

## APLIKASI DAN TINJAUAN TEKNIS DIRECT SEQUENCE CODE DIVISION MULTIPLE ACCESS (DS-CDMA)

Tan Suryani Sollu \*

### Abstract

Direct Sequence Code Division Multiple Access (DS-CDMA) is often referred as just CDMA, is technique of multiple access which is commonly used in mobile communication, exploiting technique of spread spectrum, where number of users can use wide of same frequency band at the same time. Channels of every users can be differentiated by unique code used for dispersing of information signal energy on the wider frequency band than frequency band of information signal. The quality of system is determined by signal to noise ratio (S/N), total signal to noise ratio per bit ( $E_b/N_0$ ), power control, and processing gain (Pg) or spreading factor that can determine the number of channel/users that can be handled by the system. The advantages of this technology are not required the equalizer, one radio per site, not required the guard time and guard band, not required the allocation and frequency management, low emittance, soft handoff, and more impenetrable to tapping and jamming.

**Key words :** DS-CDMA, multiple access, unique code, spread spectrum

### Abstrak

Direct Sequence Code Division Multiple Access (DS-CDMA) sering disebut CDMA saja, merupakan teknik multiple akses yang banyak digunakan dalam komunikasi bergerak, memanfaatkan teknik spread spectrum, dimana sejumlah pengguna dapat menggunakan lebar pita frekuensi dalam waktu yang bersamaan. Kanal tiap pengguna dibedakan oleh kode unik yang digunakan untuk menebarkan daya sinyal informasi pada pita frekuensi yang jauh lebih lebar dibandingkan pita frekuensi sinyal informasi. Kualitas sistem ditentukan oleh Sinyal to Noise rasio (S/N), Sinyal to Noise rasio total per bit ( $E_b/N_0$ ), power control, dan processing gain (Pg) atau spreading factor yang akan menentukan jumlah pengguna yang dapat ditangani oleh sistem. Keunggulan teknologi ini yaitu tidak membutuhkan equalizer, satu radio per site, tidak membutuhkan guard time dan guard band, tidak membutuhkan alokasi dan pengelolaan frekuensi, daya pancar rendah, soft handoff, dan lebih kebal terhadap penyadapan dan jamming.

**Kata Kunci :** DS-CDMA, multiple akses, kode unik, spread spectrum

### 1. Pendahuluan

Direct Sequence Code Division Multiple Acces (DS-CDMA) merupakan teknik CDMA berbasis Direct Sequence Spread Spectrum (DSSS) sebagai salah satu pendekatan modulasi spread spectrum untuk pengiriman data digital kecepatan tinggi melalui radio (Wiki, 2008). Pada awalnya teknologi CDMA digunakan dalam komunikasi radio militer Amerika Serikat, kemudian dikembangkan ke komunikasi luar

angkasa. Mulai tahun 1990 patennya diberikan kepada Qualcomm, Inc. dan dijadikan sebagai standar seluler digital di AS sejak tahun 1993. Tahun 1995 CDMA mulai digunakan secara komersil, sebelumnya diperkenalkan Interim Standard 95 (IS-95) pada tahun 1994 oleh Qualcomm, Inc. (Priyanto, 1997; Tomasi, 2001)

CDMA menggunakan metode spread spectrum sebagai teknik multiple access. Sistem ini dapat digunakan

---

\* Staf Pengajar Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Tadulako, Palu

secara bersama-sama oleh pengguna yang dapat mengirimkan sinyal pada waktu yang sama, masing-masing dialokasikan dengan menggunakan seluruh lebar pita frekuensi transmisi yang sama, menggunakan kode digital yang unik (*pn-code* sendiri), dan saling orthogonal sehingga beberapa sinyal dapat berada dalam domain waktu dan frekuensi secara bersama, yang membedakannya adalah penggunaan kode-kode yang unik untuk masing-masing sinyal (Etemad, 2004). Teknologi ini berbeda dengan teknologi akses konvensional yang menggunakan pembagian lebar pita frekuensi yang tersedia ke kanal *narrow* atau ke dalam *time slot*.

**2. Konsep Umum Spread Spectrum Menurut Shannon**

C.E. Shannon, seorang pakar statistik telekomunikasi, mengemukakan bahwa kemampuan kanal untuk mengirim informasi dengan probabilitas kesalahan yang kecil dapat diwujudkan dengan dua cara yaitu :

- a. Memperbesar lebar pita frekuensi, walaupun dapat menurunkan S/N (*Signal to Noise ratio*). Secara matematis, Shannon merumuskan sebagai berikut (Etemad, 2004 ; Dallas Semiconductor, 2003) :

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

dimana : C adalah kapasitas kanal transmisi (bit/detik=bps), B adalah lebar pita frekuensi transmisi (Hz), S merupakan daya sinyal (watt), dan N adalah daya derau/noise (watt). Persamaan (1) memperlihatkan bahwa kapasitas kanal dapat dipertahankan meskipun S/N berubah ke harga yang lebih kecil dengan memperbesar lebar pita frekuensi.

- b. Melakukan pengkodean yang tepat dengan kecepatan informasi yang tidak melebihi kapasitas kanal,

sekalipun kanal memuat derau yang acak.

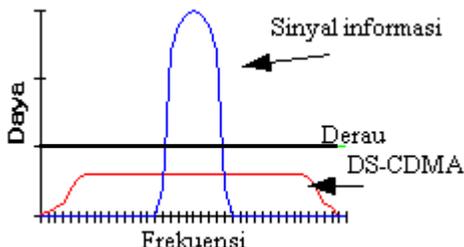
Kedua rumusan Shannon tersebut tertuang dalam teori dasar informasi (*fundamental theorem of information*) yang merupakan dasar bagi teknik *spread spektrum*.

**3. Prinsip Dasar Direct Sequence Spread Spectrum (DSSS)**

Dua teknik utama dalam *spread spectrum* yaitu *frequency hopping* (FH) yang digunakan pada perangkat *bluetooth*, dan *direct sequence spread spectrum* (DSSS) yang digunakan pada CDMA.

Konsep dasar DSSS yaitu mentransformasikan suatu sinyal dengan lebar pita frekuensi tertentu menjadi suatu sinyal seperti derau yang memiliki lebar pita frekuensi lebih lebar dari sinyal informasi. Hal ini diilustrasikan pada gambar 1, dimana sumbu absis adalah frekuensi (Hz) dan sumbu ordinat adalah rapat spektral daya *spread spectrum*,  $P_{SS}$  (Watt/Hz) dapat dicari jika rapat spektral daya sinyal informasi  $P_s$  (Watt/Hz), lebar pita frekuensi sinyal informasi  $B_s$ (Hz), dan lebar pita frekuensi penyebaran sinyal  $B_{ss}$  (Hz) diketahui (persamaan 2).

$$P_{SS} = \frac{P_s \cdot B_s}{B_{ss}} \text{ (Watt/Hz) } \dots\dots\dots(2)$$



Gambar 1. Bentuk spektrum sinyal *direct sequence* CDMA

Ada tiga kriteria yang harus dipenuhi oleh suatu sistem komunikasi DSSS:

- Labar pita frekuensi sinyal yang dikirim jauh lebih lebar dari lebar pita frekuensi minimum yang diperlukan untuk mengirim sinyal informasi
- Pada pengirim terjadi proses *spreading* yang menebarkan sinyal informasi dengan bantuan sinyal kode yang bersifat independen terhadap informasi.
- Pada penerima terjadi proses *despreading* yang melibatkan korelasi antara sinyal yang diterima dan replika sinyal kode yang dibangkitkan sendiri oleh suatu generator lokal.

#### 4. Transmisi Sinyal Direct Sequence Spread Spectrum pada CDMA

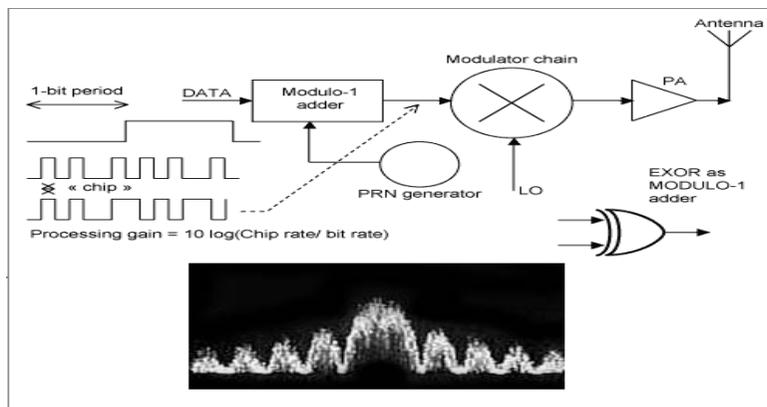
Pada pemancar DSSS, data dikodekan dengan deret kode yang memiliki sifat acak semu berkecepatan tinggi, proses ini disebut *spreading*, kemudian dimodulasi secara langsung (*direct*) dan dikirimkan.

Pada Gambar 3, diperlihatkan proses transmisi CDMA dengan sebuah *base station* (BS) dan 2 buah kanal/pengguna. Sinyal informasi  $d_1(t)$  dan  $d_2(t)$  dimodulasi oleh frekuensi yang sama  $f_0$ , kemudian dikalikan dengan PN-code yang berbeda yaitu  $C_1(t)$  dan  $C_2(t)$ . Hasil kali  $d(t)$  dengan  $C(t)$  menyebabkan pita frekuensi yang diperlukan menjadi lebih lebar.

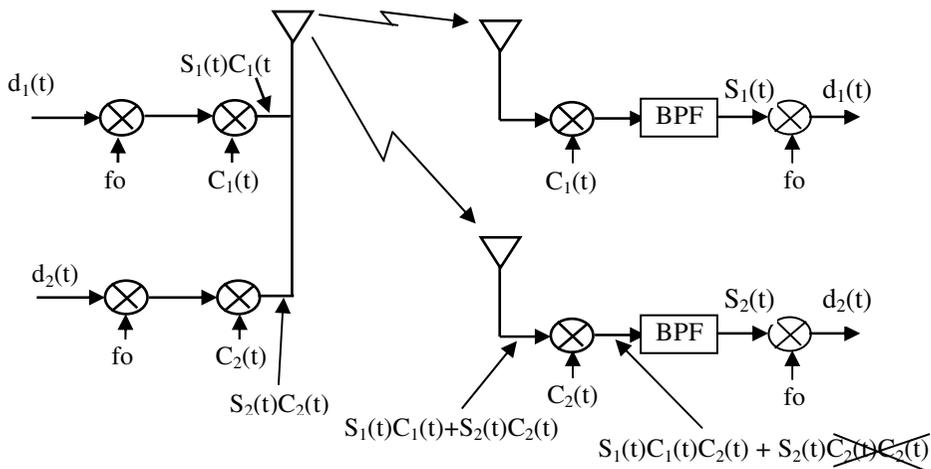
Pada penerima, sinyal yang datang dikalikan dengan PN-code yang sama melalui proses EXNOR (*exclusive not OR*). Dengan asumsi PN-code yang diterima dan yang dibangkitkan di penerima adalah sama (tidak ada *delay*) maka hasil perkalian kedua PN-code,  $C_1(t)C_1(t)$ , adalah 1 yang berarti menghilangkan PN-code (perangkat yang melakukan proses ini disebut *correlator*). Sinyal ini kemudian dilewatkan pada *band pass filter* yang akan menghilangkan hasil perkalian PN-code kanal tersebut dengan PN-code kanal yang lain.

#### 5. Pseudorandom Number (PN) Code

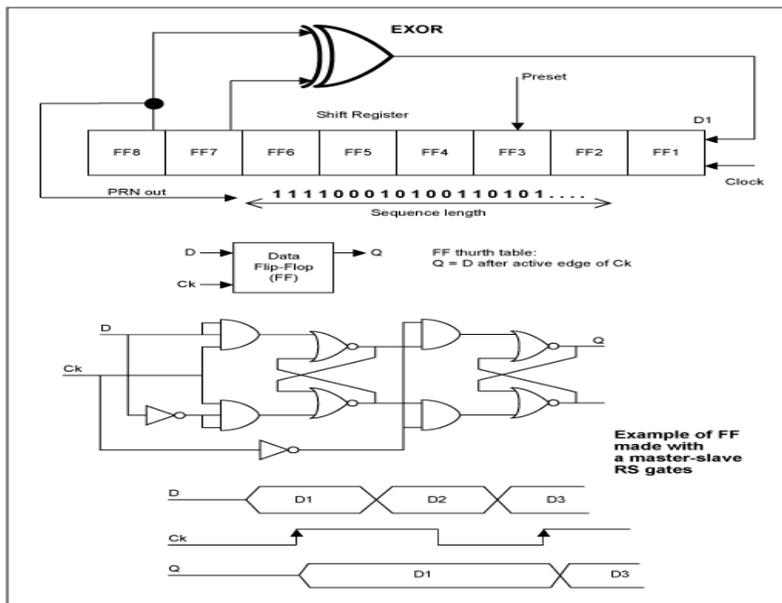
Kode yang digunakan pada sistem *spread spectrum* memiliki sifat acak tetapi periodik sehingga disebut sinyal acak semu (*pseudo random*) dan bersifat seperti noise tapi deterministik sehingga disebut juga noise semu (*pseudo noise*). Pembangkit sinyal kode ini disebut *pseudo random generator* (PRG) atau *pseudo noise generator* (PNG), yang berfungsi melebarkan dan sekaligus mengacak sinyal data yang akan dikirim. Metode yang sering digunakan untuk membangkitkan PN-code ini didasari oleh sebuah rangkaian *feedback shift register* (Karim, 2002), seperti digambarkan pada Gambar 4.



Gambar 2. Sistem pemancar dan foto analisis spektrum sebuah sinyal *direct-sequence* (Dallas Semiconductor,2003)



Gambar 3. Proses dasar transmisi sinyal CDMA



Gambar 4. Sebuah feedback shift register dan D flip-flop sebagai rangkaian dasar pembangkit PN code (Dallas Semiconductor, 2003)

Secara umum, PN code dapat diklasifikasikan menjadi dua jenis; yaitu *linear* dan *non-linear*. Kode *linear* dibangkitkan dengan mengkombinasikan keluaran *feedback shift register* dalam fungsi yang tetap

dan bermodulo 2. Sedangkan kode *non-linear* diperoleh dengan melakukan *feedback shift register* sebagai fungsi waktu. Untuk menguraikan konstruksi atau seleksi urutan yang tepat dari PN-code ini, harus dianalisis dengan aturan-aturan khusus, misalnya mengenai

panjang deretan bit, *auto correlation*, *cross correlation*, *orthogonality* dan *bits balancing* (Evans, 1993). Pemilihan PN-code yang mempunyai satuan *chips*, harus dilakukan dengan memperhatikan beberapa kriteria berikut (Bozward, 1994 ; Glass, 1996):

- a. Mudah diterapakan
- b. Mempunyai dua level (-1 & +1) atau (0 & 1)
- c. *Autocorrelation* yang tajam untuk memungkinkan sinkronisasi kode.
- d. Mempunyai beda jumlah '0' dan '1' hanya satu (*one zero balance*) untuk memperoleh *spectrum density* yang baik.
- e. Harga *cross correlation* yang rendah. Semakin rendah harga *cross correlation* maka jumlah kanal dalam satu pita frekuensi semakin tinggi.

### 6. Processing Gain

*Processing gain* pada *spread spectrum* adalah parameter utama yang menunjukkan ukuran kualitas sistem (*figure of merit*) yang dapat dihitung bila lebar pita frekuensi penebaran Bss, dan lebar pita frekuensi informasi Bs diketahui. *Processing gain* ( $P_g$ ), dapat dihitung dengan persamaan berikut :

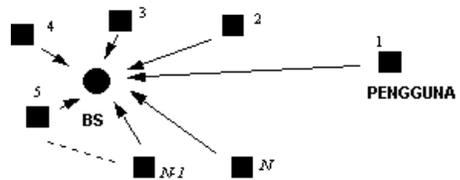
$$P_g = 10 \log \frac{B_{ss}}{B_s} \quad (\text{dB}) \quad \dots\dots\dots(3)$$

Contoh kasus : jika kecepatan bit informasi 10 Kbps dengan lebar pita frekuensi informasi  $B_s=10$  KHz dan tiap bit dari 10 Kbps dikodekan dengan 100 chip, maka kecepatan chip menjadi  $(100 \times 10 \cdot 10^3) = 1$  Mbps yang membutuhkan lebar pita frekuensi *direct sequence*,  $B_{ss}=1$  Mbps. Jelas bahwa lebar pita frekuensi melebar dari 10 KHz menjadi 1 MHz. Jadi *Processing Gain* ( $P_g$ ) untuk contoh ini =20 dB.

### 7. Sinyal to Noise Ratio (S/N)

Untuk menghitung S/N tiap kanal/pengguna, diasumsikan bahwa sistem yang digunakan adalah *star* dimana *base station* (BS) berkomunikasi dengan semua pengguna yang akan menempati alokasi spektrum frekuensi yang sama.

$$S_1 / N_1 = \frac{S_1}{\sum_2^N S_j + \eta} \quad \dots\dots\dots(4)$$



Gambar 5. Sistem *star* dengan satu BS dan N kanal/pengguna

Perbandingan sinyal dan derau pengguna nomor satu pada penerima di BS diperlihatkan oleh persamaan 4 dimana  $S$  adalah daya yang diterima,  $\eta$  adalah *white noise gaussian*, dan  $N$  adalah jumlah terminal/kanal (gambar 5).

### 8. Masalah Near Far

Apabila setiap pengguna mempunyai daya pancar yang sama, maka pengguna yang lokasinya berdekatan dengan penerima BS akan mendominasi daya derau. S/N pengguna yang lokasinya jauh dari BS dapat menjadi sangat buruk dan hubungan bisa terputus. Kondisi akan lebih buruk mengingat *path loss* (karakteristik propagasi) pada daerah urban dapat berbanding terbalik dengan jarak dipangkatkan empat yang berakibat walau jarak antara 2 pengguna tidak terlalu jauh tapi redaman udaranya bisa terputus jauh.

**9. Power Control**

Untuk mengatasi masalah *near far* digunakan *power control* pada perangkat pemancar yang mengatur daya pancar sedemikian rupa sehingga daya yang diterima oleh setiap pengguna adalah sama. Pada sebuah sistem yang mempunyai kanal banyak, derau akan didominasi oleh pengguna lainnya sehingga derau *white noise gaussian* dapat diabaikan. Dengan asumsi bahwa *power control* yang digunakan sempurna, dapat dianggap bahwa daya setiap kanal/pengguna yang diterima BS adalah sama,  $S=S_1=S_2=...=S_N$ , persamaan 4 dapat ditulis:

$$S / N_0 = \frac{S}{(N - 1)S + \eta} \dots\dots\dots(5)$$

*Sinyal to Noise Rasio total perbit (Eb/No)* dapat dicari dengan persamaan 6, dimana *Bss* adalah lebar pita frekuensi transmisi *direct sequence*, *BR* merupakan kecepatan bit informasi, *S* adalah daya sinyal yang diterima pada penerima BS, *No* merupakan daya noise, *N* jumlah kanal, dan  $\eta$  (  $\square$  *white noise* ).

$$Eb / No = \frac{Bss / BR}{(N - 1) + (\eta / S)} \dots\dots\dots(6)$$

Dari persamaan di atas dapat diketahui bahwa kapasitas sistem berbanding terbalik dengan  $E_b/N_0$  yang dibutuhkan.

**10. Karakteristik *direct sequence spread spectrum* pada CDMA**

Keuntungan utama sistem CDMA adalah pita frekuensi dapat digunakan pada setiap sel (*frequency reuse*) serta dapat dilakukan peningkatan kapasitas sel dengan menggunakan *voice activity* atau lebih dikenal dengan VOX dan konsep sektorisasi antena, seperti diterangkan di bawah ini.

a. Frequency reuse factor (F)

Untuk sistem *multi cell* dikenal adanya faktor penggunaan ulang frekuensi (F) yang didefinisikan sebagai perbandingan antara total daya interferensi (yang berasal dari sel itu sendiri dan sel-sel tetangganya) dibagi dengan daya interferensi dari sel itu sendiri. '*Frequency reuse factor*' ideal adalah 1 (tanpa menyebabkan interferensi) yang dapat terjadi apabila pemisahan antar sel cukup besar. Mengingat, **F** tergantung pada karakteristik propagasi yang merupakan fungsi lingkungan, topografi dimana sistim ini diterapkan, maka **F** dapat berbeda untuk setiap lokasi.

b. Faktor Aktifitas Suara (  $\alpha$  )

Mengingat kapasitas sistem CDMA dibatasi oleh daya interferensi maka dapat disimpulkan bahwa bila suatu percakapan tidak selalu memancarkan sinyal radio (saat kanal/pengguna tidak aktif) akan mengurangi interferensi. Oleh karena itu, secara teori, CDMA akan mempunyai kapasitas yang lebih besar, jika **pemancar sinyal diaktifkan oleh suara atau sistem yang akan memancarkan sinyal pada saat menangkap suara dari pengguna**. Dari hasil pengukuran oleh Bell laboratories diketahui bahwa pengguna hanya aktif selama 35-40% dari waktu percakapan. Angka ini dikenal sebagai '*Voice Activation Factor*' (VOX) atau  $\alpha$  yang bernilai sekitar 0,4. Ini berarti kanal yang memancar pada saat bersamaan hanyalah  $0,4 N$  dengan kata lain kapasitas bisa naik 2.5 kalinya.

c. Sektorisasi

Teknik lain untuk meningkatkan kapasitas sel adalah melakukan sektorisasi antena. Dua konfigurasi sektorisasi antena telah dihitung oleh Gilhousen yaitu 3 sektor dan 6 sektor. Untuk 3 sektor, sel akan mempunyai *antenna beamwidth* 120 derajat. Sehingga, interferensi yang dilihat

oleh antenna tersebut kurang lebih 1/3 dari yang dilihat oleh antenna omni yang kemudian akan menaikkan kapasitas dasar sebesar 3 kalinya. Tetapi mengingat terdapat *overlapping* cakupan antenna untuk menjamin tidak adanya daerah yang kosong (tidak tercakup) maka peningkatan kapasitas karena sektorisasi G, menjadi 2,55.

### 11. Kelebihan metode akses CDMA pada komunikasi seluler

Kelebihan metode akses CDMA dengan metode akses lainnya (TDMA dan FDMA), jika diaplikasikan pada sistem seluler adalah :

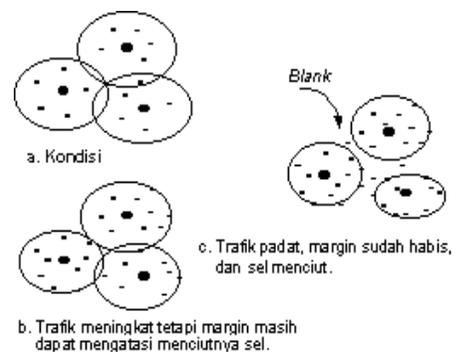
- a. **Co-exist dengan seluler CDMA** ; dapat dioperasikan bersama dengan teknologi lain, misalnya *advanced mobile phone service* (AMPS). Dua sistem seluler FDMA dan CDMA dapat beroperasi secara bersama-sama. Perancang seluler CDMA dapat memberikan solusi dengan memperkenalkan unit bergerak dual mode FDMA/CDMA pada pelanggan.
- b. **Tidak membutuhkan equalizer** ; bila laju transmisi lebih besar dari pada 10Kbps dalam FDMA dan TDMA, sebuah *equalizer* dibutuhkan untuk mengurangi intersymbol interferensi yang dibutuhkan oleh *time delay spread*. Dalam CDMA hanya dibutuhkan korelator sebagai pengganti *equalizer* pada penerima untuk proses *despreading* sinyal *spread spectrum*.
- c. **Satu radio** yang dibutuhkan pada tiap sel atau pada tiap sektor
- d. **Tidak membutuhkan guard time dan guard band** ; *guard time* dibutuhkan dalam TDMA antara time slot sedangkan *guard band* dibutuhkan pada FDMA untuk menjaga interferensi antar kanal.
- e. **Tidak membutuhkan alokasi dan pengelolaan frekuensi** ; pada TDMA

dan FDMA, pengelolaan frekuensi merupakan tugas kritis untuk diselesaikan. Karena hanya terdapat satu kanal radio bersama pada CDMA, sehingga tidak dibutuhkan pengelolaan frekuensi.

- f. **Mempunyai daya pancar yang rendah** ; yang memungkinkan *hand phone* CDMA irit dalam mengkonsumsi baterai, sehingga dapat beroperasi lebih lama untuk bicara maupun *stand by*.
- g. **Soft handoff** ; dapat dilakukan dalam CDMA karena setiap sel menggunakan frekuensi yang sama (Etemad, 2004).
- h. **Lebih kebal terhadap penyadapan dan jamming** ; secara inheren (sudah menjadi sifat) terdapat dalam sistem komunikasi *spread spectrum*.
- i. **CDMA-2000 (1X)** dapat mengirim data dengan kecepatan hingga 144 Kbps, sehingga dapat mendukung layanan SMS, MMS, main game, dan *down load* data melalui internet.

### 12. Kendala operasional

Kendala operasional mengenai optimasi cakupan CDMA yang dapat mengembang dan menciut. Gejala ini dikenal dengan istilah *breathing* yang diperlihatkan pada gambar 6.



Gambar 6. Perubahan besarnya sel karena peningkatan trafik (Priyanto, 1997)

Pada kondisi normal dimana jumlah kanal/pengguna sesuai dengan rancangan, derau dari pengguna lain dapat diatasi. Peningkatan jumlah pengguna pada beberapa sel menyebabkan derau pengguna juga akan meningkat sehingga *power control* akan memerintahkan menaikkan daya pancar untuk mendapatkan  $E_b/N_o$  yang diinginkan. Peningkatan daya derau dari pengguna lain, juga menyebabkan pengguna yang lokasinya agak jauh dari *base station* dapat kehabisan daya pancar (sudah maksimum) yang kemudian tidak bisa mempertahankan  $E_b/N_o$  sehingga hubungan terputus. Dari sisi sistem dapat dilihat sebagai menciutnya cakupan suatu sel. Bila beberapa sel yang berdampingan menciut maka daerah perbatasan antar sel tersebut menjadi tidak tercakup (*blankspot*). Untuk mengatasi hal ini,  $E_b/N_o$  yang digunakan pada perencanaan adalah 3-6 dB lebih tinggi dari  $E_b/N_o$  minimum yang dipersyaratkan. Margin tambahan menyebabkan kapasitas kanal/pengguna per sel akan menurun. Perhitungan margin akan semakin rumit apabila sel-nya kecil dan pengguna bergerak relatif cepat, sehingga margin untuk setiap daerah dapat berbeda tergantung pada trafik, tingkat mobilitas pengguna serta kemacetan lalu lintas mengingat banyak komunikasi dilakukan pada saat lalu lintas macet.

### 13. Kesimpulan dan Penutup

#### 13.1 Kesimpulan

- Direct Sequence Code Division Multiple Acces* (DS-CDMA) biasa disebut CDMA saja, menggunakan teknik modulasi *Direct Sequence Spread Spectrum* (DS-SS) untuk pengiriman data digital kecepatan tinggi melalui radio.
- Setiap kanal menggunakan waktu dan frekuensi secara bersamaan, dibedakan oleh kode unik (PN-code) yang digunakan untuk melebarkan sinyal.

- Parameter utama yang merupakan ukuran kualitas sistem pada *spread spectrum* meliputi: *processing gain* ( $P_g$ ) atau *spreading factor* (menentukan jumlah pengguna yang dapat ditangani pada sebuah sistem), *signal to noise ratio* (S/N), *signal to noise ratio* total per bit ( $E_b/N_o$ ) dan *power control*.
- Metode akses CDMA pada sistem seluler mempunyai kelebihan, yakni: tidak membutuhkan *equalizer*, satu radio per site, tidak membutuhkan *guard time* dan *guard band*, tidak membutuhkan alokasi dan pengelolaan frekuensi, mempunyai daya pancar yang rendah, *soft handoff*, dan lebih kebal terhadap penyadapan dan jamming.

#### 13.2 Penutup

Teknologi CDMA terus berkembang menuju kematangan dan merupakan teknologi yang cukup menjanjikan, kecanggihan CDMA patut diperhitungkan dan menjadi saingan GSM yang sekarang ini banyak digunakan oleh operator telepon seluler di Indonesia. Karakteristik *propagasi* di Indonesia perlu dipelajari lebih baik untuk mendapatkan perencanaan jaringan yang optimum. Hal ini mengingat kondisi geografis Indonesia yang relatif berbeda dengan negara asal CDMA.

### 14. Daftar Pustaka

- Bozward, D., 1994, *DS-SS Multiplexing in PCN*, MSc Telecommunications PCN Course Note, Aston University.
- Dallas Semiconductor. 2003. *An Introduction to Direct Sequence Spread Spectrum Communication*. (on line) diakses 29 Oktober 2008.
- Dixon, R.C., 1976, *Spread Spectrum System*, John Wiley & Sons, Inc. Publication.

- Etemad, K., 2004, *CDMA 2000 Evolution : System Concepts and Design Principles*, John Wiley & Sons, Inc.Publication.
- Evans, B.G. et. al., 1993, *Multimedia Advanced CDMA Systems*, the4th IEE Conference on Telecommunications, pp11-16
- Glass, Jack, 1996, *The Principles of Spread Spectrum Communications*,  
<http://olt.et.tudelft.nl/~glass/ssc/tech/techniques.html>, (on line) diakses 25 Maret 2007.
- Hantoro, G.D. *Teknologi Broadband CDMA*. (on line), diakses 27 Maret 2008.
- Karim, M.R. and Sarraf, M., 2002, *W-CDMA and CDMA2000 for 3G Mobile Networks*, Mc.Graw Hill Companies, Inc.
- Priyanto, T., 1997, *Teori Dasar dan Perkembangan DS-CDMA*. Elektro Indonesia, (on line), diakses 28 Oktober 2008.
- Purba, O.W., -----, *Spread Spectrum : Teknologi Komunikasi Digital di Masa Datang*. (<http://onno.vlsm.org/v11/ref-ind-1/physical/wireless/spread-spectrum-teknologi-komunikasi-digital-masa-mendatang-1.rtf>), (on line) diakses 24 Maret 2008.
- Telkom, PT ., 2006, *Sekilas Tentang CDMA*, (on line) diakses 20 Maret 2006.
- Viterbi,A.J., 1995, *CDMA : Principles of Spread Spectrum Communcation*, Addison-Wesley Publishing Company.
- Wireless Wiki, 2008, *Direct Sequence Spread Spectrum (DSSS)*,  
[http://wiki.wirelessinnovation.com/index.php/Direct\\_Sequence\\_Spread\\_Spectrum\\_%28DSSS%29](http://wiki.wirelessinnovation.com/index.php/Direct_Sequence_Spread_Spectrum_%28DSSS%29), (on line) diakses 29 Oktober 2008.