

KAPASITAS KANAL PADA SISTEM KOMUNIKASI BERGERAK DENGAN AKSES CDMA

Oleh :
Waryan ¹⁾
Adil Amin Sjafri ²⁾

Abstrak

Komunikasi bergerak menggunakan beberapa macam metode akses yaitu FDMA (Frequency Division Multiple Acces), TDMA (Time Division Multiple Acces) dan CDMA (Code Division Multiple Acces) di mana satu sama lainnya mempunyai kareteristik tersendiri. Pada FDM sistem komunikasi bergerak muncul teknologi AMPS, dengan teknologinya TACS, NMT dan C-450 sedangkan TDMA dikenal dengan teknologi GSM dengan teknologinya DCS 1800 dan yang lainnya dengan perkembangannya sangat pesat.

Sedangkan pada akses CDMA munculah teknologi selular yang mempunyai kapasitas kanal lebih besar dari pada teknologi sebelumnya (AMPS dan GSM). Apabila dilakukan perhitungan perbandingan kapasitas kanal dari masing-masing teknologi komunikasi bergerak maka dapat di tuliskan bahwa kapasitas kanal pada CDMA akan lebih besar empat kali dari kapasitas kanal pada komunikasi bergerak dengan metode akses TDMA. Dan akan lebih besar 20 kali lebih besar dari kapasitas kanal pada komunikasi dengan metode akses FDMA. Dengan demikian untuk mengimbangi jumlah pelanggan yang makin banyak maka teknologi CDMA ini dapat mengatasi jumlah lonjakan pelanggan komunikasi bergerak (selular).

Kata Kunci : Kapasitas Kanal CDMA,

1. Pendahuluan

Kemajuan pemakaian sistem komunikasi bergerak diawali dengan pemakaian sistem non selular yang hanya mampu meng-cover wilayah seluas jangkauan (power) yang dimiliki oleh Base Station. Sistem ini dimulai setelah berakhirnya Perang Dunia II.

Perkembangan sistim telekomunikasi selanjut nya adalah menggunakan sistem selular *Nordic Mobile Telephone (NMT 450)* yang muncul di Swedia yang dikenal dengan sistem *Advanced Mobile Phone System (AMPS)*, *Total Acces Cellular System (TACS)*, NMT 900, C 450, Radiocom 2000, dan masih banyak lagi sistem selular lainnya.

Untuk mengoperasikan seluruh sistem di atas secara prinsip adalah menggunakan modulasi frekuensi yang beroperasi pada frekuensi 450 MHz atau 900 MHz dan dalam bentuk sinyal analog.

Untuk mengatasi ketidak sesuaian sistem selular analog yang digunakan di berbagai negara dan adanya keterbatasan kapasitas sistem selular digital, maka dikembangkan sistim komunikasi lain yang disebut dengan *Global System for Mobile Communication (GSM)*.

Berdasar atas kesepakatan para ahli Telekomunikasi Eropa pada *Conference European des et Telecommunication (CEPT)*, bulan Juni 1982 mulai dikembangkan GSM dengan sistem TDMA. Kemudian pada tahun 1990 *European Telecommunication Standar Institute (ETSI)* membuat spesifikasi GSM yang disebut dengan Digital Cellular System 1800 (DCS 1800).

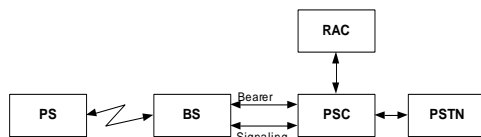
Impian telekomunikasi masa kini sampai masa mendatang adalah penyampaian dan perolehan informasi kapan pun, dimana pun, dan dalam bentuk apapun.

Untuk mewujudkannya dibutuhkan pelayanan menggunakan akses universal, dan dalam hal ini adalah sistem telekomunikasi mobile generasi ke

tiga, berupa sistem *Code Division Multiple Acces* (CDMA) yang merupakan metode akses dengan cara melakukan kodifikasi pemakai berupa deretan kode khusus untuk menyampaikan kode sinyal pembawa informasi menuju receiver (penerima) yang telah mengenal deretan kode, selanjutnya kode-kode tersebut akan diterjemahkan menjadi bentuk data aslinya.

2. Sistem Komunikasi Bergerak

CDMA IS 95, merupakan peralatan komunikasi standar dengan menggunakan sistem selular berakses CDMA yang diluncurkan bulan Juli 1995, dikembangkan oleh Qualcomm Telecommunication (Qtel), dan beroperasi pada multiple frekuensi 800 MHz dan 1900 MHz serta berjangkauan 50 km. Pada peralatan CDMA maka untuk pengkodean dilakukan dengan kecepatan 14,4 kbps. Pada (Gambar.1) dapat kita lihat konfigurasi CDMA yang dimaksud.



Gambar 1. Konfigurasi Sistem CDMA

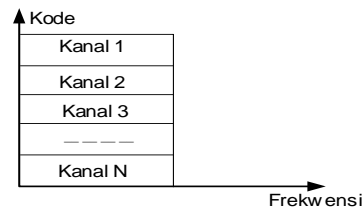
Keterangan :

- PS : Personal Station
- BS : Base Station
- PSC : Personal Switching Center
- RAC : Radio Acces Control
- PSTN : Public Switched Telepon Network

3. Metode Akses CDMA

Sistem CDMA merupakan sistem multiple access yang pembagian kanal transmisinya tidak dicapai dengan waktu dan frekwensi, tetapi dengan menggunakan pengkodean khusus, dimana kode khusus tersebut memiliki perbedaan antara pemakai satu dengan pemakai lain. Setiap pemakai akan memiliki deretan kode khusus untuk mengkodekan sinyal pembawa informasi.

Setiap pengirim mempunyai kode berbeda, akan tetapi sinyal kode tersebut dapat dikenali oleh penerima dan hal tersebut dapat dilakukan dengan penyaringan energi yang dapat membedakan satu sinyal dengan sinyal lain.



Gambar .2. Penggunaan kanal pada CDMA

Pada (Gambar. 2) di atas terlihat penggunaan kanal sistem CDMA, yang membedakan sinyal satu dengan lainnya melalui perbedaan kode. sinyal yang dikirim menggunakan PN (Pseudo-noise) dan kode berbeda, tetapi frekuensi sama.

Karena lebar kanal sinyal kode lebih besar daripada lebar kanal sinyal pembawa, maka sistem ini dikenal sebagai modulasi spread-spectrum (SS). dan spektrum tersebar seperti sistem ini termasuk dalam sistem *wideband*.

Persyaratan bagi suatu modulasi spektrum tersebar adalah lebar kanal pemancaran harus lebih besar daripada kanal informasi dan lebar kanal frekuensi radio serta tidak tergantung pada sinyal informasi.

Perbandingan antara lebar kanal yang dipancarkan dengan lebar kanal informasi disebut procesing gain (G_p) dalam satuan dB yang tertera pada persamaan (1) berikut ini :

$$G_p = \frac{B_t}{B_i} \quad (1)$$

Keterangan :

- B_t = Bandwidth yang ditransmisikan (Hz)
- B_i =Bandwidth sinyal pembawa informasi (kbps)

Untuk mencari jumlah kanal radio (N) pada sistem CDMA maka dapat digunakan persamaan (2) sebagai berikut;

$$N - 1 = G_p \times \frac{1}{E_b / I_o} \quad (2)$$

Keterangan :

- $E_b / I_o = CIR + G_p$
- CIR = perbandingan sinyal pembawa terhadap interferensi (dB).

3.1 Penebaran Spektrum

Spektrum tersebar (Spread Spectrum) adalah teknik modulasi yang memodulasi dan menyebarkan sinyal termodulasi pada suatu pita frekuensi yang jauh lebih lebar daripada lebar pita (bandwidth) dan diperlukan untuk mentransmisikan sinyal tersebut

Teknik spektrum tersebar pertama kali digunakan dalam bidang militer, karena merupakan teknik komunikasi yang aman, kebal terhadap interferensi dan transmisi dapat disembunyikan di dalam background noise sehingga sulit untuk dideteksi. Saat ini, teknik spektrum tersebar telah diaplikasikan di bidang komunikasi komersial seperti sistem telepon bergerak.

Untuk dapat dikatakan termasuk klasifikasi memanfaatkan teknik modulasi spektrum tersebar, memiliki dua kriteria yang harus dipenuhi yaitu :

1. Lebar pita sinyal transmisi harus jauh lebih besar daripada lebar pita sinyal informasi
2. Lebar pita sinyal transmisi ditentukan oleh suatu fungsi yang tidak tergantung pada sinyal informasi.

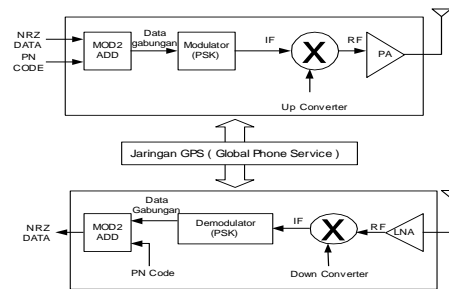
Oleh karena itu modulasi spektrum tersebar mengubah sinyal pembawa informasi menjadi sinyal transmisi dengan lebar pita yang jauh lebih besar. Dengan lebar pita yang lebih besar, maka kerapatan daya yang diperoleh menjadi rendah. Blok diagram spread spectrum dapat dilihat (Gambar. 3.)

Sistem yang dapat diklasifikasikan sebagai teknik modulasi spread spectrum mempunyai karakteristik sebagai berikut :

1. *Bandwidth transmisi* harus jauh lebih besar daripada *bandwidth* informasi.
2. *Bandwidth radio-frequency* dihasilkan ditentukan oleh suatu fungsi yang berbeda dengan fungsi informasi yang dikirim (*bandwidth* tidak tergantung dari sinyal informasi).

Modulasi spread spectrum akan mengubah sinyal pembawa informasi menjadi sinyal transmisi dengan *bandwidth* jauh lebih besar.

Perubahan ini dicapai dengan melakukan kodifikasi sinyal informasi, menggunakan sinyal kode yang tidak tergantung data dan mempunyai lebar spektrum jauh lebih besar daripada sinyal data.



Gambar. 3 Blok diagram konsep Spread SectrumRadio

Keterangan gambar :

NRZ	= Non return to zero
MOD2 ADD	= Gerbang OR
PSK	= Phase Shift Keying
IF	= Intermediate frequency
RF	= Radio frequency
LNA	= Low Noise Amplifier

Perbandingan *bandwidth* transmisi dengan *bandwidth* informasi disebut dengan *processing gain* (G_p) dan dapat dilihat pada persamaan (3)

$$G_p = 10 \log \left(\frac{BW}{R_b} \right) \quad (3)$$

Keterangan :

BW	= bandwidth yang ditransmisikan (Hz)
R _b	= Bit rate

Teknologi CDMA yang didasarkan dengan berdasarkan pada pemberian kode dalam pembagian kanal, sangat memungkinkan menyimpan kanal dengan jumlah besar.

Keterbatasan lebar bidang frekwensi pada sistem TDMA dapat diatasi menggunakan teknologi CDMA. Jumlah kanal CDMA akan tergantung dari jumlah kode yang dibangkitkan dan secara teori jumlah kode mendekati tak terhingga karena untuk pembatasan jumlah kanal lebih dipengaruhi oleh faktor di luar kemampuan sistem dalam membangkitkan jumlah kode.

3.1.1 Modulasi Spread Spectrum

Pada sistem CDMA sifat multiple acces diperoleh dengan cara kodifikasi (coding). Setiap stasiun transmisi mempunyai kode khusus, acak, untuk menyampaikan kode sinyal pembawa informasi. Stasiun penerima harus mengetahui kode khusus dari stasiun pengirim sehingga dapat

menterjemahkan kode sinyal yang diterima dan mengembalikan data ke bentuk semula.

Berbeda dengan FDMA, untuk CDMA tidak mempunyai batasan dalam penggunaan lebar pita. Pada sistem CDMA, lebar pita sinyal kode dipilih jauh lebih besar daripada lebar pita sinyal pembawa informasi sehingga proses kodifikasi akan “memperluas” (spreads) spektrum sinyal. Proses kodifikasi ini dikenal sebagai modulasi spektrum tersebar (spread-spectrum), dan hasilnya disebut sinyal spektrum tersebar. Sistem CDMA sendiri juga dikenal sebagai sistem Spread-Spectrum multiple Acces.

Berdasarkan teknik modulasi pada spread spectrum CDMA (SS/CDMA), dapat diklasifikasikan sebagai berikut :

1. *Direct Sequence spread spectrum*, sinyal pembawa informasi dikalikan langsung dengan sinyal kode.
2. *Frequency Hopping spread spectrum*, dimana frekuensi carrier dari sinyal pembawa informasi tidak ditransmisikan akan diubah terus menerus sesuai dengan sinyal kode.
3. *Time Hopping spread spectrum*, sinyal pembawa informasi tidak ditransmisikan terus menerus, tetapi dalam semburan-semburan pendek (short burst) dengan interval waktu tiap semburan ditentukan oleh sinyal kode.
4. *Hybrid Modulation*, merupakan penggabungan dua atau lebih metode spread spektrum dengan maksud untuk mendapatkan hasil yang baik.

Sistem spread spectrum atau CDMA dibagi menjadi *averaging sistem* dan *avoidance sistem*.

- *Averaging System* merupakan sistim yang dipergunakan untuk mereduksi interferensi dengan membuat rata-rata interferensinya pada interval waktu yang lama.
- *Avoidance system* merupakan sistim yang digunakan untuk mereduksi inteferensi menggunakan sinyal yang dibentuk untuk menghindari interferensi pada waktu yang lama

Metode *direct sequence* didasarkan pada *averaging system*, sedangkan metode *frequency*

hopping dan *time hopping* didasarkan pada *avoidance system*. Sedangkan metode *hybrid modulation* penggunaannya berdasarkan *averaging system* dan juga *avoidance system*, atau gabungan dari kombinasi keduanya.

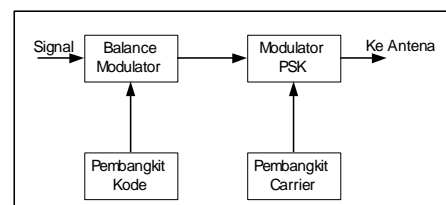
3.1.2 Metode Direct Sequence CDMA

Metode *Direct Sequence (DS)* diperoleh dari hasil perkalian langsung antara sinyal pembawa informasi dengan sinyal kode.

Dalam sistem direct-sequence, sinyal pembawa informasi termodulasi (sinyal data), di modulasi secara langsung oleh suatu sinyal kode digital. Sinyal data dapat berupa sinyal analog atau digital, tetapi yang paling sering dipakai adalah sinyal digital.

Untuk sinyal digital, seringkali modulasi data diabaikan dan sinyal pembawa informasi langsung dijumlahkan dengan sinyal kode yang hasilnya kemudian memodulasi sinyal pembawa.

Pada sistem transmisi Direct-sequence CDMA (Gambar 4), sinyal data biner memodulasi suatu sinyal pembawa (carrier).



Gambar 4. Diagram Blok Sistem transmisi DS-CDMA

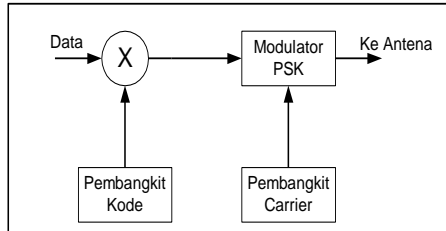
Sinyal pembawa yang telah dimodulasi tersebut kemudian dimodulasi oleh sinyal kode. Sinyal kode berupa deret kode teracak dengan pulsa yang lebih pendek dari data biner, yang disebut **chip**. Chipping rate harus jauh lebih tinggi dari pada data rate agar terjadi pelebaran sinyal. Sinyal yang telah dimodulasi ini dimasukkan ke dalam modulator PSK, umumnya yang sering dipakai adalah **BPSK** (Binary Phase-Shift Keying). Fasa sinyal data akan berubah-ubah dari 0° ke 180° sesuai dengan kode chip yang dibangkitkan **+1** atau **-1**. Karena sifat acaknya, sinyal yang dihasilkan nampak seperti wideband noise jika diterima receiver narrowband.

Seperti telah disebutkan di atas, pada sinyal digital, modulasi data dapat diabaikan sehingga

sinyal data biner langsung dimodulasi oleh sinyal kode, seperti pada (Gambar.5).

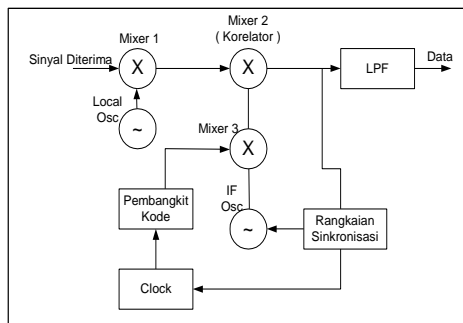
Keuntungan dari Direct Sequence CDMA adalah :

1. Pembangkitan sinyal yang dikodekan hanya dengan proses perkalian sederhana.
2. Sinkronisasi antar pemakai tidak perlu.



Gambar 5 Diagram Blok Sistem Transmisi DS-SS-SSM Tanpa Modulasi Data

Jika pada stasiun transmisi sinyal informasi mengalami proses penyebaran (spreading), maka pada stasiun penerima (receiver) sinyal yang diterima akan mengalami proses penyempitan (despreading) dan mendapatkan bentuk data asli yang dikirim. Proses ini dilakukan dengan cara mengkorelasikan sinyal spektrum tersebar dengan kode teracak yang dibangkitkan oleh penerima dan ini dapat dilihat pada (Gambar.6.)



Gambar. 6 Diagram Blok Penerima DS-SS-SSM

Kerugian dari Direct Sequence CDMA adalah :

1. Sulit untuk mempertahankan sinkronisasi antara sinyal kode yang diterima dengan sinyal kode yang dibangkitkan secara lokal.
2. Karena transmisi dilakukan dalam seluruh lebar kanal, maka pemakai yang dekat dengan stasiun pengirim akan menghasilkan interferensi bagi pemakai yang letaknya jauh dari stasiun pengirim.

3.1.3 Metode Frequency Hopping DMA

Pada metode *Frequency Hopping (FH)*, mempunyai frekuensi carrier dari sinyal informasi yang telah dimodulasi tidak konstan. Frekuensi carrier tersebut selama interval waktu tertentu (T), tidak berubah, tetapi setelah interval waktunya habis, maka frekuensi carrier tersebut akan melompat ke frekuensi lain, tetapi tidak menutup kemungkinan akan melompat pada frekuensi yang sama.

Loncatan tersebut ditentukan oleh sinyal kode dimana pada metode frekuensi hopping hanya digunakan bagian kecil dari bandwidth saat transmisi dilakukan, tetapi waktunya tidak sama. Kondisi ini berbeda dengan metode direct sequence yang menggunakan seluruh jalur frekuensi pada saat transmisi terjadi.

Keuntungan dari sistem Frequency Hopping CDMA adalah :

1. Sinkronisasinya lebih mudah.
2. Kombinasi dari jalur frekuensi yang tidak harus bersebelahan memungkinkan lebar kanal spektrum tersebar yang lebih tinggi.
3. Kemungkinan penggunaan jalur frekuensi yang sama dari beberapa pemakai adalah kecil.
4. Lebar kanal yang besar pada sistem ini memungkinkan terjadinya pengurangan interferensi sinyal.

Kerugian dari sistem Frequency Hopping CDMA adalah ;

1. Memerlukan frequency synthesizer yang canggih.
2. Perubahan sinyal saat pergantian jalur frekuensi dapat berfungsi meningkatkan pemakaian jalur frekuensi.

3.1.4 Metode Time Hopping CDMA

Pada penggunaan metode Time Hopping (TH) transmisi sinyal data dilakukan pada waktu semburan berulang (rapid bursts) pada interval waktu yang ditentukan oleh kode khusus untuk setiap penggunaanya.

Pembagian waktu menjadi time slot untuk melakukan transmisi, ditentukan oleh sinyal pemakaiannya karena setiap pemakai yang

mentransmisikan data, melakukan dengan satu time slot.

Keuntungan dari pemakaian sistem Time Hopping CDMA adalah :

1. Sistem ini berguna bila daya pemancar terbatas tetapi tiap semburan transmisi akan dilakukan dengan daya yang tinggi.
2. Posisi pemakai terhadap stasiun pemancar tidak berpengaruh.

Sedangkan kerugian dari pemakaian Time Hopping CDMA adalah :

1. Sinkronisasi kode membutuhkan waktu yang lama.
2. Memerlukan kode perbaikan untuk kesalahan akibat bit yang hilang saat pemancaraan.

3.1.5 Metode Hybrid

Metode *Hybrid* merupakan penggabungan dua atau lebih nilai lebih dari metode - metode modulasi spread spektrum, sehingga diperoleh kombinasi metode yang lebih baik. Kombinasi/gabungan dari metode tersebut yang dapat mungkin terjadi adalah : DS/FH, DS/TH, FH/TH dan DS/FH/TH.

Teknik hybrid ini lebih sering digunakan dalam implementasi karena mempunyai keuntungan – keuntungan dan persyaratan sintesis yang lebih ringan tanpa menurunkan kinerja.

Kerugian pada sistem ini adalah semakin rumitnya pola pengiriman dan penerimaan.

3. Deret Kode Teracak (Pseudorandom Code Sequence)

Suatu kode pseudorandom merupakan deret kode digital (biner) "0" dan "1" yang berubah secara acak, tetapi pengacakannya ditentukan dan bersifat periodik. Sifat acaknya membuat deret ini mirip seperti deret digital, sehingga disebut juga Pseudorandom Noise (PN).

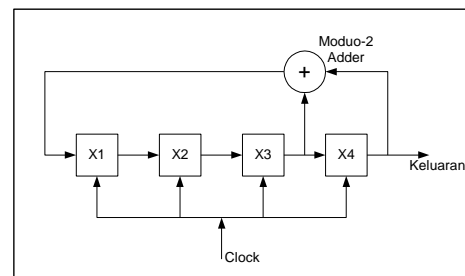
Pada sistem CDMA, deret PN digunakan untuk melakukan hal-hal berikut :

1. Membuat lebar pita sinyal yang dimodulasi, sehingga memiliki lebar pita transmisi yang besar.

2. Membedakan tiap-tiap stasiun transmisi yang menggunakan lebar pita transmisi sama.

Deret PN dibangkitkan dengan menggabungkan keluaran-keluaran dari beberapa feedback shift register. Sebuah feedback shift register terdiri atas memori dua-keadaan (two-state memory) yang berurutan dan logik umpan balik.

Deret biner digeser melalui shift register sesuai dengan pulsa clock. Isi dari deretan memori digabungkan secara logik untuk menghasilkan masukan sebagai memori petama. Isi pertama dari deretan memori dan feedback logic menentukan isi selanjutnya dari deretan memori.



Gambar. 7 Linier Feedback Shift Register 4 Tingkat

(Gambar.7), menunjukkan feedback shift register linier dengan register empat tingkat untuk penyimpanan dan pergeseran, sebuah modulo-2 adder dan jalur umpan balik dari adder ke masukan register.

Pengoperasian shift register diatur oleh deret pulsa clock. Pada setiap pulsa clock, isi dari tiap tingkat pada register digeser ke tingkat sebelumnya, dan isi X_3 dan X_4 dimasukkan ke dalam modulo-2 adder, dan hasilnya diumpan balik ke X_1 . Yang merupakan keluaran shift register adalah keluaran dari X_4 .

Jika keadaan awal dari register adalah 0001 ($X_1 = 0, X_2 = 0, X_3 = 0, \text{ dan } X_4 = 1$), maka hasil dari operasi pergeseran, penjumlahan, dan umpan balik untuk tiap siklus adalah seperti terlihat pada tabel –1.

Dalam aplikasi CDMA, deret biner dengan "0" dan "1" dipetakan ke dalam deret biner yang bersesuaian yang memiliki elemen +1 dan -1, yang disebut juga deret bipolar.

Pada sebuah shift register pembangkit deret biner, pajang deret maksimal adalah :

$$L = 2^n - 1 \text{ chip} \quad (3)$$

Tabel. 1 Hasil Pergeseran Linier Feedback Shift Register 4 Tingkat untuk tiap Siklus

Shift	X1	X2	X3	X4	Deret Keluaran
0	0	0	0	1	1
1	1	0	0	0	0
2	0	1	0	0	0
3	0	0	1	0	0
4	1	0	0	1	1
5	1	1	0	0	0
6	0	1	1	0	0
7	1	0	1	1	1
8	0	1	0	1	1
9	1	0	1	0	0
10	1	1	0	1	1
11	1	1	1	0	0
12	1	1	1	1	1
13	0	1	1	1	1
14	0	0	1	1	1
15	0	0	0	1	1
16	1	0	0	0	0

Pada persamaan (3) n adalah banyaknya tingkatan pada shift register. Deret terpanjang ini mempunyai sifat dimana perioda pengulangan deret pada pulsa clock adalah $T_0 = 2^n - 1$. Deret terpanjang terdiri dari "0" sebanyak $2^n - 1$ dan "1" sebanyak 2^{n-1} tiap satu perioda.

5. Fungsi Ortogonal

Fungsi ortogonal dipakai untuk memperbaiki efisiensi lebar pita suatu sistem spektrum tersebar. Tiap pemakai/konsumen bergerak (mobile user) akan menggunakan satu bagian dari suatu set fungsi ortogonal yang mewakili suatu set simbol yang digunakan untuk transmisi. Pada sistem CDMA, deret Walsh dan Hadamard sering dipakai untuk membangkitkan fungsi ortogonal.

Dua metode yang berbeda dapat digunakan untuk memodulasi fungsi ortogonal ke dalam arus informasi dalam sinyal CDMA. Fungsi ortogonal dapat digunakan sebagai kode penyebar atau dipakai untuk membentuk simbol modulasi yang ortogonal.

Dengan modulasi simbol ortogonal, bit stream sinyal informasi dapat dibagi menjadi dua blok, tiap blok mewakili sebuah simbol informasi non biner yang bersesuaian dengan deret kode transmisi tertentu. Jika terdapat bits per blok, maka satu dari suatu set fungsi $K = 2^b$ ditransmisikan dalam tiap interval. Sinyal pada receiver dikorelasikan dengan satu set K-matched filters, masing-masing dicocokkan dengan fungsi kode tiap simbol. Keluaran dari hasil korelasi dibandingkan, dengan simbol dan

dari keluaran terbesar dipakai sebagai simbol transmisi.

Sistem CDMA menggunakan 64 fungsi ortogonal yang dibangkitkan oleh fungsi Walsh. Fungsi Walsh dibangkitkan oleh kode Hadamard.

Perioda yang dibutuhkan untuk mentransmisikan sebuah simbol modulasi disebut interval simbol Walsh dan sama dengan 1/4800 detik. Perioda untuk 1/64 simbol modulasi disebut Walsh chip dan besarnya 1/307200 detik. Di dalam satu simbol Walsh, Walsh chip ditransmisikan dalam urutan 0,1,2,...,63.

Pada pengoperasian sistem CDMA fungsi ortogonal digunakan untuk kode penyebar pada kanal forward, dan untuk modulasi pada kanal reverse.

Untuk menyebarkan kode pada kanal reverse, digunakan Pseudo-orthogonal function. Satu dari 64 simbol modulasi yang mungkin, ditransmisikan untuk tiap group terdiri dari 6 simbol kode. Simbol modulasi adalah satu dari kumpulan 64 fungsi ortogonal yang ada.

Fungsi Walsh membentuk urutan bentuk gelombang segi empat dengan amplitudo +1 dan -1, pada interval waktu yang terbatas T_L , yang disebut juga **time base**.

6. Proses Soft Handoff Pada CDMA

Metoda spread spectrum CDMA merupakan metode yang memanfaatkan teknologi soft-handoff untuk mengontrol error yang terjadi pada perpindahan kanal atau sel.

Pada saat perpindahan kanal atau sel, user/konsumen akan dilayani oleh beberapa Base Station Sel dalam mencari sinyal dengan kualitas terbaik yang akan dipilih / diunggulkan dalam menyalurkan hubungan dari user ke user lain yang diinginkan sehingga terjadi proses komunikasi. Proses soft-handoff ini dikenal dengan metode **make before break**.

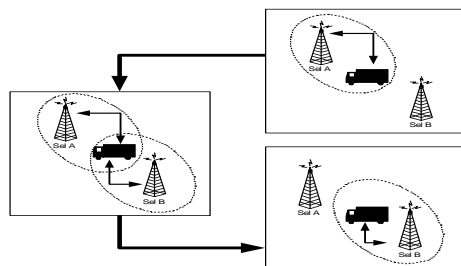
Handoff merupakan suatu proses pengubah frekuensi pada user dari sel yang lama ke sel yang lain pada saat sinyal mulai melemah. Pada sistem CDMA sel tersebut menggunakan frekuensi radio CDMA yang sama dan barisan kode yang berbeda.

Ada empat macam handoff yang didukung oleh stasiun pelanggan, yaitu:

1. Soft Handoff.; menggunakan frekuensi yang sama, konsumen melakukan komunikasi melalui sel baru tanpa mengganggu pemakai yang sedang melakukan komunikasi juga.
2. CDMA to CDMA Hard Handoff ; Pemakai/konsumen beroperasi diantara dua sel dengan menggunakan frekuensi yang sama.
3. CDMA to Analog Handoff.; Konsumen diarahkan dari suatu kanal trafik arah menuju stasiun kanal suara analog dengan menggunakan frekuensi berbeda.
4. Softer Handoff.; menggunakan handoff diantara sektor di dalam satu sel.

Pada gambar (8) ditunjukkan peristiwa soft handoff pada sistem CDMA, dimana terjadi pengalihan pelayanan dari Base Station satu ke Base Station lain yang terdekat. Dengan penggunaan soft handoff pada sistem CDMA dapat mengatasi Dropped Call (gagal panggil). Dropped Call dapat terjadi apabila terputusnya hubungan yang diterima sangat lemah. Hal ini terjadi apabila konsumen bergerak. pada sistem CDMA Base Station dibagi menjadi beberapa sektor, dengan arah yang berbeda.

Setiap sektornya diisi paling sedikit satu kanal, karena frekuensi yang digunakan sama, maka kapasitas kanalnya menjadi lebih banyak. Dan pada saat salah satu Base Station penuh dengan panggilan, maka Base Station yang lain akan membantu panggilan tersebut. Pada saat panggilan dari Base Station yang lama ke Base Station yang lain itu terjadi kegagalan panggilan, maka dengan menggunakan soft handoff akan dapat diatasi menjadi lebih baik.



Gambar. 8 Proses Soft Handoff pada CDMA

Soft Handoff pada sistem CDMA memungkinkan untuk lebih memperkecil gangguan pada saat komunikasi sedang berlangsung, sebab pengalihan panggilan tidak dilakukan dengan tiba-tiba.

Hal yang terjadi adalah dengan sistem CDMA mengakses panggilan menggunakan kode berbeda dengan frekuensi yang sama, dan akan terjadi proses pengalihan panggilan tersebut.

7. Masalah Near-Far

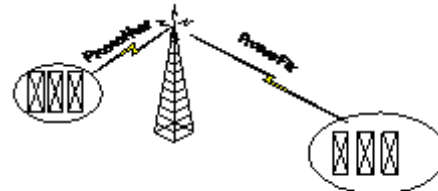
Near-Far merupakan masalah yang terjadi disebabkan jarak antara setiap MS (Mobile Station) dengan BS (Base Station) tidak sama, ada yang dekat dan ada yang jauh. Sinyal yang diterima MS yang dekat dengan BS akan lebih kuat dibandingkan dengan sinyal yang diterima oleh MS yang jauh dari BS. Sehingga sinyal yang dikirim untuk MS yang dekat akan menutupi sinyal untuk MS yang jauh.

Masalah ini dapat diatasi dengan pengaturan kontrol daya, sehingga sinyal untuk MS yang dekat dengan MS yang jauh dapat sama baiknya. (Gambar.9). menunjukkan terjadinya masalah near-far, dimana terlihat jarak MS berbeda-beda dari BS.

8. Interferensi Pada CDMA

Dengan penggunaan frequency reuse dapat menimbulkan interferensi pada sistem selular CDMA, dan ini merupakan interferensi antar kanal yang sama atau disebut co-channel interference karena setiap sel menggunakan kanal yang sama. MS pada sel, menerima interferensi dari station MS yang lain pada sel yang sama dan interferensi dari MS pada sel yang berbeda.

Ukuran suatu sel akan menentukan luas daerah cakupan dan kekuatan sinyal pada setiap selnya. Interferensi co-channel tidak tergantung pada daya pancar setiap sel yang tersedia.



Gambar. 9 Proses Near-Far

8.1 Adjacent Channel Interference

Adjacent channel interference disebut juga dengan interference kanal yang berdekatan, terjadi pada saat daya sinyal dari frekuensi modulasi pembawa suatu kanal menyebar menuju kanal berdekatan. Untuk menentukan letak BS, perencanaan frekuensi dan frequency reuse perlu diperhatikan pengaruh nilai C/I (Carrier to Interference). C/I merupakan perbandingan antara sinyal pembawa dengan sinyal interferensi.

8.2 Co-Channel Interference

Co-Channel interference merupakan interferensi yang terjadi pada kanal yang sama dalam frekuensi yang sama, pada jarak yang cukup dekat. Dalam pemakaiannya dengan diketahui jarak tersebut maka dapat dilihat penggunaan frequency reuse yang dapat mereduksi co-channel interference.

9. Kontrol Daya

Terjadi masalah near-far dan interferensi pada sistem selular CDMA, hal tersebut dapat dikurangi dengan pengontrolan daya. Kontrol daya berfungsi untuk menjaga level sinyal yang diterima pada BS dari masing-masing MS tetap konstan, tidak terganggu oleh sifat-sifat perambatan gelombang maupun karena MS bergerak.

Pada kontrol daya terdapat dua jenis arah pengiriman sinyal yaitu:

1. Reverse Link, sinyal yang dikirimkan berasal dari salah satu pelanggan menuju ke BS
2. Forward Link, sinyal yang dikirimkan berasal dari BS menuju pada pelanggan.

Kontrol daya pada reverse link dibutuhkan untuk mengendalikan daya pancar BS untuk mendapatkan kualitas transmisi yang baik meskipun pada tingkatan daya paling rendah. Daya yang dipancarkan dapat dipengaruhi oleh sel, sehingga daya tersebut dapat berkurang. Untuk itu pengendalian daya pancar ini akan disesuaikan dengan kondisi para pelanggan dengan memperhitungkan jarak pelanggan dengan sel.

Pada forward link kontrol daya berfungsi untuk mengatur sinyal yang diterima oleh pelanggan,

sehingga daya sinyal yang diterima sama besarnya berapapun jarak antara pelanggan dengan BS. Kontrol daya terhadap pelanggan diatur oleh BS.

10. Sektorisasi

Pada sistem selular CDMA, sektorisasi dilakukan untuk meningkatkan kapasitas saluran menjadi tiga kali lebih besar. Kanal pada sistem CDMA mempunyai bandwidth 1,25 MHz yang digunakan pada setiap sel. Sel tersebut dapat terinterferensi oleh sel-sel yang berada di sekitarnya. Pengaruh interferensi dari sel-sel tetangga tergantung dari aktivitas sel-sel tersebut.

Untuk mendapatkan kapasitas yang lebih besar maka sinyal radio akan dibagi menjadi tiga sektor, dan setiap sinyal radio yang telah dibagi tersebut akan menerima interferensi 1/3 bagian dari kapasitas total. Dengan metoda itu maka dengan demikian kapasitas dapat ditingkatkan menjadi tiga kali.

11. Multipath Fading

Pada sistem bergerak CDMA dipergunakan udara untuk media sesaat mengirimkan transmisi sinyal. Pada saat pengiriman sinyal dapat terjadi pemantulan disebabkan oleh keadaan udara dan pengaruh keadaan geografis di sekitarnya, seperti gedung-gedung bertingkat, perbukitan dan lain-lain.

Multipath merupakan berkas media transmisi yang menghubungkan pengirim dan penerima disebabkan oleh pemantulan. Akibat pemantulan tersebut akan menimbulkan waktu tunda.

Gejala pada saat terjadi pemantulan tersebut, sinyal yang dikirimkan akan menjadi satu dengan sinyal dari pantulan sehingga terjadi Rayleigh Fading. Untuk mengatasi multipath dapat dilakukan dengan menggunakan diversitas.

12. Diversitas

Pada sistem CDMA diversitas dilakukan untuk mengurangi fading. Diversitas yang digunakan pada sistem CDMA adalah:

1. Diversitas waktu ; atau time diversity dapat dilakukan dengan memisahkan multipath pada antena penerima berdasarkan delay-nya. Dilaksanakan dengan menggunakan interleaving simbol, deteksi error dan pengoreksi kode yang menyatakan hubungan waktu ke dalam sinyal.
2. Diversitas Frekuensi ; atau frequency diversity dilakukan dengan cara memisahkan bagian spektrum yang berbeda dari kanal fading yang berbeda juga.
3. Diversitas Lintasan ; atau path diversity diperoleh jika sinyal dipantulkan oleh benda pada lintasan. Hasil pantulan ini akan bergabung dengan sinyal langsung dan membentuk pola sinyal bergerak. Sinyal yang telah digabungkan tersebut dikunci dan dijumlahkan sehingga diperoleh sinyal yang baik.
4. Diversitas Spatial; dilakukan dengan cara menggunakan dua antena penerima yang dipisahkan oleh suatu jarak fisik tertentu. Pada saat MS bergerak maka akan dihasilkan pola sinyal puncak dan nol yang akan mengakibatkan penurunan kekuatan sinyal yang diterima. Jika salah satu antena yang diletakkan pada jarak tertentu, maka antena tersebut diluar daerah nol, sehingga dapat menerima sinyal yang lebih baik.

13. Kapasitas Sistem Selular CDMA

Penggunaan sistem CDMA pada telepon bergerak dapat meningkatkan kapasitas user /konsumen dan juga mengefisienkan spektrum frekuensi. Pada sistem ini terdapat dua macam CIRF (Co-Channel Interference Reduction Factor) yaitu faktor reduksi interferensi co-channel. Dimana q sama dengan CIRF seperti persamaan (4) dibawah ini :

$$D = q \cdot R \quad (4)$$

Adjacent CIRF merupakan CIRF yang pertama, yaitu CIRF yang ditimbulkan oleh saluran terbatas. Dimana $q_a = D/R = 2$, maksudnya sel yang berbeda dapat menggunakan ulang saluran radio yang sama.

Sedangkan CIRF yang ke dua adalah self CIRF, yaitu CIRF yang ditimbulkan oleh saluran itu

sendiri. Dimana $q_s = 1$, saluran radio yang sama dapat digunakan oleh setiap deret kode yang berbeda, namun melalui trafik yang berbeda. Effisiensi frequency reuse pada sistem CDMA lebih dapat ditingkatkan dengan penggunaan CIRF dengan nilai terkecil.

Carrier To Interference (C/I) merupakan perbandingan antara sinyal pembawa yang diterima terhadap besarnya interferensi, seperti persamaan (5) menunjukkan bahwa C/I berhubungan dengan E_b/I_o .

$$(C/I) = \frac{E_b}{I_o} \cdot \frac{R_b}{B_c}$$

$$(C/I) = \frac{E_b}{I_o} / \frac{B_c}{R_b} \quad (5)$$

Dimana :

E_b = Energi per bit
 I_o = Daya interferensi per bit
 R_b = Kecepatan bit (bit / detik)
 B_c = Bandwidth saluran radio (Hz)

14. Kapasitas CDMA Tanpa Kontrol Daya

Kapasitas CDMA dihitung berdasarkan perbandingan C/I Forward Link $(C/I)_s$ (Carrier to Interference minimum dari tiap kanal) yang diterima oleh Mobile Unit (MU) pada perbatasan dari sel CDMA disebabkan oleh 11 buah sel pengganggu dinyatakan dalam persamaan (6).

$$(C/I) = \frac{\alpha R^4}{\alpha(M-1)R^4 + \alpha 2MR^4 + \alpha 3M(2R)^4 + \alpha 6M(2,633R)^4}$$

$$(C/I) = \frac{1}{3,3123M - 1} \quad (6)$$

Dimana :

α = konstanta
 M = jumlah kanal trafik

Sedangkan kapasitas CDMA dapat dinyatakan dengan persamaan (7)

$$m = M / K \quad (7)$$

Dimana :

m = jumlah kanal per trafik sel
 K = pola frequency reuse

14.1 Kapasitas CDMA Dengan Kontrol Daya

Penggunaan daya kontrol yang baik dapat meningkatkan kapasitas pada sistem seluler CDMA. Dengan menggunakan kontrol daya

Forward link, dapat mengurangi interferensi, sehingga sinyal yang dikirimkan akan sama baiknya walaupun ada perbedaan jarak. Apabila interferensi dapat dikurangi, maka dapat meningkatkan harga M. persamaan (8) dibawah menunjukkan bila interferensi dianggap tidak ada:

$$(C/I)_s = \frac{\alpha R^{-4}}{\alpha(M-1)R^{-4}} = \frac{1}{M-1} \quad (8)$$

- Untuk $(C/I)_s = 0.032$ maka $M = 32.25$
- Untuk $(C/I)_s = 0.01792$ maka $M = 56.8$

Dengan membandingkan persamaan (6) dan persamaan (7) dapat menunjukan harga M akan meningkat apabila tidak terjadi interferensi yang berarti. Pada pengiriman sinyal interferensi tidak dapat dihindari, akan tetapi dapat dikurangi dengan menggunakan kontrol daya.

Pada perbatasan sel daya total akan dikurangi, $(C/I)_s$ yang mempunyai jarak R didekat perbatasan sel seperti persamaan (9).

$$(C/I) = \frac{P_s R^{-4}}{P_s R^{-4} \left[\frac{M-1}{2} + 2 \frac{M}{2} + 3 \frac{M}{2} (2)^{-4} + 6 \frac{M}{2} (2.633)^{-4} \right]} = \frac{1}{1.656M} \quad (9)$$

14.2 Kapasitas Selular Sistem FDMA dan TDMA

Pada sistem selular FDMA dan TDMA, kanal frekuensi dan time slot-nya menunjukkan satu panggilan. Selama Mobile Unit digunakan, maka saluran yang digunakan Mobile Unit tersebut tidak dapat digunakan oleh panggilan lainnya. Penggunaan frekuensi reuse akan menimbulkan co-channel interference.

Seperti persamaan (11) menunjukkan bahwa nilai q tergantung pada nilai K.

Apabila $q = CIRF$ dimana :

$$Q = D/R \quad (10)$$

$$q = \sqrt{3K} \quad (11)$$

Apabila dimisalkan $K=7$ maka akan didapat hasil $q = 4.6$. Dalam keadaan yang tidak baik terdapat saluran pengganggu, maka kapasitas sinyal radio adalah sebagai berikut :

$$M = \frac{Bt/Bc}{K} = \frac{M}{2/3\sqrt{(C/I)_s}} \quad (12)$$

Dimana :

Bt = Bandwidth total

Bc = Bandwidth saluran

M = Bt/Bc = jumlah saluran

(C/I) = Carrier to Interference Ratio Minimum

Persamaan di atas dapat diterapkan pada sistem analog FDMA dan pada sistem digital TDMA. Apabila dimisalkan bandwidth saluran radio pada sistem TDMA adalah 30 KHz dibagi menjadi tiga time slot, jadi masing-masingnya 10 KHz ($Bc=10$ KHz). Maka akan diperoleh $(C/I)_s$ minimum sama dengan $(C/I)_s$ dari masing-masing saluran TDMA (10 KHz).

15. Kapasitas Traffik CDMA

Pada sistem akses CDMA atau Code Division Multiple Acces dikombinasikan pemancaran secara bersama dalam satu kanal dan waktu yang bersamaan pula. Dengan cara ini maka akan mencakup lebih banyak pemakai pada saluran komunikasi. Sistem CDMA ini membedakan para pemakainya melalui suatu kode khusus pada setiap pemancaran atau transmisi. Dalam analisa pada aplikasi selular ini mempergunakan CDMA.

CDMA dikembangkan oleh Qualcomm dari Amerika Serikat. Sistem ini dapat bekerja pada frekuensi 800 MHz dan 1,9 GHz. Sesuai dengan ini metode akses yang digunakannya yaitu CDMA, CDMA ini juga memiliki dua kanal yaitu kanal maju dan kanal balik dan didalam kanal-kanal ini terdapat kanal-kanal lagi yang mengatur komunikasi atau membawa informasi. Untuk traffik dan akses, kanal-kanalnya terdapat pada kanal balik. Sedangkan pada kanal maju terdapat juga kanal traffik tetapi tidak terdapat kanal untuk akses. Kanal akses sendiri bukan suatu kanal pembicaraan tetapi merupakan kanal untuk pesan (messages).

Pada sistem CDMA juga dialokasikan dua daerah frekuensi yang masing-masing sebesar 20 MHz. Dua daerah frekuensi itu adalah :

1. 825 – 845 MHz untuk komunikasi dari Mobile ke Base
2. 870 – 890 MHz untuk komunikasi dari Base ke Mobile

Spesifikasi lain dari CDMA IS 95 adalah :

- Lebar kanal adalah 1,25 MHz
- Kecepatan pemancaran adalah 14,4 kbps
- Carrier to Interference Ratio (CIR) adalah $-13,3$ dB.

Untuk menganalisa metode akses CDMA dari sudut traffik selular akan diberikan data-data sebagai berikut :

- Spektrum yang dialokasikan: 5 MHz
- Traffik : 0,1 per pemakai
- Blocking : 2%
- Erlang per MHz : 2196 E
- Erlang per sel : 1098 E

Untuk mencari jumlah kanal yang terjadi dari data-data yang telah diberikan, maka akan dilakukan penyelesaian dengan rumus (1) dan (2). Dengan B_t 5 MHz dan B_i 14,4 kbps maka didapatkan harga G_p sebesar 25,4 dB.

Kemudian dengan memasukan nilai CIR $-13,3$ dB maka akan didapatkan E_b/I_o sebesar 12,2 dB, sehingga didapatkan nilai N yaitu 3.

Dari data dan perhitungan diatas dapat diuraikan sebagai berikut:

- Jadi dengan alokasi spektrum sebesar 5 MHz dengan kecepatan pemancaran 14,4 kbps akan diperoleh 3 kanal.
- Bila diketahui Erlang per MHz adalah 219,6 E maka untuk 1,25 MHz kepadatan traffiknya adalah :

$$\frac{1,25\text{MHz}}{1\text{MHz}} \times 219,6\text{E} = 274,5\text{E}$$

Jadi untuk harga 1,25 MHz terdapat traffik sebesar 274,5 E

- Bila diketahui Erlang per sel adalah 1098 E dan traffik 0,1 E per pemakai maka dalam 1 sel akan melayani 1098 pemakai.
- Untuk membuktikan kepadatan traffik dalam bentuk panggilan (call) dapat dilihat dari penyelesaian berikut ini

Jika diketahui Erlang per sel adalah (a) dari data CDMA diketahui nilai erlangnya sebesar 1098E, sehingga rata-rata waktu genggamnya (h) adalah 3 menit. Sedangkan jika panggilan atau call (c) terjadi dalam 1 jam (60 menit) maka dengan menggunakan rumus traffik yaitu (a) adalah = (c) x (h) dan, 1098 E sama dengan c x 3/60, sehingga (c) sebesar 21.960 panggilan

16. Kapasitas Kanal Selular CDMA

Penggunaan sistem CDMA pada komunikasi bergerak dapat meningkatkan kapasitas pada komunikasi bergerak dan juga mengefisienkan spektrum frekuensi.

Dari persamaan (5) maka, harga E_b/I_o didapat dari sinyal base band dan tergantung dari kualitas suara pada waktu Mobile Unit. Apabila dimisalkan kecepatan vecoder (pengubah sinyal suara menjadi sinyal digital) adalah 8 kbps dan bandwidth total saluran wide band adalah $B_t = 1,25$ MHz maka :

- Untuk $E_b/I_o = 7$ dB, $(C/I)_s = 0,032$

- Untuk $E_b/I_o = 4,5$ dB, $(C/I)_s = 0,01792$

Untuk menghitung kapasitas radio dari sistem CDMA digunakan sistem kontrol daya atau forward link (pengirim sinyal dari sel menuju ke Mobile Station).

Dengan persamaan (6) maka dapat dicari jumlah kanal traffik dengan perhitungan $(C/I)_s$ dengan menggunakan persamaan (5) yang dapat menentukan harga M, seperti berikut:

- Untuk $(C/I)_s = 0,032$ maka $M = 9,736$

- Untuk $(C/I)_s = 0,01792$ maka $M = 17,5$

Sedangkan untuk mencari kanal traffik per sel digunakan persamaan 7 dimana :

Apabila diketahui harga q_a (adjacent CIRF) sebesar 2 seperti pada pembahasan sebelumnya

maka didapatharga $K = \frac{q_a^2}{3} = \frac{2^2}{3} = 1,33$

Sehingga harga $m = \frac{M}{1,33}$

- Untuk $E_b/I_o = 7$ dB, dengan $(C/I)_s = 9,736$ dan M 9,736 maka akan didapat m sebesar 7,32 kanal traffik per sel

- Untuk $E_b/I_o = 4,5$ dB, dengan $(C/I)_s = 0,01792$ dan M 17,15 akan didapatkan m sebesar 12,9 kanal traffik per sel.

Jika dengan kontrol daya pada CDMA akan didapatkan analisa sebagai berikut. Dengan persamaan 8 akan didapatkan harga M, maka ;

- Untuk $(C/I)_s = 0,032$ maka $M = 32,25$.

- Untuk $(C/I)_s = 0,01792$ maka $M = 56,8$

Sebelum dilakukan pengaturan kontrol daya, harga M dan m yang didapat dari persamaan (7) dan persamaan (8) adalah sebagai berikut:

1. Untuk $(C/I)_s = 0,032$ (-15 dB) maka $M = 18,87$ dan $m = 14,19$
2. Untuk $(C/I)_s = 0,01792$ (-17 dB) maka $M = 23,7$ dan $m = 28,33$

$(C/I)_s$ yang diterima oleh Mobile Unit berjarak r_0 harus sebanding dengan $(C/I)_s$ pada persamaan (9) maka :

Power Reduction Ratio $(r_0/R)^2$ pada $(C/I)_s$ tidak boleh lebih dari 0,302 untuk Mobile Unit yang berjarak kurang dari $r_0 = 0,55R$. Jika dianggap daya terendah adalah $0,302 P_R$, maka total daya akan menjadi :

$$\begin{aligned} P_t &= P_R k \left[\frac{r_0^2}{R^2} r_1 + \frac{r_2^3}{R^2} + \frac{r_3^3}{R^2} + \dots \right] \\ &= P_R k \left[\left(\frac{r_0}{R} \right)^2 \int_0^{r_0} r dr + \int_0^R \frac{r^3}{R^2} \right] \\ &= P_R k \frac{R^2}{4} \left[1 + \left(\frac{r_0}{R} \right)^4 \right] \quad (13) \end{aligned}$$

Untuk $r_0/R = 0,55$ maka $(r_0/R)^4 = 0,0913$, dengan demikian maka didapatkan harga P_t menjadi :

$$\begin{aligned} P_t &= P_R k \left(\frac{R^2}{4} \right) \bullet 1,0913 \\ &= P_R \left(\frac{M}{2} \right) \bullet 1,0913 \end{aligned}$$

Dari hasil diatas, P_t menunjukkan daya minimum mempunyai kanal trafik $0,032 P_R$ pada sel untuk melayani Mobile Unit lebih besar dari $r_0 = 0,55 R$. Maka akan didapat harga M dan m berkurang menjadi :

1. Untuk $(C/I)_s = 0,032$ maka $M = 18,87/1,0913$ sebesar 13
2. Untuk $(C/I)_s = 0,01792$ maka $M = 33,7/1,0913$ sebesar 25,96

jika dibandingkan dengan hasil sebelum pengaturan kontrol daya dan sesudah kontrol daya maka didapat hasil perbandingan harga M dan m tidak terlalu besar.

17. Perbandingan Kapasitas Sistem CDMA

Kapasitas sistem CDMA akan dibandingkan dengan teknik multiple acces yang lain, yaitu pada sistem FDMA dan TDMA.

Bt = 1,25 MHz (total Bandwidth)
 Bss = 1,25 MHz (Bandwidth kanal CDMA)
 Bc = 30 KHz (Bandwidth FDMA)
 Bc = 30 KHz (Bandwidth tiga time slot TDMA)

Kapasitas pada sistem FDMA ;

Total jumlah kanal = $1,25 \times 10^6 / 30 \times 10^3 = 41,67$
 Pola pengulangan sel K = 7

Kapasitas radio $m_{FDMA} = 41,67/7 = 6$ kanal per sel

Kapasitas pada sistem TDMA ;

Total jumlah kanal = $1,25 \times 10^6 / 10 \times 10^3 = 125$
 Pola pengulangan sel K = 4

Kapasitas radio $m_{TDMA} = 125/4 = 31,25$ kanal per sel

Kapasitas pada sistem CDMA :

Total jumlah kanal = 13

Pola pengulangan sel = 1,33

Didapat dari hasil $(C/I)_s = 0,032$ sesudah pengaturan kontrol daya.

Untuk $E_b/I_0 = 7$ dB ditambah voice activity cycle dan sektorisasi maka;

Kapasitas radio $m_{CDMA} = 13 \times 3 \times 3 = 120$ kanal per sel

Apabila dibandingkan ketiga teknik multiple acces diatas maka didapat hasil bahwa kapasitas sistem CDMA lebih besar dibandingkan dengan sistem FDMA dan sistem TDMA.

$$\begin{aligned} m_{CDMA} &= 20 \times m_{FDMA} \\ &= 4 \times m_{TDMA} \end{aligned}$$

Dengan beberapa kelebihan yang dimiliki sistem CDMA, merupakan suatu peluang yang baik untuk pemanfaatan pada sistem komunikasi bergerak. Pada sistem CDMA tidak ditemukan adanya guard band atau guard time seperti pada sistem FDMA dan TDMA, sehingga pada sistem CDMA tidak terjadi overlapp. Hal ini berhubungan penggunaan frequency reuse pada sistem CDMA sangat efisien.

Efisiensi penggunaan frequency reuse ini disebabkan pada sistem CDMA merupakan suatu sistem yang menggunakan kode deret acak atau kode PN, yang menyebabkan kapasitas menjadi lebih besar, karena dengan frekuensi sama maka tidak diperlukan alokasi yang lain. Bahkan setiap

Mobile Station dapat menggunakan seluruh lebar pita frekuensi yang tersedia.

Dengan lebar bandwidth 1,25 MHz pada sistem CDMA, semua sel yang ada dapat menggunakan seluruh spektrum frekuensi yang tersedia secara bersamaan, tanpa ada gangguan satu dengan lainnya. Hal tersebut tidak akan dipengaruhi oleh jauh atau dekatnya jarak antara sel satu dengan sel lain. Pada sistem FDMA dan TDMA penggunaan frequency reuse tidak seperti pada sistem CDMA, dengan satu saluran dapat digunakan frekuensi yang sama sehingga tidak memerlukan pengaturan frekuensi.

Dengan kode PN pada sistem CDMA juga mempunyai sifat kerahasiaan yang baik dengan pemakaian kode PN pada sistem CDMA. Pada sistem CDMA tersedia 4,4 milyar kode yang dapat dipakai untuk setiap Mobile Station yang menggunakannya. Masing-masing kode tersebut hanya diketahui oleh Mobile Station yang menggunakannya, sehingga Mobile Station yang lain tidak dapat menggunakannya. Maka komunikasi yang sedang berlangsung akan terjaga dengan baik. Selain itu juga dengan kode PN maka sistem CDMA mempunyai kemampuan akses jamak yaitu setiap Mobile Station dapat mengirimkan sinyal secara simultan, baik itu dalam waktu maupun frekuensi yang sama.

Soft Handoff pada sistem CDMA juga merupakan salah satu kelebihan dari sistem CDMA, dengan ini lebih dapat menjaga komunikasi berjalan dengan lancar. Hal tersebut dapat diketahui pada saat terjadi suatu panggilan dari sebuah Mobile Station, maka panggilan tersebut akan dilayani tidak hanya oleh satu sel melainkan juga oleh sel lain yang berdekatan dengan Mobile Station tersebut. Sedangkan pada sistem FDMA dan TDMA tidak menggunakan soft handoff, melainkan hard handoff, sehingga kemungkinan untuk terjadinya dropped call akan lebih besar.

Pada sistem CDMA sinyal informasi dikirimkan melalui sinyal derau yang lebar sinyalnya lebih besar dari sinyal informasi yang dikirimkan, sehingga sinyal informasi dapat disembunyikan. Dengan ini dapat mengurangi jamming.

Sedangkan dengan kontrol daya pada sistem CDMA dapat mengatasi masalah near-far dan juga dapat mengurangi interferensi. Masalah near-far dapat diatasi dengan mengatur sinyal

yang dikirimkan dapat sama diterima walaupun jaraknya berbeda, hal tersebut dapat dilakukan dengan menggunakan sistem kontrol daya forward link. Pada sistem FDMA dan TDMA kontrol daya tidak dapat meningkatkan kapasitas, tetapi dapat mengurangi interferensi dan juga dapat mengatasi masalah near-far.

Pada sistem FDMA dan TDMA, sektorisasi digunakan untuk mengurangi interferensi. dengan cara menggunakan antena berarah, sehingga sel dapat dibagi menjadi beberapa sektor yang mempunyai sejumlah kanal atau frekuensi dan dapat meningkatkan kapasitas. Dengan sektorisasi pada sistem CDMA dapat meningkatkan kapasitas menjadi tiga kali lebih besar.

KESIMPULAN

1. Dengan kode PN pada CDMA, mempunyai tingkat kerahasiaan yang baik, juga dengan kode PN, penggunaan ulang frekuensi atau frequency reuse akan lebih efisien dan tidak perlu pengaturan frekuensi.
2. Kontrol daya dapat mengatasi masalah near-far, sehingga sinyal yang dikirimkan untuk Mobile Station yang dekat dengan Mobile Station yang jauh pada satu sel dapat diterima sama baiknya. Juga dengan kontrol daya forward link dapat mengurangi interferensi.
3. Kapasitas CDMA dapat ditingkatkan menjadi tiga kali dengan sektorisasi.
4. Sistem CDMA mempunyai kapasitas lebih besar dibandingkan dengan sistem FDMA, TDMA. Kombinasi sistem FDMA, sistem CDMA akan mempunyai kapasitas 20 kali lebih besar. Sedangkan dengan sistem TDMA sistem CDMA mempunyai kapasitas 4 kali lebih besar.

DAFTAR PUSTAKA

1. Garg, Vijay K, Smolik, Kennet and Wilkes, Joseph E, *Application of CDMA In Wireless/Personal Communication*, Prentice Hall, New york, 1997
2. Gilsic, Savo G and L.A, Pentti, *Code Division Multiple Acces Communication*, Kluwer Academic Publisher, Boston, 1995
3. Huntoro, Gunadi D, *Trend Teknologi Wireless Pada Bidang Telekomunikasi*, GEMATEL No 05 /XXVIII, 1997
4. IGN Setyawan SN, *Pengantar Spread Spectrum, Makalah Sistem Komunikasi Radio Digital (EL- 473)*, ITB Bandung

5. Lee William C.Y, *Mobile Communication Design Fundamental*, Mc Graw Hill, New York, 1993
6. Lee William C.Y, *Mobile Cellular Telecommunication Syatem*, Mc Graw Hill, New York, 1995
7. Mimi Darmawan, *Handoff dalam Sistem Komunikasi wireless*, GEMATEL No 06 / XXVIII. 1997
8. Prasad Ramjee, *CDMA For Wireless Personal Communication*, Artech House Publisher, Boston, London, 1996
9. Qualcomm, *CDMA one Conepts and Terminologi*, Qualcomm Inc, San Diego, CA, USA, 1997
10. Qualcomm, *CDMA Vs GSM*, Qualcomm Inc, San Diego, CA, USA, 1997
11. Robert G, *Winch, Telecommunication Transmission System*, Mc Graw Hill International Edition, 1993
12. Raymond Steele, *Mobile system Engginering*, Artech House Publisher Boston London, 1992
13. Saleh Faraque, *Cellular Mobile System Engginering*, Artech House Publisher Boston London 1996.

PENULIS.

1. Waryani, ST., Dosen Tetap Teknik Elektro - Fakultas Teknik, Universitas Pakuan Bogor.
2. Adil Amin Sjafri, Ir, MPd., Dosen Tetap Teknik Elektro - Fakultas Teknik , Universitas Pakuan Bogor.