

BAB II

DASAR TEORI

2.1 Definisi Teknik *Multiple Access*

Konsep dasar dari teknik *multiple access* yaitu memungkinkan suatu titik dapat diakses oleh beberapa titik yang saling berjauhan dengan tidak saling mengganggu. Teknik *multiple access* mempunyai arti bagaimana suatu spektrum radio dibagi menjadi kanal-kanal dan bagaimana kanal-kanal tersebut dialokasikan untuk pelanggan sebanyak-banyaknya dalam satu sistem. CDMA merupakan teknologi *multiple access* yang membedakan satu pengguna dengan pengguna lainnya menggunakan kode-kode khusus dalam lebar pita frekuensi yang ditentukan. Sistem CDMA merupakan pengembangan dari dua sistem *multiple access* sebelumnya. CDMA memiliki konsep *multiple access* yang berbeda dengan *Frequency Time Division Multiple Access* (FDMA) dan *Time Division Multiple Access* (TDMA) karena sistem ini memanfaatkan kode-kode digital yang spesifik untuk membedakan satu pengguna dengan pengguna lainnya.

2.1.1 *Frequency Division Multiple Access* (FDMA)

Sistem selular ini menggunakan sistem pengkalan dengan pita 30 kHz setiap kanalnya, sistem ini dikenal sebagai sistem FDMA (*Frequency Division Multiple Access*). Untuk memaksimalkan kapasitas, sistem selular FDMA menggunakan antena berarah dan sistem *reuse frequency* yang rumit. Pada teknik FDMA, lebar pita frekuensi yang dialokasikan dibagi menjadi bagian-bagian kecil spektrum frekuensi. Kemudian setiap user diberi alokasi pita frekuensi tersebut selama melakukan proses percakapan, sehingga dalam waktu yang sama hanya satu user yang dapat menggunakan frekuensi tersebut. Teknologi FDMA ini digunakan pada sistem analog seperti AMPS dan TACS.

2.1.2 Time Division Multiple Access (TDMA)

Untuk lebih meningkatkan kapasitas, digunakan sistem akses jamak digital yang disebut TDMA (Time Division Multiple Access). Sistem ini menggunakan pengkalan dan reuse frequency yang sama dengan sistem FDMA dengan tambahan elemen time sharing. Setiap kanal dipakai bersama oleh beberapa user menurut slot waktunya masing-masing. Karena itu, aliran informasi pada TDMA tidak kontiniu atau terpotong-potong pada tiap time slotnya. Ditinjau dari lebar pita frekuensi yang digunakan. TDMA dibagi menjadi wideband TDMA dan narrowband TDMA.

a. Wideband TDMA (WTDMA)

Wideband TDMA menggunakan seluruh frekuensi yang tersedia dan membaginya ke dalam slot-slot waktu. Dalam WTDMA ini, tranceiver yang dibutuhkan hanya satu. Data yang dikirimkan dalam bentuk letupan-letupan pendek dengan kecepatan tinggi. Kelemahan WTDMA adalah karena kecepatan transmisi yang tinggi, maka sistem akan rentan terhadap error yang disebabkan oleh distorsi lintas jamak, yang biasa terjadi pada sistem komunikasi bergerak.

b. Narrowband TDMA (NTDMA)

Teknik NTDMA merupakan gabungan antara FDMA dan WTDMA. Contoh penggunaan NTDMA misalnya pada GSM.

2.1.3 Code Devision Multiple Access (CDMA)

Code Devision Multiple Access (CDMA) merupakan salah satu teknik *multiple access* yang banyak diaplikasikan untuk seluler maupun *fixed wireless*. Teknik akses jamak ini berdasarkan teknik komunikasi spektrum tersebar, pada kanal frekuensi yang sama dan dalam waktu yang sama digunakan kode-kode yang unik untuk mengidentifikasi masing-masing user. CDMA menggunakan kode-kode korelatif untuk membedakan satu user dengan user yang lain. Kode tersebut dikenal dengan pseudo acak (pseudorandom). Sinyal-sinyal CDMA itu pada penerima dipisahkan dengan menggunakan sebuah korelator yang hanya melakukan proses despreading spektrum pada sinyal yang sesuai. Sinyal-sinyal lain yang kodenya tidak

cocok, tidak didespread dan sebagai hasilnya sinyal-sinyal lain itu hanya menjadi noise interferensi.

Ditinjau dari lebar pita frekuensi yang digunakan, CDMA terbagi menjadi NCDMA dan WCDMA.

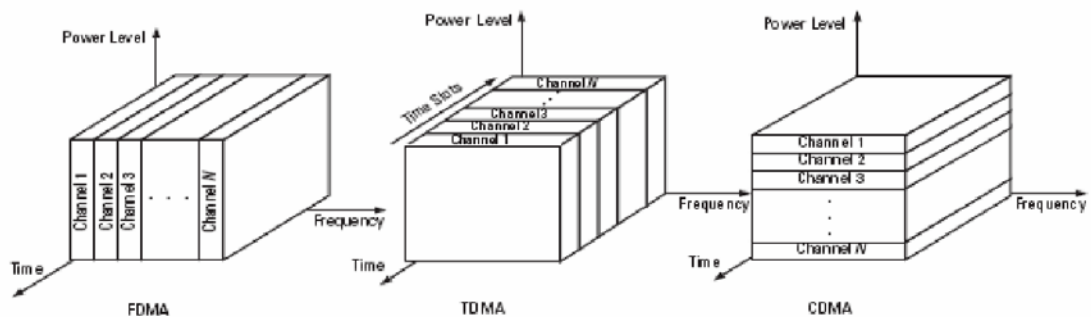
a. Narrowband CDMA (NCDMA)

Saat ini standard dari NCDMA adalah IS-95, yang menggunakan spektrum dengan lebar 25 MHz yang dibagi dalam 20 kanal dupleks. Sehingga masing-masing kanal mempunyai lebar 1,25 MHz.

b. Wideband CDMA (WCDMA)

WCDMA menggunakan lebar pita frekuensi 5 MHz, 10 MHz dan 15 MHz pada standard IS-665. Dengan makin lebar spektrum yang digunakan, maka banyak keuntungan yang diperoleh seperti efek fading lintas jamak jauh lebih kecil, kecepatan data dapat meningkat tajam dan lain-lain (Gatot Santoso, 2004).

Perbandingan antara FDMA, TDMA dan CDMA dapat ditunjukkan dengan gambar 2.1.



Sumber : TDD-CDMA for wireless communications.

Gambar 2.1 Perbandingan antara FDMA, TDMA dan CDMA

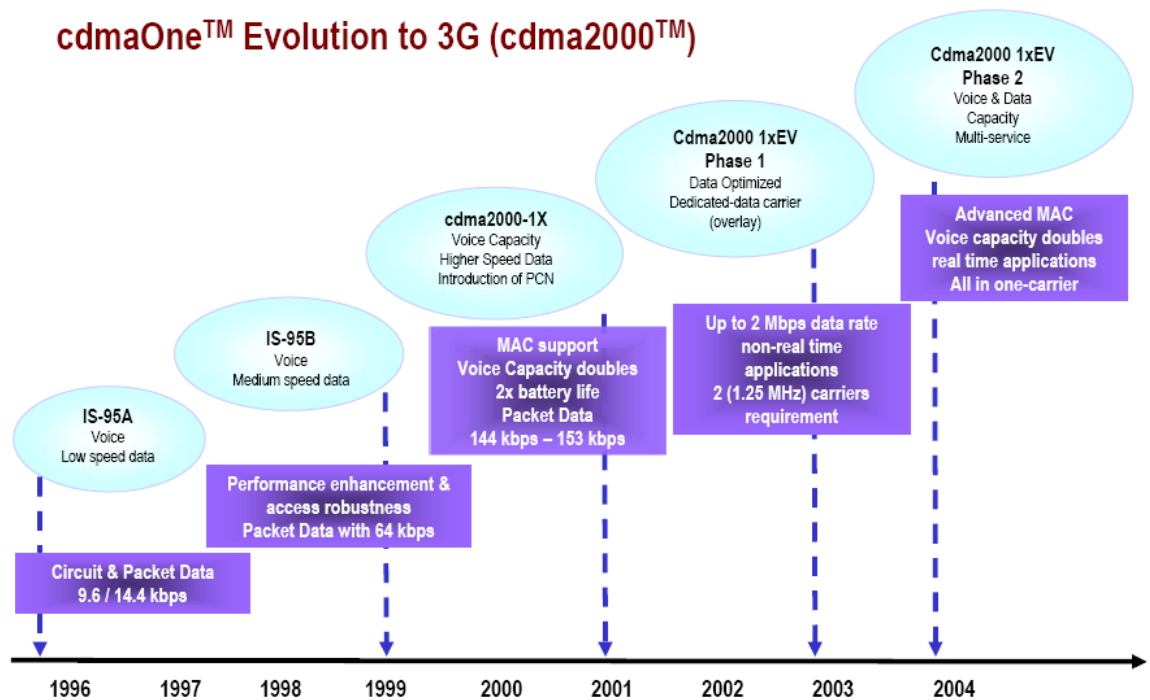
2.2 Konsep Dasar Sistem CDMA2000 1x

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 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 CDMA2000 1x mengalami beberapa pengembangan seperti kontrol daya yang lebih baik, *uplink pilot channel*, teknik *vocoder* baru, pengembangan kode Walsh serta perubahan skema modulasi. Sedangkan pada sisi arsitektur jaringan terdapat *Base Station Controller* (BSC) dengan kemampuan *IP Routing*, *BTS multimode* serta *PDSN* (Packet Data Serving Node).

Berikut perkembangan CDMA menuju 3G,



Sumber : Teknologi *wireless* CDMA2000-1x (Telkom Training Center)

Gambar 2.2 Perkembangan Teknologi CDMA

2.2.1 Arsitektur Jaringan CDMA2000 1x

Skema struktur jaringan CDMA2000 1x secara umum terdiri dari :

2.2.1.1. *User terminal*, terdiri dari komponen-komponen sebagai berikut :

- *Fixed terminal*.
- *Portable / Mobile Station (MS)*

Untuk membentuk dan memelihara hubungan baik *voice* maupun data. Pembentukan hubungan dilakukan dengan meminta kanal radio dari *Access Network (AN)*. Setelah terbentuk, MS bertanggung jawab menjaga kanal radio dan melakukan *buffer packet* bila kanal radio sedang tidak tersedia. Pada saat dinyalakan, MS secara otomatis melakukan registrasi ke *Home Location Register*.

2.2.1.2. *Radio Access Network (RAN)*, terdiri dari beberapa komponen berikut :

- *Base Transceiver Station (BTS)*

BTS merupakan bagian penting dalam *cell site*, yang berfungsi mengalokasikan frekuensi dan daya serta kode *walsh* yang akan digunakan oleh *user*. BTS memiliki peralatan fisik radio yang digunakan untuk mentransmisikan dan menerima sinyal CDMA2000 ke *user* dan sebaliknya. Beberapa fungsi lainnya yang dilakukan oleh BTS yaitu mengontrol frekuensi pembawa pada sel, mengatur alokasi daya untuk *traffic overhead* dan *soft handoff* pada arah *forward* dan mengenali kode-kode *walsh*.

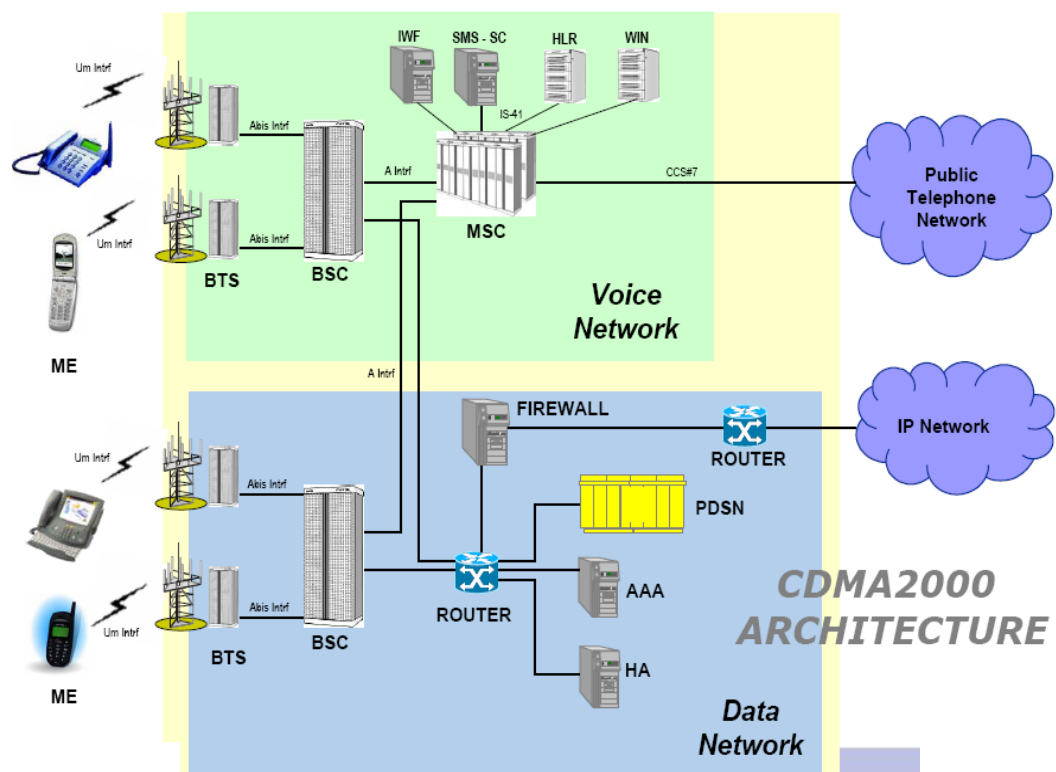
- *Base Station Controller (BSC)*

BSC berfungsi Mendukung kontrol terhadap *call processing* ; *call setup* atau *call*, Melakukan kontrol terhadap proses *soft*, *softer* atau *hard handoff*, Melakukan kontrol terhadap *transmit power* MS, *Interface* ke *Mobile Switching Center (MSC)*.

BSC bertanggung jawab juga 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.



Sumber : modul-1 cdma2000-1x overview (Telkom Training Center)

Gambar 2.3 Arsitektur Jaringan CDMA2000 1x

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

- *Mobile Switching Center (MSC)*

MSC atau sering juga disebut sebagai *interface* antara *Base Station Controller (BSC)* dengan *Public Switched Telephone Network (PSTN)* di jaringan data *Integrated Services Digital Network (ISDN)* melalui *gateway MSC (G-MSC)*, mempunyai beberapa kegunaan sebagai berikut :

- a. Mengatur komunikasi diantara pelanggan seluler dengan pelanggan jaringan telekomunikasi lainnya.
 - b. Melakukan koordinasi *setting-up* panggilan dari dan keluar *user* seluler.
 - c. Merupakan pusat dari sistem radio seluler.
 - d. Mengatur panggilan baik *originating* maupun *terminating calls*.
 - e. Bertanggung jawab untuk *set-up*, *routing*, informasi *accounting*, kontrol dan terminasi panggilan.
- *Home Location Register (HLR)*
HLR merupakan *database* yang berisi *management* dari MS yang menyimpan seluruh data *user* seperti lokasi *user*, dan *shared secret data (SSD)* semua *user*. HLR merupakan pusat Autentifikasi (AuC) dan pusat penyimpanan *Electronic Serial Number (ESN)* setiap *user* yang sudah melakukan registrasi.
 - *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.

2.2.1.4 *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 autorisasi 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.

2.2.2 Model Kanal pada Sistem CDMA2000 1x

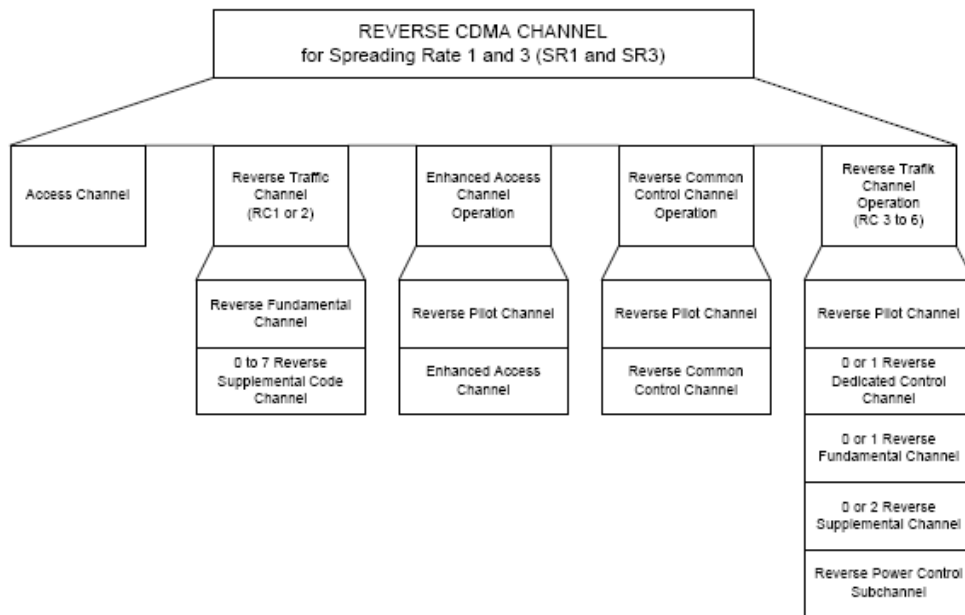
Struktur kanal pada CDMA2000 1x terbagi menjadi dua arah yaitu kanal *reverse* yang arahnya dari MS ke BTS dan kanal *forward* yang arahnya dari BTS ke MS. Gambar dibawah menunjukkan struktur kanal *forward* dan kanal *reverse* untuk sistem CDMA2000 1x.

2.2.2.1 Kanal Reverse

Perbedaan utama struktur kanal *reverse* pada sistem IS-95 dan CDMA2000 1x adalah adanya kanal pilot yang memungkinkan demodulasi secara koheren dan menyediakan informasi *power control*.

Pelanggan pada arah *reverse* dipisahkan dengan pembedaan *time offset* dari suatu kode panjang (*long code*) dengan panjang $2^{42}-1$ *chips*. Kode panjang ini dihasilkan oleh suatu *generator* PN dengan masukan 42 bit dan laju kode 1,2288 Mcps. Untuk mengantisipasi terjadinya *multipath* dan *delay*, maka *time offset* antar kode dipisahkan minimal sebesar 64 *chips*. Sedangkan kanal-kanal pada arah *reverse* dibedakan dengan menggunakan kode Walsh yang ortogonal.

Berikut ini struktur kanal yang ditransmisikan oleh MS pada arah *reverse* :



Sumber : Teknologi *wireless* CDMA2000-1x (Telkom Training Center)

Gambar 2.4 Struktur Kanal *Reverse* yang ditransmisikan oleh MS

Kanal-kanal yang ditransmisikan pada arah *reverse* dapat dikategorikan menjadi :

1. *Common Channels* yang menyediakan hubungan antara BTS dengan beberapa MS (*point to multipoint*) yang terdiri dari :

- *Access Channel (R-ACH)*

Access Channel berfungsi untuk menyediakan komunikasi dari MS ke BTS pada saat MS tidak sedang menggunakan *traffic channel*. Fungsi utama *access channel* adalah untuk merespon *paging channel* dan pengalamanan panggilan.

- *Enhanced Access Channel (R-EACH)*

Enhanced Access Channel merupakan pengembangan dari *access channel* yang mampu meminimalisasi terjadinya tabrakan serta mengurangi daya yang dibutuhkan oleh *access channel*.

- *Reverse Common Control Channel*

Kanal ini digunakan untuk mengirim *signalling message* dari MS ke BTS.

2. *Dedicated Channel* yang dialokasikan bagi setiap MS (*point to point*) dan terdiri dari :

- *Reverse Pilot Channel (R-PICH)*

Kanal pilot ini berfungsi sebagai pilot yang memungkinkan deteksi koheren pada arah *reverse* dan memungkinkan MS berkomunikasi pada level daya yang lebih rendah dengan cara menginformasikan pada BS level daya yang telah diterima sehingga BS dapat mengatur kembali daya pancarnya.

- *Reverse Dedicated Control Channel (R-DCCCH)*

Kanal ini bertujuan untuk menggantikan metode *dim* and *burst* serta *blank and burst* pada *traffic channel* dan digunakan untuk mengirimkan pesan serta mengontrol panggilan.

- *Reverse Fundamental Channel (R-FCH)*

Kanal ini digunakan untuk mengakomodasi layanan suara dan data berkecepatan rendah, yaitu 9,6 kbps (rate set 1) dan 14,4 kbps (rate set 2).

- *Reverse Supplemental Channels (R-SCH)*

Kanal ini digunakan untuk mengakomodasi layanan dengan *data rate* yang lebih besar dari 9,6 kbps dan 14,4 kbps serta diterapkan pada *radio configuration* 3 sampai 6 yang memiliki skema modulasi, *coding*, dan *vocoder* yang berbeda-beda.

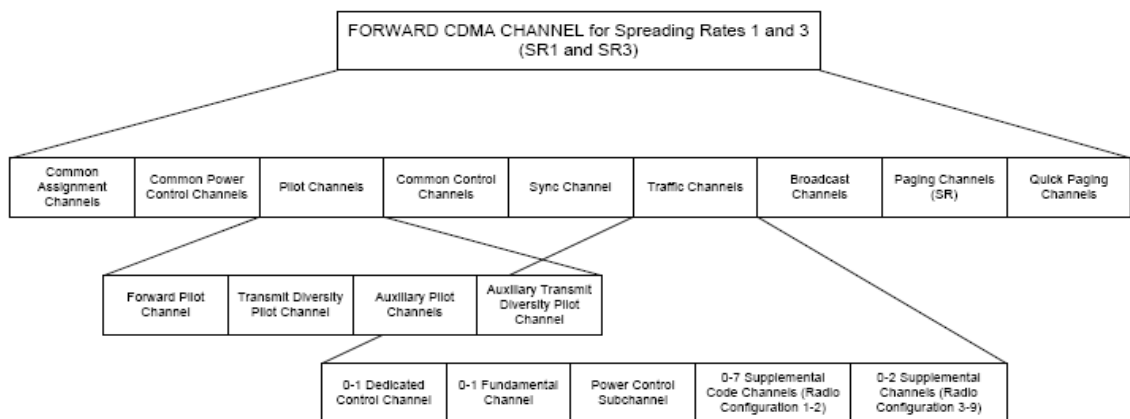
- *Reverse Supplemental Code Channels (R-SCCH)*

Fungsi kanal ini hampir sama dengan *Reverse Supplemental Channels* hanya saja digunakan pada *radio configuration* 1 dan 2 yang didesain agar kompatibel dengan sistem CDMA IS-95.

2.2.2.2. **Kanal Forward**

Berikut ini struktur kanal yang ditransmisikan oleh BS pada arah *forward* dimana

masing-masing kanal menggunakan kode Walsh dan saling ortogonal :



Sumber : Teknologi *wireless* CDMA2000-1x (Telkom Training Center)

Gambar 2.5 Struktur Kanal *Forward* yang ditransmitkan oleh BTS

Sebagaimana pada arah *reverse*, kanal-kanal yang ditransmitkan pada arah *forward* dapat dikategorikan menjadi :

1. *Forward Common Channel* yang terdiri dari :

- *Forward Pilot Channel* (F-PICH)

Forward Pilot Channel secara kontinu memancarkan informasi frekuensi dan fasa ke seluruh MS yang berada dalam sel tersebut dengan menggunakan kode penyebar yang sama yaitu kode Walsh ke-0 yang dimodulasi dengan kode pendek (*short code*) tetapi dengan *time offset* yang berbeda untuk membedakan *pilot channel* dari sel / sektor tertentu. Untuk menjamin deteksi fasa dan referensi frekuensi pembawa yang akurat, maka *pilot channel* ini ditransmisikan dengan level daya yang relatif lebih besar dari pada kanal-kanal lainnya.

- *Forward Common Auxiliary Pilot* (F-CAPICH)

Forward Common Auxiliary Pilot diarahkan pada *spot beam* tertentu agar dapat meningkatkan kapasitas, luas daerah cakupan, serta performansi beberapa *mobile station* dalam *spot beam* yang sama.

- *Forward Sync Channel* (F-SYNC)

Kanal ini digunakan pada daerah tertentu dari suatu BTS untuk mendapatkan sinkronisasi waktu dan menentukan lokasi kanal *paging*.

- *Forward Paging Channel* (F-PCH)

Kanal *paging* digunakan untuk mengirimkan pengontrolan informasi dan pesan *paging*. F-PCH membawa pesan *overhead*, *pages*, *acknowledgements*, *channel assignment*, status permintaan dan *shared secret data* (SSD) dari BTS ke MS.

- *Forward Common Control Channel* (F-CCCH)

Kanal ini digunakan untuk *signalling messages* dari MS ke BTS dan dapat beroperasi pada *data rate* 9,6 kbps; 19,2 kbps; atau 38,4 kbps dengan panjang *frame* yang berbeda-beda.

2. *Forward Dedicated Channel* terdiri dari *Forward Fundamental Channel* (F-FCH) dan *Forward Supplemental Channel* (F-SCH) yang fungsinya sama dengan *Reverse Fundamental Channel* (R-FCH) dan *Reverse Supplemental Channel* (R-SCH).

2.2.2.3 Performansi Teoritis Kanal Reverse CDMA

Sepanjang perbandingan sinyal terhadap interferensi untuk masing-masing user cukup, para user akan mempunyai kualitas suara yang baik, tetapi kualitas suara itu akan menurun apabila jumlah user ditambahkan pada kanal, jadi penambahan user akan menurunkan perbandingan sinyal terhadap noise untuk semua pemakai. Analisis kasus terbaik dapat dilakukan dengan asumsi hanya ada satu sel, dan power control bekerja dengan ideal sehingga semua sinyal tiba di base station dengan kuat yang sama. Dapat ditentukan perbandingan sinyal terhadap noise sebagai fungsi jumlah user.

1. Perbandingan sinyal terhadap noise, E_b / N_t , berhubungan dengan perbandingan sinyal terhadap interferensi keluaran. Jika A_i adalah amplitudo sinyal yang diinginkan, A_i adalah amplitudo dari sinyal interferensi dari user i , E_b adalah energi bit terima, dan N_t adalah kerapatan spektral noise total.

$$\frac{E_b}{N_t} = \frac{\frac{A_1^2 T_b}{2}}{N_o + \sum_{i=2}^M \frac{A_i^2}{3} T_c} = \frac{\frac{A_1^2}{2}}{N_o \frac{1}{T_b} + \left(\sum_{i=2}^M \frac{A_i^2}{3} \right) \frac{T_c}{T_b}} = \frac{\frac{A_1^2}{2}}{\left(\sum_{i=2}^M \frac{A_i^2}{3} \right) \frac{T_c}{T_b}}$$

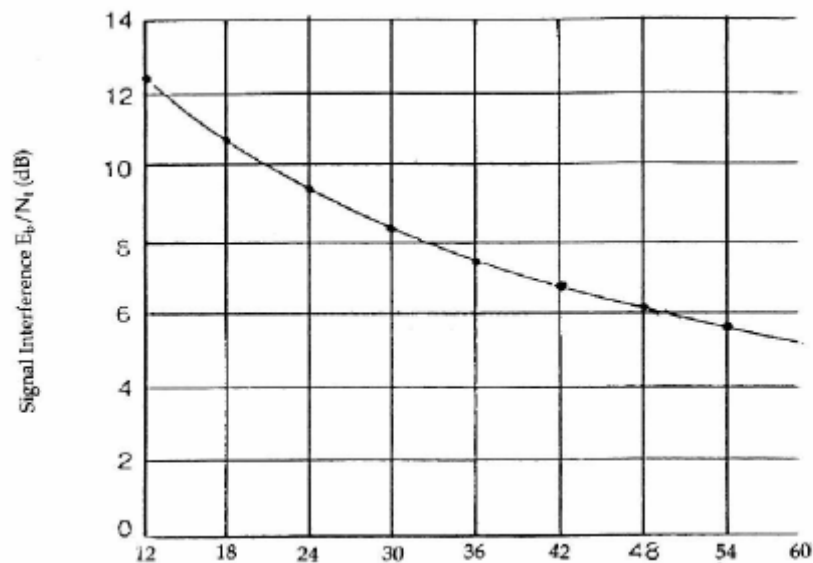
$$= \frac{\text{daya sinyal}}{\text{daya interferensi} / G} \quad (2.1)$$

pada persamaan di atas harga N_o diabaikan. Dapat dilihat bahwa semua daya interferensi dikurangi oleh adanya processing gain, $G = T_b/T_c = \text{durasi bit} / \text{durasi chip}$.

2. Apabila diasumsikan level daya semua user adalah sama, $A_i = A_j$, sehingga:

$$\frac{E_b}{N_t} = \frac{A_1^2 T_b / 2}{(M-1) \frac{A_1^2}{3} T_c} = \frac{3G}{2(M-1)} \quad (2.2)$$

Gambar 2.6 menunjukkan perbandingan E_b / N_t terhadap jumlah user untuk nilai $G = 128$.



Sumber : Sistem selular CDMA

Gambar 2.6 Performansi teoritis kanal reverse dengan modulasi BPSK

Dalam sistem digital, seperti TDMA maupun CDMA, speech dikodekan menjadi data digital yang disebut frame, durasi frame ini 20 ms. Frame ini dipancarkan dan kemudian didekodekan kembali menjadi sinyal speech pada penerima. Kualitas dari proses dekode merupakan fungsi perbandingan sinyal terhadap interferensi dari frame yang diterima, apabila perbandingan sinyal terhadap interferensi menurun, kemungkinan untuk memperoleh frame yang salah meningkat. Pada prakteknya, untuk perbandingan sinyal terhadap interferensi sekitar 6 dB akan diperoleh FER (frame error rate) sekitar 1%, dan untuk perbandingan sinyal terhadap interferensi sekitar 2-3 dB, akan diperoleh FER sekitar 70%. Kualitas suara yang diperoleh berhubungan langsung dengan FER ini. Dalam prakteknya perbandingan sinyal terhadap noise yang lebih besar dari 6 dB sudah dapat diterima user (Gatot Santoso, 2004)

2.3 Kapasitas Sistem CDMA2000 1x

Kapasitas didefinisikan sebagai jumlah *user* yang bisa ditampung oleh sebuah *cell site* dengan harga QoS/GOS yang memadai. Kapasitas dalam sistem CDMA2000 1x akan sangat tergantung pada interferensi dalam sistem itu sendiri. Penambahan jumlah *user* dalam sistem juga akan menambah level interferensi dalam sistem. Setiap penambahan kapasitas atau bertambahnya interferensi akan menurunkan kualitas sinyal suara dalam batas tertentu. Sehingga bila kapasitas ditingkatkan maka akan berpengaruh pada kualitas sinyal suara, jadi perlu diatur agar kualitas tetap tinggi tanpa banyak mengurangi kapasitas. Dengan demikian terdapat *trade off* antara kualitas dan kapasitas yang diakses. Fenomena ini disebut dengan *soft capacity*. *Soft capacity* merupakan hal yang menguntungkan terutama untuk menghindari *dropp call* pada saat terjadi *handoff*.

Sistem CDMA menggunakan *Universal Frequency Reuse*, artinya *bandwidth* di *share* untuk semua sel sedangkan transmisinya akan dibedakan dengan suatu *spreading sequence* yang unik, dan dalam perencanaannya harus dipikirkan pula mengenai *Multiple Access Inteference* (MAI) yang berasal dari *user* dari sel-sel

didekatnya. Teknik mengurangi *multiple access interference* dijabarkan sebagai *gain* kapasitas.

Beberapa parameter yang mempengaruhi kapasitas adalah sebagai berikut :

2.3.1 Voice Activity

Sejak sistem CDMA menggunakan *speech coding*, maka MAI dapat dikurangi dengan deteksi *voice activity* sepanjang *variable speech transmission*. Teknik ini akan mengurangi *rate* dari *speech coder* saat periode *silent/diam* yang dideteksi dalam *speech waveform*. *Voice activity* juga menjadi keuntungan bagi sistem akses jamak lainnya.

Normalnya, jika kita sedang melakukan percakapan di telepon, maka dalam suatu saat hanya ada satu orang saja yang berbicara. Fenomena ini dapat dimonitor pada sistem seluler. Oleh karena itu pada saat periode diam, *power* dapat dikurangi. Sehingga daya dapat dihemat dan pengaruh terhadap interferensi juga sedikit. Dengan begitu kapasitas sistem bisa dimaksimalkan.

Berdasarkan pengamatan di lapangan, ternyata *voice activity* sekitar 3/8 atau 25% saja dari percakapan yang dilakukan. Secara teori, *voice activity* $\varpi = 3/8$ dapat dimasukkan dalam persamaan E_b/N_o , yaitu sebagai berikut :

$$E_b / N_o = \frac{G}{(N-1)\varpi + \frac{\alpha}{S}} \quad (2.3)$$

Dengan estimasi *voice activity* 3/8, maka akan dapat menaikkan kapasitas sebesar 8/3 kalinya.

2.3.2 Sectorized Cells

Sel *sectoring* juga merupakan metode yang cukup efektif untuk mengurangi MAI, karena setiap sektor menggunakan antena *directional*. Sektorisasi pada antena adalah pengarahan daya pancar antena BTS pada arah tertentu. Pengarahan antena ini bergantung dari kebutuhan. Sektorisasi dilakukan berdasarkan kepadatan trafik.

Biasanya sektorisasi 60° dan 120°, untuk sektorisasi 60° maka pengarahannya menuju enam arah dan sektorisasi 120° menuju tiga arah (Nurain Silalahi, 2003).

Macam-macam konfigurasi sel :

o *Omni directional* adalah pemancaran sinyal ke segala arah oleh sebuah BTS pada suatu sel.

Kelebihan : mudah diplikasikan

Kekurangan : kemungkinan terjadi interferensi lebih besar

o Sektorisasi

- 60° : suatu daerah cakupan sel dibagi menjadi 6 daerah yang sama besar.

Kelebihan : kemungkinan interferensi kecil

Kekurangan : *delay* propagasi paling besar

- 120° : suatu daerah cakupan sel dibagi menjadi 3 daerah yang sama besar.

Kelebihan : *delay* propagasi lebih kecil.

Kekurangan : interferensi lebih mungkin terjadi.



Gambar 2.7 Sektorisasi

2.3.3 Handoff

Air interface pada sistem CDMA2000 1x menyediakan kemampuan untuk *handoff* baik untuk *voice service* maupun *data service*, dan juga untuk *service* yang *di-handle* oleh sistem IS-95 ke sistem IS-2000 ataupun sebaliknya dari IS-2000 ke

sistem IS-95. *Handoff* adalah suatu peristiwa perpindahan kanal yang digunakan MS tanpa terjadinya pemutusan hubungan dan tanpa melalui campur tangan dari pemakai. Peristiwa *handoff* terjadi karena pergerakan MS keluar dari cakupan sel asal dan masuk cakupan sel baru (Mufti, 2000).

Terdapat tiga macam *handoff* yang diterapkan pada sistem berbasis CDMA2000 1x:

1. *Soft Handoff*

Merupakan *handoff* yang terjadi antar sel dengan frekuensi pembawa yang sama, dimana MS memulai komunikasi dan membentuk hubungan dengan BTS yang baru terlebih dahulu sebelum memutuskan hubungan dengan BTS asal. Hubungan akan diputuskan jika proses penyambungan dengan BTS yang baru telah mantap untuk menghindari *drop call*. Metode pembentukan hubungan (kanal) baru terlebih dahulu sebelum memutuskan hubungan (kanal) lama ini dikenal dengan istilah *make before break*.

2. *Softer Handoff*

Handoff yang terjadi antar sektor dalam satu sel dengan frekuensi pembawa dan BTS yang sama. *Handoff* ini juga berbasis pada metode *make before break*.

3. *Hard Handoff*

Tipe ini menggunakan metode *break before make* yang berarti harus terjadi pemutusan hubungan dengan kanal trafik lama sebelum terjadi hubungan baru. *Hard handoff* terjadi pada sistem *dual mode* dimana sistem akses radio CDMA2000 1x dioperasikan bersama-sama dengan sistem akses radio lainnya seperti CDMA IS-95 atau AMPS. Selain itu juga antara sektor atau sel dengan frekuensi pembawa yang berbeda.

2.3.3.1 **Pilot sets**

Pilot atau kanal pilot diidentifikasi oleh *pilot offset* dari penempatan frekuensi. Kanal inilah yang menjadi acuan dalam penentuan kondisi *handoff*. Pilot diidentifikasi oleh MS dan dikategorikan menjadi empat grup :

- *Active Set*, adalah pilot yang dikirimkan oleh BTS dimana MS tersebut aktif. Banyaknya pilot yang termasuk kategori ini tergantung pada banyaknya komponen penerima RAKE. BS menginformasikan isi *active set* dengan *channel assignment message* atau *handoff direction message*.
- *Candidate Set*, terdiri dari pilot yang tidak termasuk dalam *active set*. Pilot ini harus diterima dengan sinyal yang baik untuk mengindikasikan bahwa kanal trafik *link forward* yang dibawa dapat didemodulasikan dengan baik.
- *Neighbour Set*, terdiri dari pilot yang tidak termasuk dua kelompok sebelumnya, dan merupakan pilot yang digunakan untuk memberitahukan sel terdekat untuk proses *handoff*.
- *Remaining Set*, terdiri dari keseluruhan pilot dalam sistem kecuali yang terdapat pada *active set*, *candidate set*, dan *neighbour set*.

MS akan memperkirakan daya pilot dan ambang untuk memperkirakan perubahan pilot set. MS memperkirakan daya pilot dengan membandingkan daya pilot dan daya total *link forward* yang diterima. Selama mencari pilot, MS akan terus membuat offset kode PN yang digunakan yang bergantung pada komponen *multipath*-nya. MS menggunakan *search window* untuk pilot pada *active* dan *candidate set*.

2.3.3.2 Parameter *handoff*

Terdapat beberapa parameter yang digunakan dalam prosedur *handoff* yaitu :

- *Pilot Detection Threshold* (T_ADD)
T_ADD mengontrol perubahan pilot dari *neighbouring/remaining set* ke *active/candidate set*. Pilot berubah dari *neighbouring/remaining set* ke *active/candidate set* apabila memiliki E_c/I_o yang lebih besar dari T_ADD.
- *Comparison Threshold* (T_COMP)
T_COMP digunakan untuk mengontrol perubahan pilot dari *candidate set* ke *active set*. Pilot berubah dari *candidate set* ke *active set* apabila memiliki nilai E_c/I_o yang lebih besar dari pada pilot *active set*.
- *Pilot Drop Threshold* (T_DROP) dan *Drop Timer Threshold* (T_TDROP)

T_DROP dan T_TDROP mengontrol perubahan keluar dari *active/candidate set*. MS mengeset *timer* ketika Ec/Io lebih kecil dari T_DROP. Ketika *timer* lebih besar dari T_TDROP maka *active/candidate set* akan berubah menjadi *neighbouring/remaining set*.

- NGHBR_MAX_AGE

Parameter ini mengontrol perubahan pilot dari *neighbour set* ke *remaining set*. MS

mempunyai *counter AGE* untuk tiap pilot *neighbour set*. Apabila nilai *counter* tersebut lebih besar dari NGHBR_MAX_AGE maka pilot berubah dari *neighbour set* ke *remaining set*.

2.3.3.3 Search Window

MS menggunakan ketiga *search window* yang digunakan untuk mendeteksi pilot yang diterima :

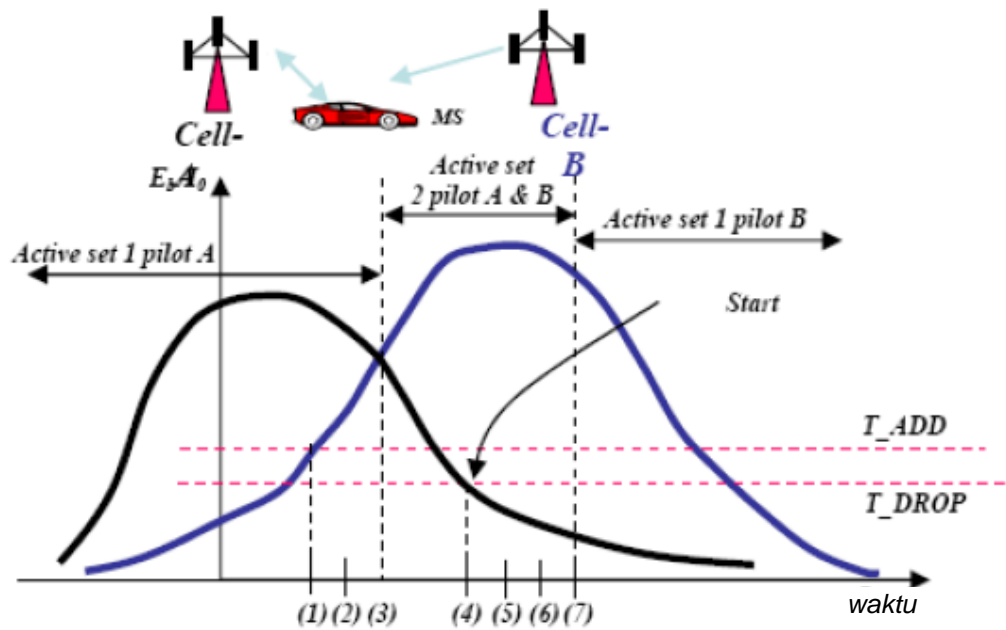
- SRCH_WIN_A, adalah *search window* yang digunakan untuk mendeteksi pilot dalam *active* dan *candidate set*. *Window* ini haruslah cukup besar untuk menampung seluruh *multipath* dan harus cukup kecil sehingga dihasilkan pendeteksian yang lebih baik.
- SRCH_WIN_N, adalah *search window* yang digunakan untuk memonitor pilot *neighbour set*. *Window* ini lebih besar daripada SRCH_WIN_A karena selain harus menampung seluruh *multipath* dalam selnya, *window* ini juga harus menampung seluruh *multipath* potensial dari sel lainnya. Besar *window* ini dibatasi oleh jarak antara dua BS. Ukuran *search window* untuk *neighbour set* tidak hanya dipengaruhi oleh *delay spread* terbesar tetapi juga oleh perbedaan terbesar *delay* propagasi antara pilot referensi dan pilot target.
- SRCH_WIN_R, adalah *search window* yang digunakan untuk mendeteksi pilot *remaining set*. Ukuran *window* ini minimal sama dengan SRCH_WIN_N. Besarnya *delay spread* dan juga *delay budget* tergantung dari keadaan lingkungan. Semakin banyak *multipath* maka *delay* akan semakin besar.

2.3.3.4 Proses *Handoff*

Proses *handoff* dimulai ketika MS mendeteksi sinyal pilot yang secara signifikan lebih kuat dibandingkan kanal trafik *forward* lainnya yang ditujukan kepadanya. MS tersebut akan mengirimkan pesan pilot *measurement* ke BS kandidat dengan sinyal terkuat tadi sekaligus menginstruksikan untuk memulai proses *handoff*. *Cell site* tersebut akan mengirimkan pesan *handoff direction* ke MS, mengarahkannya untuk melakukan *handoff*. Setelah mengeksekusi pesan *handoff direction* tersebut, MS akan mengirim pesan *handoff completion* pada kanal trafik reverse yang baru. *Handoff* bisa terjadi untuk satu atau beberapa alasan. Misalnya karena propagasi radio, distribusi trafik, aktivitas CDMA, kegagalan peralatan.

Pada saat *Mobile Station* (MS) bergerak menjauhi suatu sel maka daya yang diterima oleh MS akan berkurang. Jika MS bergerak semakin menjauhi *Base Station* (*Cell*) maka daya pancar akan semakin berkurang. Menjauhnya MS pada sel asal menjadikan MS mendekati sel lainnya. Sel lainnya dikatakan sebagai sel kandidat yaitu sel yang akan menerima pelimpahan MS dari sel sebelumnya.

MSC melalui sel kandidat akan memonitor pergerakan MS dan menangkap daya pancar MS. Diantara sel kandidat yang menerima daya pancar MS terbesar maka pelimpahan MS akan berada pada sel tersebut. Sel kandidat yang menerima pelimpahan MS akan melakukan monitoring. Proses monitoring dilakukan oleh MSC dan menginstruksikan pada sel kandidat tersebut. Pada saat *Handoff*, supervisi dipersingkat. MSC melakukan prioritas pendudukan kanal pada MS yang akan mengalami *Handoff*. Sel kandidat dibuat urutan prioritas. Proses *handoff* dapat digambarkan seperti gambar 2.7.



Gambar 2.8 Proses Handoff

- (1) MS hanya dilayani oleh *cell* A dan *active set* hanya terdiri dari pilot A. MS mengukur pilot B (E_b/I_0), diperoleh kecenderungan $> T_{ADD}$. MS mengirim pesan hasil ukur pilot B dan memindahkan status pilot B dari *neighbor* ke *candidate set*.
- (2) MS menerima pesan dari *cell* A berisi PN *offset* cell B dan alokasi Walsh *code* untuk TCH dan MS *start* komunikasi menggunakan TCH tersebut.
- (3) MS memindahkan status pilot B dari *candidate set* ke *active set*, MS mengirim pesan *handoff completed*. Sekarang ada 2 pilot yang aktif.
- (4) MS mendeteksi pilot A jatuh $< T_{DROP}$, MS *start* mengaktifkan *timer*.
- (5) *Timer* mencatat T_{TDROP} , MS mengirim PSMM (*pilot strength measurement message*).
- (6) MS menerima *handoff direction message*, pesan ini berisi hanya PN *offset* cell B (tanpa PN *offset* cell A).
- (7) MS memindahkan status pilot A dari *active set* ke *neighbor set*.

Untuk kelangsungan komunikasi seluler, *handoff* sangat diperlukan agar percakapan yang terjadi antar pelanggan tetap berlangsung tanpa terputus, meskipun

pelanggan berpindah sel/wilayah. Pada saat MS bergerak dari satu sel ke sel lainnya , trafik pada sel sebelumnya harus diubah ke kanal dengan *traffik* dan kanal kontrol sel yang baru. Apabila terjadi kegagalan *handoff* akan berakibat *dropcall* yaitu terputusnya hubungan saat percakapan sedang berlangsung. Faktor-faktor penyebab gagalnya *handoff* antara lain :

- *Interferensi* yang tinggi.
- Setting parameter yang tidak baik.
- Kerusakan *Hardware*.
- Area cakupan radio jelek.
- *Neighbouring cell relation* yang tidak perlu.
- Masalah antenna receiver atau hardware BTS.

2.3.4 Sistem Spektral Tersebar

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.

Secara definitif, 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 :

$$C = W \log_2 (1 + S/N) \quad (2.4)$$

Dimana : C = kapasitas kanal transmisi (bps)

W = lebar pita frekuensi transmisi (Hz)

N = daya derau (Watt)

S = daya sinyal (Watt)

Dari teori diatas terlihat bahwa untuk menyalurkan informasi yang lebih besar pada saluran ber-*noise* dapat ditempuh dengan dua cara yaitu :

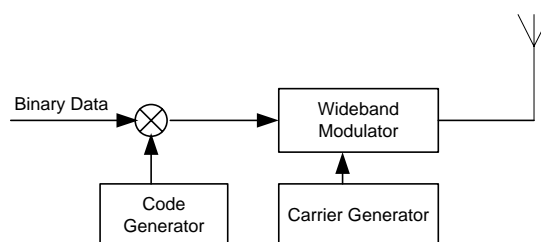
1. Dengan cara konvensional, dimana W kecil dan S/N besar.

2. Cara penyebaran spektrum, dimana W besar dan S/N kecil.

Pada sistem spektral tersebar sinyal informasi disebar pada pita frekuensi yang jauh lebih lebar dari pada lebar pita informasinya. Penyebaran ini dilakukan oleh suatu fungsi penebar yang bebas terhadap sinyal informasinya berupa sinyal acak semu (pseudorandom) yang memiliki karakteristik spektral mirip derau (noise), disebut *pseudorandom noise* (PN code).

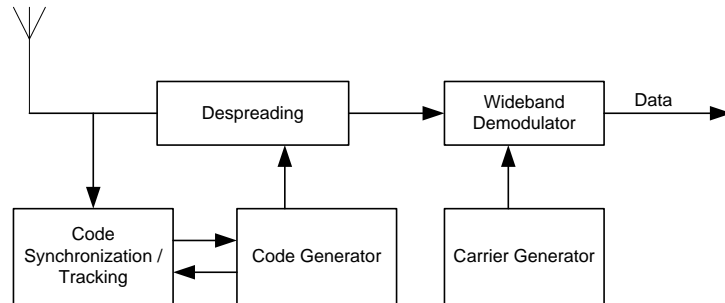
Ada beberapa teknik modulasi yang dapat digunakan untuk menghasilkan spektrum sinyal tersebar antara lain *Direct Sequence Spread Spectrum* (DS-SS) dimana sinyal pembawa informasi dikalikan secara langsung dengan sinyal penyebar yang berkecepatan tinggi, *Frequency Hopping Spread Spectrum* (FH-SS) dimana frekuensi pembawa sinyal informasi berubah-ubah sesuai dengan deretan kode yang diberikan dan akan konstan selama periode tertentu yang disebut T (periode chip). *Time Hopping Spread Spectrum* (TH-SS) dimana sinyal pembawa informasi tidak dikirimkan secara kontinu tetapi dikirimkan dalam bentuk *short burst* yang lamanya *burst* tergantung dari sinyal pengkodeannya, dan *hybrid modulation* yang merupakan gabungan dari dua atau lebih teknik modulasi di atas yang bertujuan untuk menggabungkan keunggulan masing-masing teknik. Teknik modulasi yang paling banyak dipakai saat ini, termasuk pada sistem CDMA2000 1x, adalah *Direct Sequence Spread Spectrrum* (DS-SS) karena realisasinya lebih sederhana dibandingkan teknik modulasi lainnya.

Pada DS-SS, sinyal pembawa didemodulasi secara langsung oleh data terkode yang merupakan deretan data yang telah dikodekan dengan deretan kode berkecepatan tinggi yang dibangkitkan oleh suatu *Pseudo Random Generator* (PRG) dan memiliki karakteristik random semu karena dapat diprediksi dan bersifat periodik. Sinyal yang telah tersebar ini kemudian dimodulasi dengan menggunakan teknik modulasi BPSK, QPSK, atau MSK. Pada sistem CDMA2000 1x digunakan teknik modulasi QPSK.



Gambar 2.9 Blok pemancar DS-SS

Sedangkan pada sisi penerima, DS-SS terdiri dari tiga bagian utama yaitu demodulator, *despreader* dan blok sinkronisasi deret kode.



Gambar 2.10 Blok Penerima DS-SS

Ketika sinkronisasi deret kode telah tercapai antara pengirim dan penerima (akuisisi dan *code tracking loop* telah berjalan sempurna), maka dilakukan proses *despreading* sinyal DS-SS. Dan dengan asumsi bahwa beda fasa pada frekuensi pembawa lokal antara pengirim dan penerima dapat dihilangkan dengan *carrier recovery* maka sinyal informasi yang sebenarnya akan dapat diperoleh kembali.

2.3.5 Kinerja Sistem Spektral Tersebar

Parameter-parameter yang menjadi ukuran kinerja sistem komunikasi CDMA seluler maupun *fixed wireless* berdasarkan sistem spektral tersebar antara lain adalah :

- *Processing Gain*
Ketahanan sistem spektral tersebar terhadap interferensi ditentukan oleh seberapa lebar frekuensi penebar dibandingkan dengan lebar frekuensi pita dasarnya dalam suatu parameter yang disebut *processing gain*. Dimana semakin besar *processing gain*-nya, maka semakin tahan sistem spektral tersebut terhadap interferensi.
- *Bit Error Rate* (modulasi QPSK)

$$P_B = Q \left(\sqrt{\frac{2E_b}{N_o}} \right) \quad (2.5)$$

Dimana :

E_b = Energi per bit (dBW atau Watt)

N_o = Rapat daya *noise* (dB/Hz atau Watt/Hz)

- Kapasitas Sistem

Jika diasumsikan bahwa sebuah sel mempunyai N *user* yang konstan, maka sinyal

yang diterima oleh *base station* pada sel tersebut terdiri dari sinyal *user* yang diinginkan ditambah $(N-1)$ sinyal dari *user* penginterferensi. Dengan asumsi kontrol daya bekerja sempurna, maka sinyal terima untuk semua kanal adalah sama, yaitu sebesar S . Sehingga persamaan *energy per bit* (E_b) dan rapat spektrum daya penginterferensi (I_o) dapat dinyatakan sebagai berikut :

$$E_b = \frac{S}{R} \quad (2.6)$$

$$I_o = \frac{S(N-1)}{W} \quad (2.7)$$

Sedangkan persamaan *energy bit to interference* (E_b/I_o) adalah :

$$\frac{E_b}{I_o} = \frac{S/R}{S(N-1)/W} = \frac{W/R}{N-1} \quad (2.8)$$

Dari persamaan di atas diperoleh bahwa kapasitas sel atau jumlah kanal yang dapat diakomodasi oleh satu frekuensi pembawa dengan *bandwidth* (W) adalah :

$$N = 1 + \frac{W/R}{E_b/I_o} \quad (2.9)$$

Jika N diasumsikan sangat besar maka persamaan di atas dapat disederhanakan

menjadi :

$$N \approx \frac{W/R}{E_b/I_o} \quad (2.10)$$

Jika interferensi dari sel lain, *gain* aktivitas suara, dan *gain* sektorisasi antena juga

diperhitungkan, maka persamaannya menjadi :

$$N \approx \frac{W/R}{E_b/I_o} \frac{\beta}{(1+f)\alpha} \quad (2.11)$$

Dimana :

- W = lebar pita frekuensi spektral tersebar (Hz) = 1,2288 MHz
- R = *data rate* sinyal informasi (kbps) = 9,6 kbps
- E_b/I_o = rasio energi per bit terhadap rapat daya penginterferensi (dB)
- α = *gain* aktivitas suara (≈ 0,4 untuk suara dan ≈ 1 untuk data)
- β = *gain* sektorisasi antena (≈ 2,55 untuk antena trisektoral)
- f = faktor interferensi dari sel lain