini dilakukan perbandingan kinerja CDMA 2000 1x menggunakan sinyal baseband pada kanal AWGN dengan kanal Rayleigh fading. Pada saat Forward Link, kinerja laju kesalahan bit untuk energi bit (E_b/N_0) yang sama sebesar 2 dB di kanal Rayleigh fading lebih buruk sekitar 100 kali dibandingkan pada kanal AWGN. Sedangkan energi yang dikeluarkan pada kanal Rayleigh membutuhkan 1.6x lebih besar dibandingkan pada kanal AWGN untuk nilai laju kesalahan bit yang sama sebesar 1×10^{-4} . Sementara pada saat reverse link laju kesalahan bit pada kanal AWGN lebih baik sekitar 6,4 kali daripada pada kanal Rayleigh fading untuk nilai E_b/N_0 3 dB, sedangkan energi bit yang dibutuhkan pada kanal Rayleigh Fading 1,3 kali lebih besar dibandingkan pada kanal AWGN untuk nilai BER yang sama sekitar 0.002.

Kata kunci : CDMA 20001x, AWGN, Rayleigh fading, Forward link, Reverse link

Latar Belakang

Komunikasi radio seluler adalah salah satu yang paling menantang dari aplikasi teknologi komunikasi. Tujuan dari teknologi radio seluler ini adalah penyediaan keandalan sistem yang efektif dengan ongkos suara, video atau data yang murah kepada setiap orang, dimanapun dan kapanpun. Di sisi lain pencapaian tujuan ini sangat sulit karena keterbatasan spektrum, laju penggunaan informasi yang tinggi, dan

lingkungan perambatan yang buruk.

Code Division Multiple Access (CDMA) merupakan salah satu teknik *multiple access* yang banyak diaplikasikan untuk seluler maupun *fixed wireless*. Konsep dasar dari teknik *multiple access* yaitu suatu teknik yang memungkinkan suatu sistem dapat diakses oleh beberapa titik yang saling berjauhan dengan tidak saling mengganggu. Teknik *multiple access* membagi suatu spektrum radio menjadi beberapa kanal dan dialokasikan untuk pelanggan sebanyak-banyaknya pada satu

sistem.

Dalam sistem CDMA 2000 1x, komunikasi dari pemakai ke pemakai lainnya berlangsung dalam dua tahapan. Tahap pertama, komunikasi berlangsung dari *mobile unit* ke *base station* yang disebut *reverse link* atau *uplink*. Tahap kedua BTS memancarkan sinyal kepada *mobile unit* yang disebut *forward link* atau *downlink*.

Dalam sistem CDMA 2000 1x baik *reverse link* dan *forward link*, serta *channel coding* memegang peranan penting untuk mengurangi kesalahan.

Konsep Dasar Sistem CDMA2000 1x

CDMA 2000 adalah *platform wireless* yang termasuk ke dalam spesifikasi *International Mobile Telecommunication 2000 (IMT-2000)* dan merupakan pengembangan dari standar *platform wireless CDMA IS-95*. Teknologi transmisi radio CDMA2000 adalah teknologi *wideband* dengan teknik *spread spectrum* yang memanfaatkan teknologi CDMA untuk memenuhi kebutuhan layanan sistem komunikasi *wireless* generasi ketiga (3G) berupa aplikasi layanan multimedia.

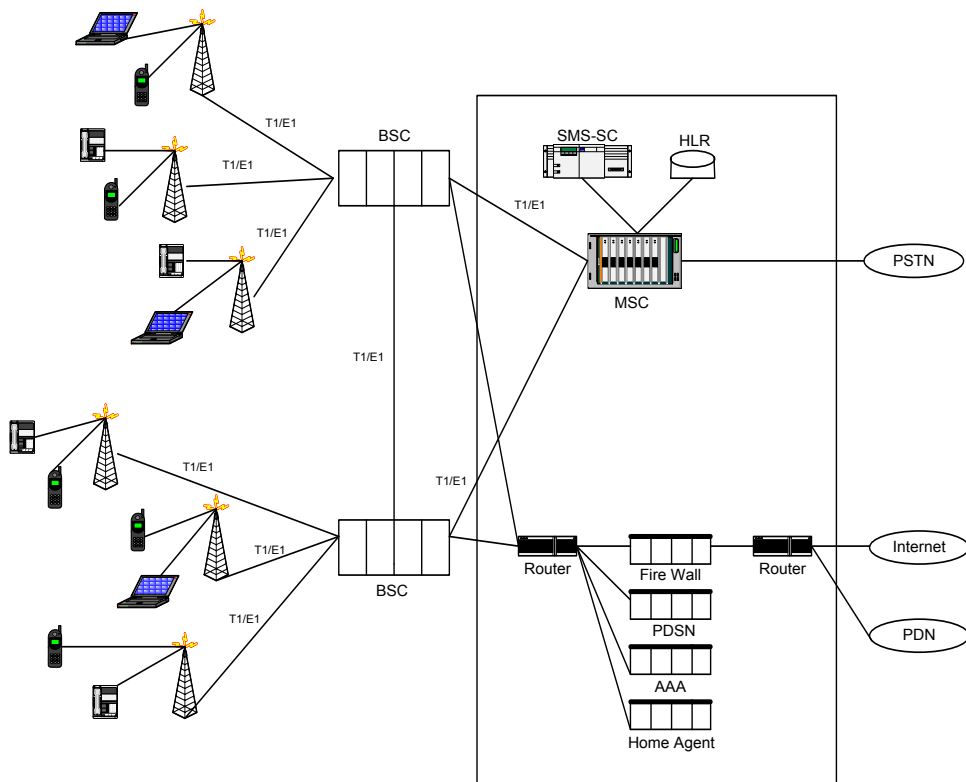
Sistem CDMA2000 mencakup implementasi luas yang ditujukan untuk mendukung *data rate* baik untuk *circuit switched* maupun *packet switched* dengan memanfaatkan *data rate* mulai dari 9,6 kbps (TIA/EIA-95-B) sampai lebih dari 2 Mbps. Beberapa layanan yang dapat didukung oleh CDMA 2000 1x antara lain *wireless internet*, *wireless e-mail*, *telemetry* dan *wireless commerce*.

Standarisasi CDMA2000 1x dilakukan berdasarkan spesifikasi IS2000 yang kompatibel dengan sistem IS-95 A/B (CDMAone). Dibandingkan dengan IS-95, jaringan 20001x mengalami beberapa pengembangan seperti kontrol daya yang lebih baik, *uplink pilot channel*, teknik *vocoder* baru, pengembangan kode Walsh serta perubahan skema modulasi

Pada Tabel 1 terdapat ringkasan dari skema modulasi CDMA 2000 1x.

Tabel 1.
Parameter CDMA 2000 1x

Sistem umum	
<i>Bit rate</i> (R)	9,6 Kbps (suara)
Jumlah bit per frame	9,6 kbps x 20 ms =192 bit
Jumlah bit simulasi	100000
Iterasi	100 kali
<i>Chip rate</i> (B_w)	1,2288 Mcps
Panjang kode penebar	64 <i>walsh hadamard</i>
Processing gain (PG = $10\log(B_w / R)$)	21 dB
SNR	-21dB sampai -1dB
Range E_b/N_0 ($E_b/N_0 = \text{SNR} + \text{PG}$)	0 sampai 20 dB
Frekuensi pembawa	869 MHz (Forward)
Modulasi	QPSK
<i>Delay Spread Maksimum</i> (T_m)	3,1 μs (rms delay untuk daerah urban IEEE 802.20)
Periode simbol ($T_s = 1/B_w$)	0,813 μs
Kecepatan user	0, 5, 10, 25, 50, dan 100 Km/jam
<i>Frekuensi Doppler maksimum</i> (f_d)	0, 4Hz, 8Hz, 20Hz, 40Hz, 80Hz
Pengekodean	
Jenis	<i>Convolutional encoder</i>
<i>Coding rate</i>	$\frac{1}{4}$
Jumlah State	256
<i>Generator polynomial</i> (octal)	$G_0 = 765, g_1 = 671, g_2 = 513, g_3 = 473$
Interleaver	
<i>Block interleaver</i>	24 x 16



Gambar 1.
Arsitektur CDMA 2000 1x

Arsitektur Jaringan CDMA2000 1x

Skema struktur jaringan CDMA2000 1x secara umum terdiri dari :

- a. *User terminal*, terdiri dari komponen-komponen sebagai berikut :
 - *Fixed terminal*
 - *Portabel / handheld*
 - * Membentuk, memelihara, dan memutuskan hubungan dengan *Radio Network* melalui antarmuka *radio-packet*.
 - * Mengumpulkan data autentifikasi, otorisasi dan akunting yang diperlukan oleh AAA.

- b. *Radio Access Network (RAN)*, terdiri dari beberapa komponen berikut :
 - *Base Transceiver Station (BTS)*
BTS bertanggung jawab untuk mengalokasikan daya digunakan oleh pelanggan serta berfungsi sebagai antarmuka yang menghubungkan jaringan CDMA2000 1x dengan perangkat pelanggan. BTS terdiri dari perangkat radio yang digunakan untuk mengirimkan dan menerima sinyal CDMA.
 - *Base Station Controller (BSC)*
BSC bertanggung jawab untuk mengontrol semua BTS yang berada di dalam daerah cakupannya serta mengatur rute paket data dari BTS ke PDSN atau sebaliknya serta trafik dari

BTS ke MSC atau sebaliknya.

■ *Packet Data Serving network (PDSN)*

Merupakan komponen baru yang terdapat dalam sistem seluler berbasis CDMA2000 1x yang bertujuan untuk mendukung layanan paket data. Fungsi PDSN antara lain untuk membentuk, memelihara dan memutuskan sesi *Point-to-Point Protocol* (PPP) dengan pelanggan.

c. *Circuit Core Network (CCN)*, terdiri dari beberapa komponen berikut :

■ *Mobile Switching Center (MSC)*

MSC diletakkan di pusat jaringan *mobile communication* dan juga bekerja dengan jaringan lain seperti PSTN, PLMN, dll.

■ *Home Location Register (HLR)*

HLR merupakan tempat yang berisi informasi pelanggan yang digabungkan dengan pengantar layanan paket data. Layanan informasi dari HLR diambil dalam *Visitor Location Register (VLR)* pada jaringan *switch* selama proses registrasi berhasil.

■ *Visitor Location Register (VLR)*

VLR secara temporari menyimpan dan mengontrol semua informasi dari *Mobile Station (MS)* yang berada pada area kontrol. Ketika pelanggan melakukan panggilan maka VLR mengirimkan semua informasi yang berhubungan dari MSC.

■ *SMSC (Short Message Service Center)*

bertanggung jawab dalam penyampaian, penyimpanan dan pengajuan suatu pesan singkat.

■ *ISMSC (Intelligent Short Message Service)*

merupakan *gateway* untuk menyelenggarakan interworking dengan jaringan PSTN dan GSM.

d. *Packet Core Network (PCN)*, terdiri dari beberapa komponen berikut :

■ *Router* berfungsi untuk merutekan paket data dari dan ke berbagai elemen jaringan yang terdapat pada jaringan CDMA2000 1x serta bertanggung jawab untuk mengirimkan dan menerima paket data dari jaringan internal ke jaringan eksternal atau sebaliknya.

■ *Fire Wall* berfungsi untuk mengamankan jaringan terhadap akses dari luar.

■ *Authentication, Authorization and Accounting (AAA)*

AAA menyediakan fungsi untuk *authentication* bertalian dengan PPP dan hubungan *mobile IP*, melakukan otorisasi yaitu layanan profil dan kunci keamanan distribusi dan manajemen dan *accounting* untuk jaringan paket data dengan menggunakan protokol *Remote Access Dial in User Service (RADIUS)* AAA server juga digunakan oleh PDSN untuk berhubungan dengan jaringan suara dari HLR dan VLR.

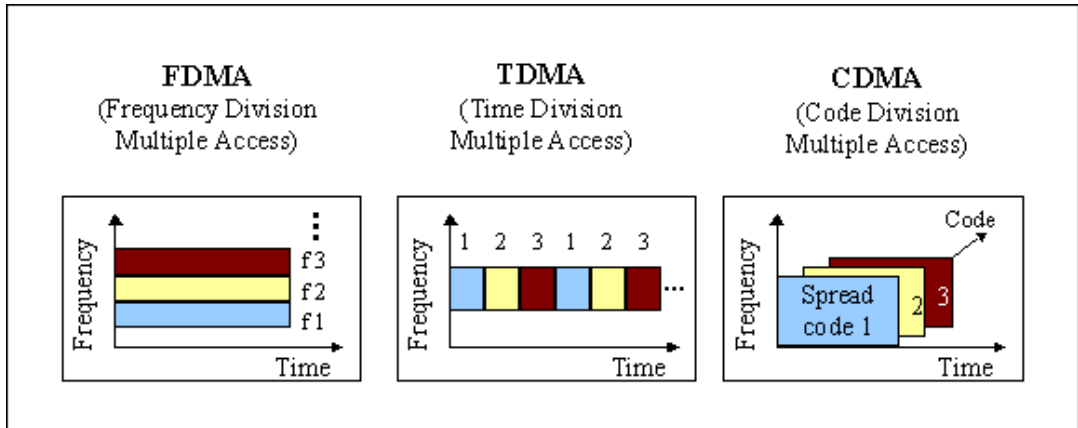
■ *Home Agent*

HA berfungsi untuk menelusuri lokasi *mobile station (MS)* sekaligus mengecek apakah paket data telah diteruskan ke MS tersebut.

Akses Jamak Sistem Komunikasi

Permasalahan mendasar dalam komunikasi radio adalah terbatasnya alokasi frekuensi, sehingga penggunaanya harus benar – benar terkendali. Kemajuan teknologi dibidang telekomunikasi di antaranya dilatarbelakangi oleh keinginan untuk mengefesienkan pemakaian lebar pita frekuensi.

Dalam sistem komunikasi nirkabel, efisiensi pemakaian lebar pita frekuensi diusahakan di antaranya melalui teknik



Gambar 2..
Perbandingan Akses Jamak FDMA, TDMA dan CDMA (homepages.uel.ac.uk)

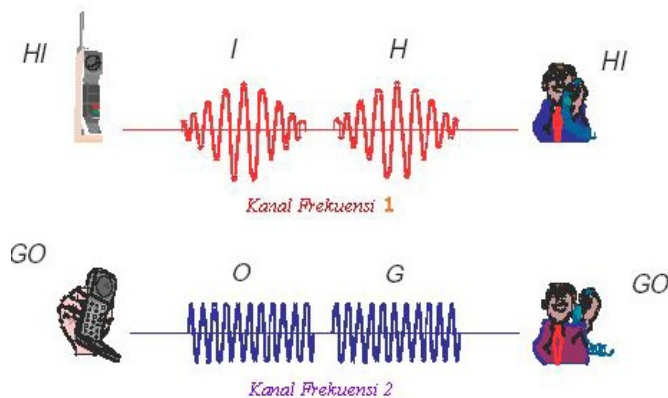
akses jamak, agar dalam alokasi frekuensi yang sama, semakin banyak pengguna yang bisa dilayani.

Tiga teknik akses jamak yang sering digunakan yaitu teknik akses jamak pembagian frekuensi, *Frequency Division Multiple Access (FDMA)*, teknik akses jamak pembagian waktu, *Time Division Multiple Access (TDMA)*, dan teknik akses jamak pembagian sandi, *Code Division Multiple Access (CDMA)*. Gambar 2. menunjukkan perbandingan operasi ketiga sistem tersebut.

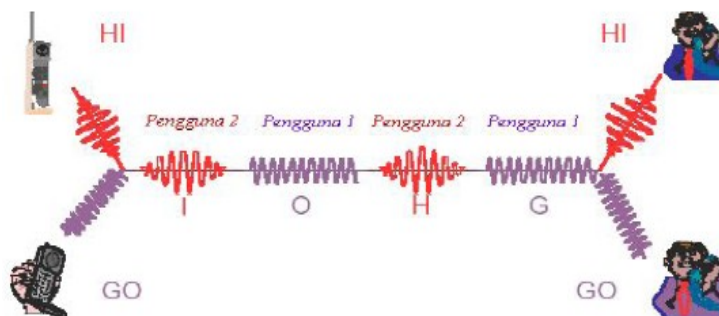
FDMA (Frequency Division Multiple Access)

Dalam FDMA frekuensi dibagi menjadi beberapa kanal frekuensi yang lebih sempit. Tiap pengguna akan mendapatkan kanal frekuensi yang berbeda untuk berkomunikasi secara bersamaan.

Pengalokasian kanal frekuensi pada FDMA bersifat eksklusif karena kanal frekuensi yang telah digunakan oleh seorang pengguna tidak dapat digunakan oleh pengguna yang lain. Antara kanal dipisahkan dengan bidang frekuensi yang lebih sempit lagi (*guard band*) untuk



Gambar 3 Cara Kerja Sistem FDMA



Gambar 4 Cara Kerja Sistem TDMA

menghindari interferens antar kanal yang berdekatan (*adjacent signal*).

Informasi bidang dasar yang dikirim ditumpangkan pada sinyal pembawa (*carrier signal*) agar menempati alokasi frekuensi yang diberikan. Cara kerja FDMA diilustrasikan pada Gambar .3.

TDMA (Time Division Multiple Access)

Pada metoda TDMA tiap pengguna akan menggunakan seluruh spectrum frekuensi tertentu yang disediakan tetapi dalam waktu yang singkat yang disebut slot waktu (*time slot*).

Tiap pengguna mendapatkan sebuah slot waktu yang berulang secara periodis dan hanya diijinkan untuk mengirim informasi pada slot waktu tersebut. Antar slot waktu diberi jeda waktu (*guard time*) untuk menghindari interferens antar pengguna. Jika slot waktu dalam frekuensi yang diberikan sedang digunakan semua, maka pengguna berikutnya harus diberikan slot waktu dengan frekuensi yang berbeda. Cara kerja sistem TDMA diilustrasikan pada Gambar 4.

CDMA (Code Division Multiple Access)

Dalam CDMA setiap pengguna menggunakan frekuensi yang sama dalam waktu bersamaan tetapi menggunakan sandi unik yang saling ortogonal. Sandi-sandi ini membedakan antar pengguna satu dengan

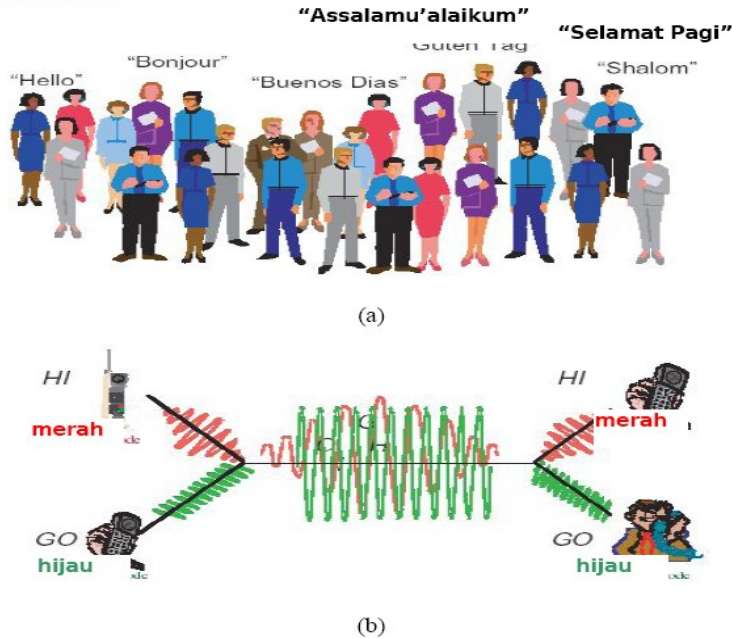
pengguna yang lain.

Pada jumlah pengguna yang besar, dalam bidang frekuensi yang diberikan akan ada banyak sinyal dari pengguna sehingga interferens akan meningkat. Kondisi in akan menurunkan unjuk kinerja sistem. Ini berarti, kapasitas dan kualitas sistem dibatasi oleh daya interferens yang timbul pada bidang frekuensi yang digunakan.

CDMA merupakan akses jamak yang menggunakan prinsip komunikasi spectrum tersebar. Isyarat bidang dasar yang hendak dikirim disebar dengan menggunakan isyarat dengan lebar bidang yang besar yang disebut sebagi isyarat penebar (*spreading signal*).

Metoda ini dapat digunakan dengan cara berkomunikasi dalam satu ruangan yang besar. Setiap pasangan dapat berkomunikasi secara bersama-sama tetapi dengan bahasa yang berbeda, sehingga pembicaraan pasanagan satu bisa dianggap seperti suara kipas bagi pengguna yang lain, karena tidak diketahui maknanya.

Pada saat banyak yang berkomunikasi maka ruangan akan menjadi bising. Kondisi ini membuat ruangan menjadi tidak kondusif lagi untuk berkomunikasi. Oleh karena itu, jumlah yang berkomunikasi harus dibatasi. Agar jumlah yang berkomunikasi bisa maksimal maka kuat suara tiap pembicara tidak boleh terlalu keras. Analogi dan cara kerja sistem digambar pada Gambar 5.



Gambar 5 Ilustrasi Sistem CDMA (a) Analogi, (b) Cara Kerja

CDMA memiliki beberapa keunggulan dibandingkan teknik *multiple access* lainnya, yaitu memiliki pengaruh interferensi yang kecil antara sinyal yang satu dengan yang lainnya. Dan memiliki tingkat kerahasiaan yang tinggi dimana hal ini berkaitan dengan proses acak pada teknik ini.

Code Division Multiple Access adalah teknik akses jamak yang didasarkan pada sistem komunikasi spektral tersebar, dimana masing-masing pengguna diberikan suatu kode tertentu yang akan membedakan satu pengguna dengan pengguna lainnya.

Mulanya sistem ini dikembangkan pada kalangan militer karena kehandalannya dalam melawan derau yang tinggi, sifat anti *jamming*, dan kerahasiaan data yang tinggi. Setiap user mempunyai kode yang unik pada waktu dan frekuensi yang sama, memiliki tingkat keamanan yang tinggi, dan memiliki kapasitas sangat besar. Namun di sisi lain teknologi CDMA membutuhkan power control yang ideal

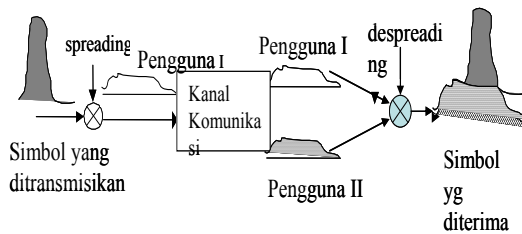
Sistem Spektral Tersebar

Sistem komunikasi spektral tersebar merupakan suatu teknik modulasi dimana pengirim sinyal menduduki lebar pita frekuensi yang jauh lebih besar dari pada spektrum minimal yang dibutuhkan untuk menyalurkan suatu informasi. Konsep ini didasarkan pada teori C.E Shannon untuk kapasitas saluran, yaitu :

$$C = W \log_2 (1 + S/N)$$

Dimana :

- C = kapasitas kanal transmisi (bps)
- W = lebar pita frekuensi transmisi (Hz)
- N = daya derau (Watt)
- S = daya sinyal (Watt)

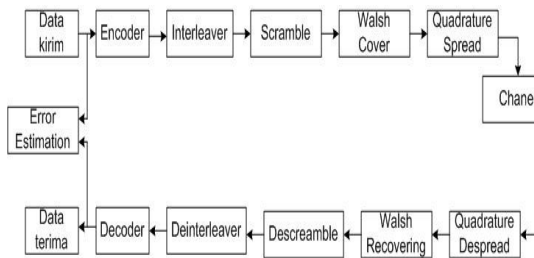


Gambar 6. Spektral Tersebar

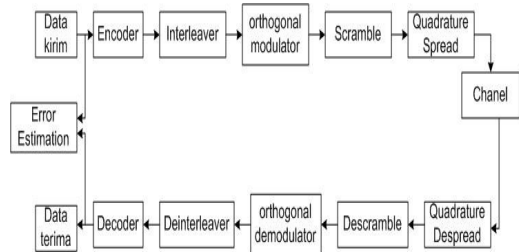
Keuntungan dari adanya sistem *spread spectrum* ini adalah : Ketahanan terhadap interferensi seperti keterbatasan daya, *narrow band*, *noise switching* dan efek *multipath*., dan penggunaan daya yang lebih efektif. Pada sistem spektral tersebar sinyal informasi disebar pada pita frekuensi yang jauh lebih lebar dari pada lebar pita informasinya.

Pemodelan Sistem

Simulasi lebih bermaksud untuk menganalisis kinerja sistem daripada mengamati bentuk gelombang maka untuk menyederhanakannya dibuat diagram blok simulasi yang ditunjukkan pada Gambar 7 dan 8.



Gambar 7. Diagram Blok Simulasi untuk *Forward Link*



Gambar 8. Diagram Blok Simulasi untuk *Reverse Link*

Model Kanal pada Sistem CDMA2000 1x

Struktur kanal pada CDMA2000 1x terbagi menjadi dua arah yaitu kanal *reverse* yang arahnya dari MS ke BTS dan kanal *forward* yang arahnya dari BTS ke MS.

Kanal Forward

Pada komunikasi arah *forward*, sinyal dari sel atau sektor yang berbeda dipisahkan dengan perbedaan *time offset* dari dua buah kode pendek (short code) dengan panjang 215 - 1 chips, satu untuk kanal I dan satu untuk kanal Q. Kode pendek ini dihasilkan oleh generator PN dengan masukan 15 bit dan laju kode 1,2288 Mcps. Untuk mengantisipasi terjadinya *multipath* dan *delay* maka *time offset* antar kode dipisahkan minimal 64 *chips*. Dan karena hanya ada 512 kode PN. Parameter kanal dapat dilihat pada tabel 3.1 dan 3.2 dari Evans, B.G.et.al."Multimedia Advanced CDMA systems".

Tabel 2. Parameter Kanal Trafik Untuk Forward Link

Parameter	Data rate / 9600 bps	Satuan
PN chip rate	1,2288	Mcps
Code rate	$\frac{1}{2}$	Bits / code symbol
Code repetition	1	Mod symbol / code symbol
Modulation / symbol rate	19.200	Symbol per second
PN chip / mod symbol	64	PN chip / mod symbol
PN chip /bit	128	PN chip / bit

Tabel 3. Parameter Kanal Trafik Untuk Reverse Link

Parameter	Data rate / 9600 bps	Satuan
PN chip rate	1,2288	Mcps
Code rate	$\frac{1}{3}$	Bits/code symbol
Transmit duty cycle	100	n/n
Code symbol rate	28.800	Sps
Modulation	6	Code symbol / mod symbol
Modulation symbol rate	4800	Sps
Walsh chip rate	307,2	Kcps
Mod symbol duration	208,33	μ s
PN chip / code symbol	42,67	PN chip / code symbol
PN chip / mod symbol	256	PN chip / mod symbol
PN chip / walsh chip	4	PN chip / walsh chip

Kanal Reverse

Data dikelompokkan per *frame* setiap 20 ms sama seperti untuk *forward link*. Kemudian data dikodekan oleh *convolutional encoder* dengan kode rate $\frac{1}{3}$, lalu dilewatkan melalui *block interleaver* yang terdiri dari 32 baris dan 18 kolom. Kemudian setiap 6 *bit* simbol dipetakan menjadi 64 *bit walsh codes*. Data ditebar secara langsung menggunakan *long PN codes*, dan 'ditebar' oleh *short PN codes* pada masing – masing kanal I dan kanal Q

yang memiliki *chip rate* sebesar 1,2288 Mcps. Tabel 3 menunjukkan parameter kanal *traffic* untuk *reverse link*.

Model Kanal AWGN

Noise merupakan sinyal-sinyal elektrik yang tidak diinginkan dan selalu ada dalam sistem elektrik. *Noise* dapat mengaburkan sinyal informasi sehingga sulit untuk mendeteksinya pada penerima.

Sumber *noise* dapat dibagi menjadi dua, yaitu yang disebabkan oleh manusia dan *noise* alami.

Noise alami yang tidak dapat dihilangkan keberadaannya adalah *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 yang mirip dengan cahaya putih yang ditambahkan terhadap sinyal sehingga dikatakan '*additive*'.

Proses *Gaussian* $n(t)$ merupakan fungsi *random* dimana nilai n pada setiap waktu t secara statistik dapat dikarakterisasikan

$$p(n) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{n}{\sigma}\right)^2\right]$$

dengan fungsi kepadatan peluang (*probability density function*), yaitu :

Dimana σ^2 merupakan variansi dari n . besarnya rapat spektral daya dua sisi AWGN

yaitu $G_n(f)$ adalah sebesar $N_0/2$.

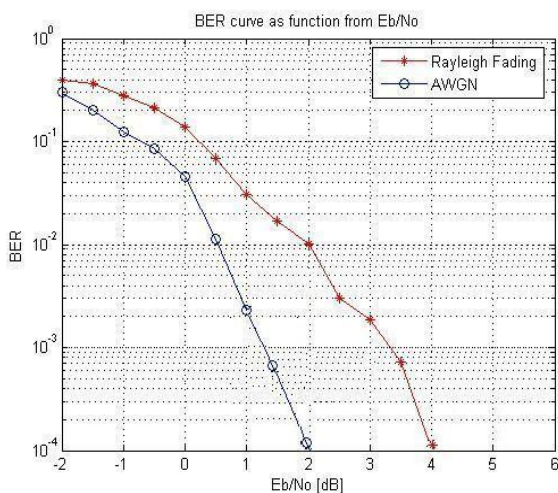
Model Kanal *Rayleigh Fading*

Keadaan *user* yang selalu bergerak akan menyebabkan *amplitude* dan fasa berfluktuasi terhadap kecepatan *user*. Ini disebabkan karena gelombang *multipath* yang mempunyai *amplitude* dan fasa yang berfluktuasi juga. *Fading* disebabkan oleh adanya interferensi antara dua atau lebih sinyal *multipath* yang diterima oleh *receiver* dengan waktu kedatangan yang berbeda, kemudian penerima akan menggabungkan semua komponen *multipath* sehingga akan diperoleh resultan sinyal yang bervariasi. Pembangkitan sinyal fading dilakukan dengan model Jakes.

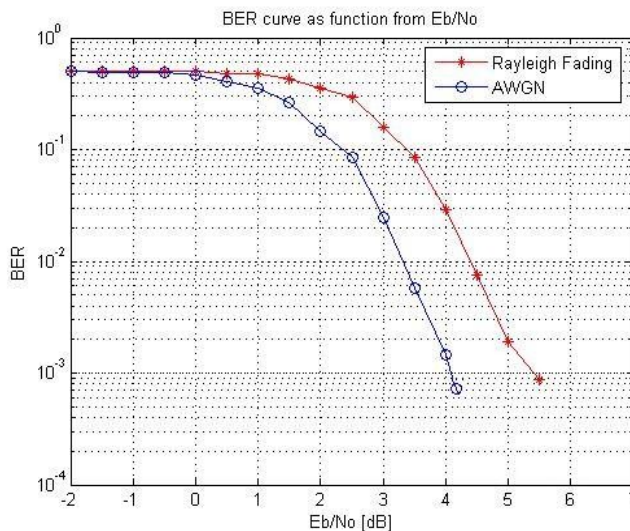
Hasil Simulasi dan Analisa

Simulasi yang dilakukan adalah membandingkan kinerja CDMA 2000 1x pada kanal AWGN dan kanal *Rayleigh fading*. Pada kanal *Rayleigh fading* terjadi penambahan *noise multipath*. Simulasi yang dilakukan menggunakan MATLAB 7.0.

Gambar 9 adalah kurva BER yang menunjukkan kinerja *forward link* CDMA



Gambar 9. Hasil Simulasi Studi Kasus II untuk *Forward Link*



Gambar 10. Hasil Simulasi Studi Kasus II untuk *Reverse Link*

2000 1x pada kanal AWGN dan kanal *Rayleigh fading*.

Dari Gambar 9 terlihat bahwa pada saat energi bit (E_b/N_0) yang sama yaitu sebesar 2 dB, laju kesalahan bit pada kanal AWGN adalah sebesar 10^{-4} , sementara laju kesalahan bit pada kanal *Rayleigh fading* adalah sebesar 10^{-2} , sehingga laju kesalahan bit pada kanal *Rayleigh fading* lebih buruk sekitar 100 kali.

Sedangkan bila kita melihat pada kinerja laju kesalahan bit (BER) yang sama yaitu sebesar 1×10^{-4} , nilai energi bit (E_b/N_0) untuk kanal AWGN adalah sebesar 2 dB. Sementara pada kanal *Rayleigh Fading* sebesar 4 dB. Sehingga Energi yang dikeluarkan pada kanal *Rayleigh* membutuhkan 1,6 kali energi yang dibutuhkan pada kanal AWGN

Gambar 10 adalah kurva BER hasil simulasi untuk membandingkan kinerja CDMA 2000 1x saat *reverse link* pada kanal *Rayleigh fading* maupun kanal AWGN.

Dari gambar 4.2 terlihat pada saat E_b/N_0 yang sama sebesar 3 dB nilai laju kesalahan

bit (BER) pada kanal AWGN adalah sebesar sekitar $2,5 \times 10^{-2}$ sedangkan pada kanal *Rayleigh* nilai laju kesalahan bitnya adalah sebesar 0.16, sehingga laju kesalahan bit pada kanal AWGN lebih baik sekitar 6,4 kali pada kanal *Rayleigh fading*.

Sedangkan bila kita melihat pada saat laju kesalahan bit (BER) yang sama sebesar 2×10^{-3} , untuk nilai energi bit E_b/N_0 pada kanal AWGN adalah sebesar 3,9 dB sedangkan pada kanal *Rayleigh fading* sebesar 5 dB, sehingga selisih E_b/N_0 pada kanal AWGN dan *Rayleigh fading* sebesar 1.1 dB atau sekitar 1,3 kalinya.

Kesimpulan

Pada saat Forward Link, kinerja laju kesalahan bit untuk energi bit (E_b/N_0) yang sama sebesar 2 dB pada kanal *Rayleigh fading* lebih buruk sekitar 100 kali dibandingkan pada kanal AWGN. Sedangkan energi yang dikeluarkan pada kanal *Rayleigh* membutuhkan 1.6x lebih besar dibandingkan pada kanal AWGN untuk nilai laju kesalahan bit yang sama sebesar 1×10^{-4}

Sementara pada saat *reverse link* laju kesalahan bit pada kanal AWGN lebih baik

sekitar 6,4 kali daripada pada kanal Rayleigh fading untuk nilai Eb/No 3 dB, sedangkan energi bit yang dibutuhkan pada kanal Rayleigh Fading 1,3 kali lebih besar dibandingkan pada kanal AWGN untuk nilai BER yang sama sekitar 0.002.

DAFTAR PUSTAKA

Away, Abdia, Gunaidi, , *"The Shortcut of MATLAB PROGRAMMING"*, edisi pertama, Informatika Bandung, 2006.

Budiman, Gelar., "Konfigurasi MIMO MC-CDMA Pada Kanal Rayleigh Fading," Sekolah Tinggi Teknologi Telkom, Bandung, 2005.

Evans, B.G. et al. "Multimedia Advanced CDMA systems", the 4th IEEE Conference on Telecommunications, 1993. pp. 1-16.

Leon W. Couch II, *"Digital and Analog Communications system"*, sixth edition, Prentice Hall, USA, 2001.

Ryanto, Rudy, "Analisis Performansi CDMA 2000 1x Pada Level Baseband" Tugas Akhir Fakultas Teknik dan Ilmu Komputer, UNIKOM, 2008.

Santoso, Gatot. "SISTEM SELULER CDMA". edisi pertama. Graha ilmu. Yogyakarta, 2004.

William, C. Y. Lee, *"Mobile Cellular Telecommunications"*, second edition, McGraw-Hill, 1989.

Vijay K. Garg, "IS-95 CDMA and CDMA 2000 Cellular/ PCS System Implementation", Prentice Hall, USA, 2000.