

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pendahuluan

Spektrum frekuensi adalah sumber daya yang terbatas sehingga penggunaan dari spektrum frekuensi ini harus benar – benar terkendali. Sistem komunikasi radio bergerak menggunakan berbagai teknik akses jamak supaya banyak pengguna dapat menggunakan spektrum frekuensi yang sama pada waktu yang sama pula. Pada kenyataannya, banyak sistem menggunakan beberapa teknik akses jamak secara simultan. Ada tiga akses jamak yang sering digunakan dalam komunikasi antara lain adalah sebagai berikut

1. Teknik akses jamak pembagian frekuensi (*Frequency division multiple acces, FDMA*)
2. Teknik akses jamak pembagian waktu (*Time Division Multiple Acces, TDMA*)
3. Teknik akses jamak pembagian Sandi (*Code Division Multiple Acces, CDMA*)

Sistem *FDMA* membagi lebar bidang yang ada menjadi beberapa kanal frekuensi. Lebar bidang masing – masing kanal tergantung tipe isyarat informasi yang akan ditransmisikan. Setiap pengguna akan mendapatkan alokasi dua kanal untuk komunikasi *uplink* dan *downlink*. Pengalokasian frekuensi pada *FDMA* bersifat eksklusif karena jika sepasang kanal telah digunakan oleh seorang pengguna maka pengguna lain tidak dapat menggunakan sepasang kanal tersebut. Untuk memaksimalkan kapasitas, sistem selular *FDMA* menggunakan antena berarah dan dan sistem reuse frekuensi yang rumit.

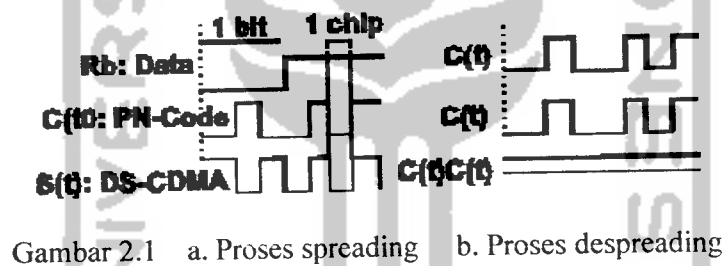
Dalam sistem *TDMA*, seluruh lebar bidang yang tersedia hanya digunakan oleh seorang pengguna, tetapi dalam periode waktu yang singkat. Kanal frekuensi dibagi menjadi beberapa *Time Slot* dan secara periodik, masing –masing pengguna akan menggunakan satu atau lebih *Time Slot* ini. Sebagai contoh, didalam teknologi *GSM* setiap kanal frekuensi dibagi menjadi delapan *Time Slot*.

Sementara itu, dalam sistem *CDMA*, seluruh pengguna menggunakan seluruh alokasi frekuensi yang tersedia pada waktu yang sama. Tidak ada penjadwalan waktu bagi masing –masing pengguna dalam sistem ini, isyarat satu pengguna dengan yang lain dipisahkan dengan penggunaan sandi –sandi khusus. Setiap pengguna menggunakan sebuah sandi yang melakukan modulasi kedua pada isyarat spektrum tersebar. Penerima yang dituju akan menggunakan sandi penyebar yang sama untuk memulihkan isyarat awal yang dikirimkan dari isyarat spektrum tersebar yang diterima. Sandi –sandi ini dipilih sehingga memiliki korelasi silang yang rendah dengan sandi yang lain sehingga isyarat yang disebarkan dengan sandi tertentu hanya dapat dikembalikan ke isyarat asalnya menggunakan sandi yang sama sedangkan isyarat dari pengguna lain tetap tersebar dalam lebar bidang yang luas. Hanya penerima yang menggunakan sandi penyebar yang sama dengan pengirim yang dapat memulihkan isyarat spektrum tersebar yang diterima.

Pada sistem *CDMA*, karena pengguna yang satu dengan yang lainnya menggunakan lebar bidang spektrum frekuensi dan waktu yang lama, maka sistem akan mengalami interferensi yang berupa *Multiple Access Interference* dan inter simbol interferensi. Selain itu, sangat sulit bagi penerima DS-CDMA untuk

menggunakan secara keseluruhan energi isyarat yang dihamburkan pada kawasan waktu.

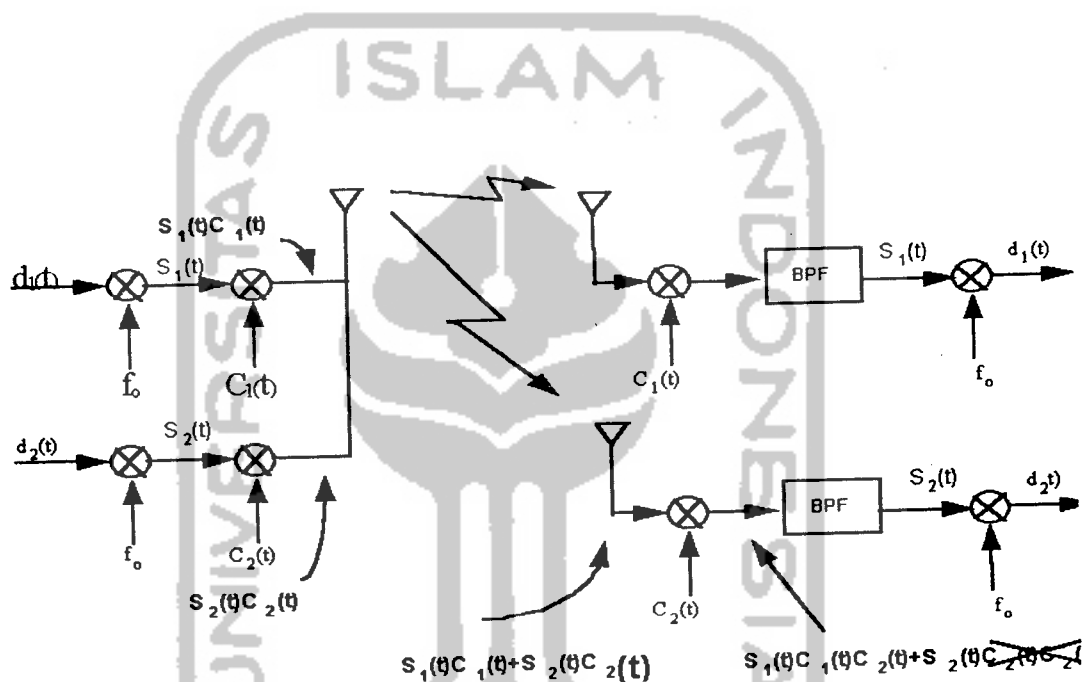
CDMA menggunakan *Spread Spectrum* dan konsep penerima *RAKE* untuk meminimalisasikan error komunikasi yang berasal dari *Multipath Effect*. Secara umum penomoran sinyal *Multipath* dalam sinyal *Wireless* tidak diketahui dan sulit untuk diprediksi. Setiap kanal atau pengguna pada *CDMA* menggunakan waktu dan frekuensi yang sama. Untuk membedakan setiap kanal atau pengguna maka digunakan kode yang unik yang juga digunakan untuk melebarkan sinyal. Kode ini disebut *Pseudo Random Noise (PN Code)* yang merupakan deretan data berkecepatan tinggi yang berharga polar (-1 dan +1) atau non polar (0 dan 1). Proses dasar *Spreading* dan *Despreading* diperlihatkan pada gambar 2.1 dibawah ini :



Gambar 2.1 a. Proses spreading b. Proses despreading

Pada gambar diperlihatkan proses transmisi *CDMA* dengan sebuah *Base Station (BN)* dan dua buah kanal atau pengguna. Sinyal informasi $d_1(t)$ dan $d_2(t)$ dimodulasi oleh frekuensi yang sama f_0 , kemudian sinyal termodulasi ini dikalikan dengan *PN Code* yang berbeda yaitu $C_1(t)$ dan $C_2(t)$. Dengan dikalikan $d(t)$ dengan $C(t)$ maka pita frekuensi yang diperlukan akan menjadi lebar

Pada penerima, sinyal yang datang akan dikalikan dengan *PN-Code* yang sama yang melalui proses *EXNOR*. Dengan asumsi *PN-Code* yang diterima dan dibangkitkan oleh penerima adalah sama tidak ada *Delay* maka hasil kedua perkalian *PN Code* ini $C_1(t) C_2(t)$ adalah 1 yang berarti menghilangkan *PN Code* (perangkat yang melalui ini disebut *Correlator*). Sinyal ini kemudian dilewatkan melalui *Bandpass Filter* yang akan menghilangkan hasil perkalian *PN-Code* kanal dengan *PN-Code* kanal yang lain



Gambar 2.2 Proses transmisi sinyal CDMA

2.2 Spektrum Tersebar (*Spread Spectrum*)

Sistem transmisi spektrum tersebar adalah sebuah teknik yang mentransmisikan suatu isyarat dengan lebar bidang frekuensi tertentu menjadi suatu isyarat yang memiliki lebar bidang frekuensi yang jauh lebih besar. Aliran

data asal dikalikan dengan biner penyebar yang memiliki lebar bidang yang jauh lebih besar daripada isyarat asal. Proses ini bit –bit dalam sandi penyebar dikenal dengan *Chip* untuk membedakannya dengan bit- bit dalam aliran data yang dikenal dengan simbol.

Tabel 1 Perbandingan Operasi Teknik Akses Jamak

OPERASI	FDMA	TDMA	CDMA
Pita teralokasi	12.5MHz	12.5MHz	12.5MHz
Frequency reuse	7	7	1
Bw yang diperlukan kanal	0.03MHz	0.03MHz	12.5MHz
Jumlah kanal RF	$12.5/0.03=416$	$12.5/0.03=416$	$12.5/0.03=416$
Kanal/sel	$416/7=59$	$416/7=59$	$416/7=59$
Kanal kendali/sel	2	2	2
Kanal dipakai/sel	57	57	8
Panggilan perkanal RF	1	4*	40**
Kanal suara/sel	$57 \times 1 = 57$	$57 \times 4 = 228$	$8 \times 40 = 320$
Sektor/sel	3	3	3
Panggilan voice/sektor	$57/3=19$	$228/3=76$	320
Kapasitas dibanding FDMA	1	4	16.8

*Tergantung pada jumlah slot

** Tergantung pada jumlah ragam sandi

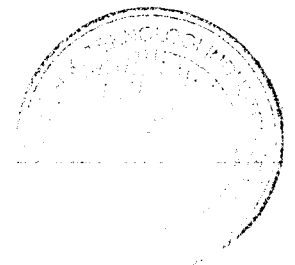
Setiap pengguna memiliki sandi penyebar yang berbeda dengan pengguna yang lain. Sandi yang sama digunakan pada kedua sisi kanal radio, menyebarkan

isyarat asal menjadi isyarat lebar, dan menyebarkan kembali isyarat bidang lebar menjadi isyarat bidang sempit asal. Nisbah antara lebar bidang transmisi dengan lebar bidang isyarat asal dikenal dengan istilah *Processing Gain*. Secara sederhana, *Processing Gain* menunjukkan beberapa buah *Chip* yang digunakan untuk menyebarkan sebuah simbol data. Sandi – sandi penyebar bersifat unik, jika seorang pengguna telah menyebarkan isyarat bidang lebar yang diterima, isyarat yang disebarkan hanyalah isyarat dari pengirim yang memiliki sandi penyebar yang sama.

Sebuah sandi penyebar memiliki korelasi silang yang rendah dengan sandi penyebar lain. Jika sebuah sandi benar – benar *Orthogonal*, maka korelasi silang antara sebuah sandi dengan sandi lainnya adalah nol. Hal ini berarti beberapa isyarat bidang lebar dapat menggunakan frekuensi yang sama tanpa adanya interferensi satu sama lain. Energi isyarat bidang lebar disebarkan sepanjang lebar bidang yang amat besar sehingga dianggap sebagai derau jika dibandingkan isyarat aslinya atau dengan kata lain memiliki *Power Spectral Density* yang rendah. Ketika sebuah isyarat bidang lebar dikorelasikan dengan penyebar tertentu, hanya isyarat asal dengan penyebar yang sama yang akan disebarkan.

Sistem spektrum tersebar memiliki beberapa kelebihan dibandingkan sistem – sistem yang telah ada sebelumnya yaitu sebagai berikut:

1. Dapat bertahan pada lingkungan dengan pudaran lintasan jamak yang tinggi karena isyarat *CDMA* bidang lebar memiliki sandi penyebar dengan korelasi diri yang baik.



2. Dapat mengirimkan informasi dengan daya yang kecil sehingga memungkinkan peralatan yang kecil sekaligus juga dengan daya baterai yang lebih tahan lama.
3. Dapat mengurangi interferensi dengan baik karena pada saat terjadinya proses penyebaran, pengganggu akan mengalami proses sebaliknya sehingga dayanya akan lebih kecil dibandingkan isyarat lain.
4. Dapat menghindari penyadapan karena menggunakan sandi yang unik yang mirip derau dengan spektrum frekuensi yang amat lebar
5. Dapat melakukan kemampuan panggilan terpilih (*Selective Calling Capability*)
6. Dapat melakukan penjamakan pembagian sandi sehingga dimungkinkan untuk akses jamak dengan kapasitas yang lebih besar.

Konsep komunikasi spektrum tersebar didasarkan teori *C.E Shannon* untuk kapasitas saluran melalui persamaan yaitu:

$$C = W \log_2(1 + S/N) \quad (2.1)$$

Dimana

C = kapasitas kanal transmisi(bit/detik)

W= lebar pita frekuensi transmisi(Hz)

N= daya derau(watt)

S= daya sinyal (watt)

Dari teori tersebut terlihat bahwa untuk menyalurkan informasi yang lebih besar pada saluran berderau 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.

Parameter- parameter yang dipakai untuk mengukur kinerja sistem spektrum tersebar adalah

a. *Probability of error*

$$Pe = \frac{1}{2} \operatorname{erfc} \sqrt{\frac{Eb}{N_0}} \quad (2.1)$$

$$= \frac{1}{2} \operatorname{erfc} \sqrt{\left(\frac{Ps}{Pj}\right) \left(\frac{Rc}{Rb}\right)}$$

$$= \frac{1}{2} \operatorname{erfc} \sqrt{\frac{Ps}{Pj_{eff}}}$$

dimana

$$Pj_{eff} = \text{daya jamming efektif} = \frac{Pj}{G}$$

$$\frac{Ps}{Pj} = \text{perbandingan daya sinyal yang diinginkan terhadap daya jamming}$$

$$\frac{Rc}{Rb} = \text{perbandingan laju chip terhadap laju data}$$

b. *Procesing Gain*

Procesing Gain dari spektrum tersebar didefinisikan sebagai perbedaan kinerja antara sistem yang menggunakan spektrum tersebar dengan sistem yang tidak menggunakan spektrum tersebar. Pendekatan yang sering dipakai untuk menyatakan *Procesing Gain* adalah perbandingan lebar pita frekuensi spektrum tersebar dengan laju bit informasi (data).

$$G = \eta = \frac{W_c}{W_s} = \frac{W_c}{R_b} \quad (2.3)$$

Keterangan

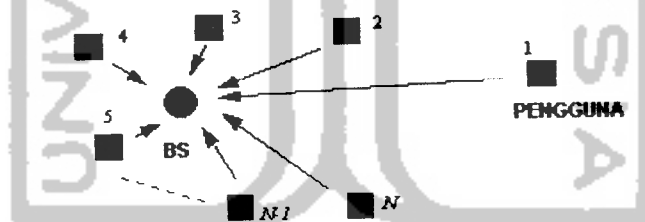
$G = \eta$ = proses gain (10 log G dB)

W_c = lebar pita frekuensi spektrum tersebar (Hz)

W_s = lebar pita frekuensi sinyal digital / data (Hz)

R_b = laju pita data(bps)

Untuk menghitung kapasitas sistem CDMA satu sel, diasumsikan sistem yang digunakan adalah star yang dimana *Base Station* berkomunikasi dengan semua kanal/pengguna dan setiap kanal / pengguna akan menempati seluruh lokasi spektrum frekuensi yang sama dimana daya yang diterima dan η adalah *White Noise Gaussian* serta N adalah jumlah terminal atau kanal yang dapat diperlihatkan oleh gambar 2.3



Gambar 2.3 Jumlah Kanal

b. Jamming Margin

Kemampuan sistem spektrum untuk mengantisipasi adanya interferensi dengan intensitas tinggi atau *Jammer* ditentukan oleh kriteria *Jamming Margin*.

$$JM = G - [L_{sys} + (S/N)_{out}] \quad (2.4)$$

dimana :

$JM = \text{Jamming Margin}$ (10 log JM dB)

$L_{sys} =$ rugi-rugi implementasi sistem

$(S/N)_{out} =$ S/N keluaran penerima yang diisyaratkan / diijinkan

c. PN Code

PN-Code mempunyai satuan *Chip*, yang merupakan sinyal pelebar sinyal informasi dan digunakan untuk membedakan antara kanal atau pengguna satu dengan yang lainnya. Pemilihan *PN-Code* harus dilakukan dengan hati - hati dengan memperhatikan beberapa kriteria, sebagai berikut

- a. Mudah diterapkan
- b. Mempunyai dua level yaitu -1 dan 1 atau 0 dan 1
- c. Mempunyai auto correlation yang tajam untuk memungkinkan sinkronisasi kode
- d. Mempunyai beda jumlah 0 dan 1 hanya satu (*One Zero Balance*) untuk memperoleh *Spectrum Density* yang bagus
- e. Harga korelasi persilangan yang rendah. Dengan semakin rendah harga korelasi persilangan maka jumlah kanal dalam satu pita frekuensi semakin tinggi.

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 yang biasanya bermodul 2,

sedangkan kode non linear terdapat dua macam runtun *PN* berdasarkan runtun *PN* berdasarkan panjangnya dan pemakaiannya, yaitu berikut ini

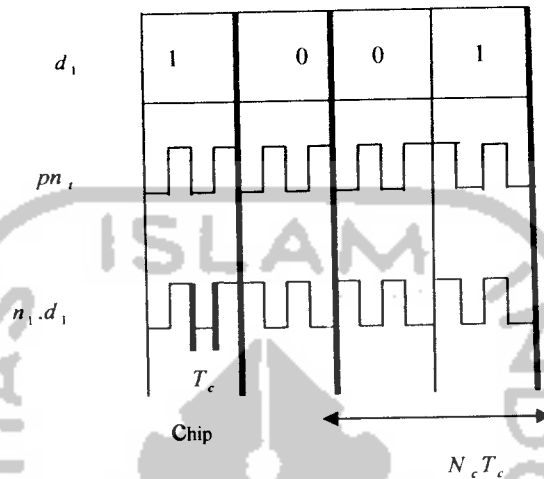
1. Kode Pendek (*Short Code*)

Runtun *PN* yang sama untuk masing –masing simbol data ($N_c T_c = T_s$) digunakan untuk penyebaran lebih lanjut karena tidak tidak semua kode *Walsh* memberikan penyebaran yang baik. Kode ini akan berfungsi sebagai runtun pilot jika dimodulasikan oleh kode *Walsh* ke-0. Runtun *PN* untuk satu kanal I berdasar pada polinomial yang berbeda (*N* sama) dengan kanal *Q*. Sel yang berbeda menggunakan kode pendek yang tergeser fasenya(berupa insut)

Kode pendek yang biasa digunakan adalah kode pendek dengan $N = 15$ sehingga memiliki panjang maksimal $L = 2^{15} - 1 = 32.767$ chip, yang dimodifikasi untuk menghasilkan runtun sepanjang 32.768 *Chip*. Runtun akan berulang dengan periode 26,67 *ms* dengan pesat chip 1,2288 *Mcps*. Pemisahan sel atau sektor menggunakan kode pendek yang sama namun tergeser fasenya sebesar 64 *Chip*, sehingga akan dihasilkan 512 insut. Pergeseran 64 merupakan rekomendasi IS-95 dengan perhitungan berdasarkan pada jarak minimal *Multipath* (yang menghasilkan penerimaan tunda chip pada sisi penerima). Satu chip berjarak 244 m (dihasilkan dari pembagian kecepatan gelombang dengan pesat chip yang digunakan), maka 64 chip memiliki jarak minimal *Multipath* sebesar 15,616 Km.

Implementasi pada kode pendek untuk mendapatkan panjang runtun 2^{15} , sebuah chip ekstra logika 0 ditambahkan atau diselipkan pada saat runtun *Chip* 0 sepanjang $N-1$ muncul, sehingga jumlah chip 0 dan 1 adalah sama. Penambahan

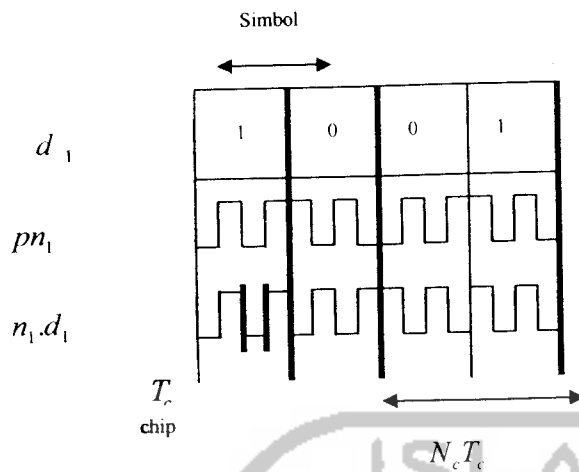
ini dilakukan karena pada runtun maksimal yang jumlah chip 1 lebih banyak satu chip dibanding chip 0 akan menghasilkan nilai DC (meskipun kecil) yang akan mengganggu operasi pada modulator. Penambahan chip ini berfungsi untuk menekan nilai DC sehingga *Modulator* dapat bekerja dengan baik.



Gambar 2.4 Kode Pendek

2. Kode Panjang (*Long Code*)

Periode runtun PN lebih panjang dibanding simbol data, sehingga suatu pola chip berbeda berasosiasi dengan masing –masing simbol ($N_c T_c \gg T_s$). Kode panjang menggunakan register geser $N = 42$, sehingga menghasilkan panjang runtun maksimal $L = 2^{42} - 1 = 4,4$ trilyun chip. Kode panjang juga menggunakan pesat chip 1,2288 MHz sehingga akan berulang kembali setelah 41- 42 hari. Pegeseran 64 chip(tipikalnya 256) juga direkomendasikan yang menghasilkan kira –kira 69 milyar insut. Gambar 2.5 menunjukkan kode panjang (*Long Code*).



Gambar 2.5. Kode Panjang

2.3. Runtun *Pseudorandom Noise (PN)*

Runtun *PN* adalah runtun biner periodik yang bersifat seperti *Noise* dengan spektrum frekuensi yang lebar. Dalam sistem *CDMA* runtun *PN* melakukan fungsi – fungsi sebagai berikut

1. Menyebar lebar bidang isyarat termodulasi menjadi lebar bidang transmisi yang jauh lebih besar.
2. Sebagai pembeda antar pengguna berbeda yang menggunakan lebar bidang transmisi yang sama dalam penerapan akses jamak

Runtun *PN* tidak bersifat acak tetapi tertentu sebagai runtun periodik. Runtun *PN* dihasilkan dengan mengkombinasikan keluaran –keluaran dari sebuah register geser umpan –balik. Sebuah register geser umpan –balik terdiri dari atas pengingat dua keadaan yang saling berurutan atau beberapa tingkat penyimpan dan logika bolak – balik runtun biner digeser sepanjang register geser sebagai

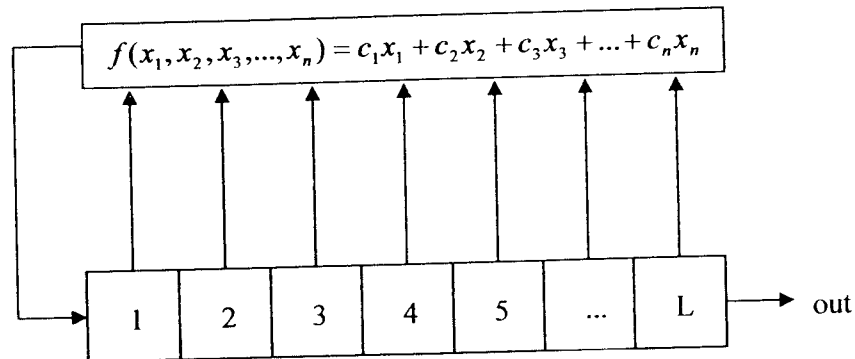
tanggapan terhadap pulsa detak. Isi dari masing –masing penyimpanan secara logika dikombinasikan untuk menghasilkan masukan penyimpanan pertama. Kondisi awal masing –masing penyimpanan logika umpan –balik menentukan kondisi – kondisi penyimpanan selanjutnya. Penyimpanan –penyimpanan ini biasanya berupa *Flip- Flop*. Sebuah register geser umpan –balik dan keluarannya bersifat linear sementara logika umpan –balik seluruhnya terdiri dari atas penjumlahan modul-2.

Runtun keluaran pembangkit *PN* dapat dikelompokkan sebagai panjang maksimal atau panjang tidak maksimal. Runtun panjang maksimal adalah runtun panjang yang dapat dihasilkan oleh sebuah register geser dengan panjang tertentu. Untuk pembangkit runtun register geser biner, panjang runtun maksimal yang dapat dibuat adalah $2^n - 1$ dengan n jumlah penyimpanan di dalam register geser. Runtun panjang maksimal mempunyai sifat, untuk sebuah register geser umpan – balik dengan n penyimpanan, periode pengulangan runtun dalam pulsa detak adalah $T_0 = 2^n - 1$. Jika sebuah register geser umpan –balik menghasilkan runtun maksimal, maka semua keluarannya yang bukan semuanya nol juga maksimal. Ketika sebuah register geser dengan n penyimpanan digunakan untuk menghasilkan sebuah runtun panjang maksimal, runtun yang dihasilkan akan memiliki sifat – sifat sebagai berikut :

- a. Jumlah logika satu dalam runtun selalu lebih besar satu bit dibanding dengan jumlah logika nol. Contoh : untuk 1023 bit sandi maka terdiri dari atas 512 logika satu dan 511 logika nol

- b. *Distribusi* statistik logika nol dan satu ditentukan dengan baik dan selalu sama. Letak relatif alirannya berbeda dengan runtun sandi lainnya, tetapi jumlah masing – masing panjang aliran tidak berbeda.
- c. Korelasi diri sandi linear maksimal sedemikian sehingga untuk semua nilai pergeseran fase nilai korelasi adalah -1, kecuali untuk daerah pergeseran fase bit 0 ± 1 , dengan korelasi berubah secara linear dari -1 ke N dengan N adalah panjang runtun.
- d. Penambahan modul -2 sandi linear maksimal dengan fase tergeser tiruan sandi itu sendiri menghasilkan tiruan lain dengan pergeseran fase yang berbeda dengan aslinya.
- e. Setiap keadaan yang mungkin, disebut juga n- tuple, untuk pembangkit n gerbang yang diberikan selalu ada pada waktu siklus pembangkit sandi. Masing –masing keadaan hanyalah sebesar satu bit. Pengecualian adalah keadaan semua nol secara normal tidak terjadi dan tidak diijinkan untuk terjadi.
- f. Korelasi silang sebuah runtun *PN* linear maksimal adalah ukuran kemiripan antara dua runtun *PN* yang berbeda. Dalam sistem *CDMA*, korelasi silang merupakan sesuatu yang penting karena tanggapan penerima terhadap isyarat yang lain dibandingkan runtun alamat yang sesuai tidak diijinkan.

Gambar 2.6 menunjukkan pembangkit runtun maksimal register geser umpan – balik.



Gambar 2.6
Pembangkit Register Geser Sederhana

Runtun panjang maksimal (*M-Sequences*) adalah sandi terbesar yang dapat dihasilkan oleh register geser yang digunakan. Setiap waktu detak, register menggeser seluruh isinya ke kanan.

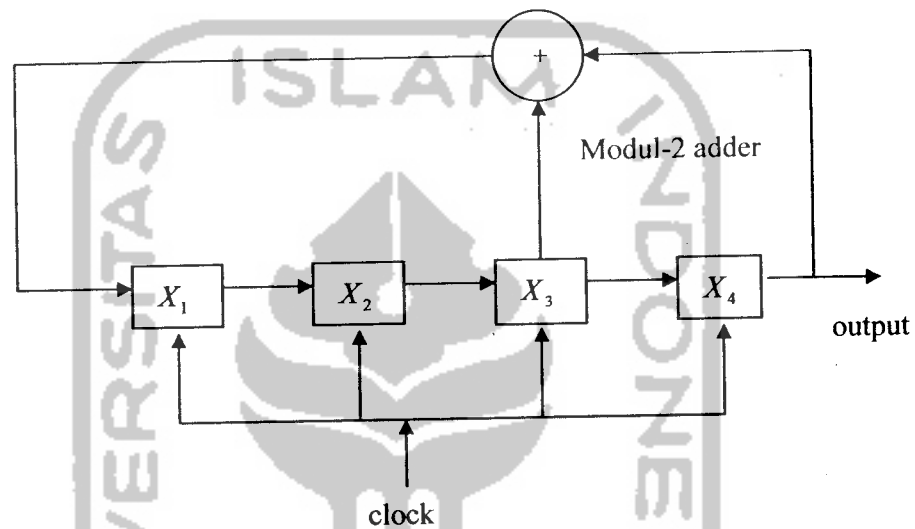
Fungsi pembangkit, $G(D)$, runtun dapat diekspresikan sebagai perbandingan polinomial terbatas.

$$G(D) = g_0(D) / f(D) \quad (2.5)$$

$f(D)$ adalah polinomial karakteristik dari pembangkit runtun register geser umpan-balik linear (*LSFR*). Polinomial ini tergantung pada vektor koneksi c_1, c_2, \dots, c_n dan menentukan sifat utama dari runtun yang dihasilkan. Polinomial $g_0(D)$ tergantung pada kondisi awal dari masing-masing penyimpanan dan menentukan pergeseran fase dari runtun yang dihasilkan. Setiap runtun *LSFR* periodik dengan periode $N \leq 2^n - 1$ untuk kondisi vektor awal yang tidak sama dengan nol, dengan n adalah jumlah register geser. Persyaratan bagi $G(D)$ untuk

menghasilkan sebuah runtun maksimal jika $f(D)$ merupakan polinomial tidak tereduksi. Polinomial tidak tereduksi yang menghasilkan runtun maksimal dikenal juga dengan polinomial primitif

Untuk memperlihatkan sifat – sifat dari runtun PN biner maka diberi contoh sebuah register geser linear umpan – balik yang memiliki register dengan empat penyimpan dan pergeseran, sebuah penjumlah modul -2, dan jalur umpan – balik dari penjumlah ke masukan register pada gambar 2.7.



Gambar 2.7
Register Geser Umpan –Balik 4 Penyimpan

Operasi dari register dikendalikan oleh pulsa detak. Pada setiap pulsa detak, isi masing – masing menyimpan di dalam register digeser satu tingkat ke kanan. Juga, pada setiap pulsa detak isi penyimpan X_3 dan X_4 dijumlah modul-2 dan hasilnya di umpan –balikkan ke penyimpan X_1 . Dianggap bahwa penyimpan X_1 awalnya diisi dengan 0 sedangkan penyimpan yang lain diisi dengan 0,0 dan 1 sehingga kondisi awal register adalah 0001. selanjutnya, dengan operasi

pergeseran, penjumlahan dan pengurangan –balikkan akan diperoleh hasil setiap siklus pada tabel 2.

Tabel 2. Penyebaran Aliran Runtun Chip

Shift	Stage X_1	Stage X_2	Stage X_3	Stage X_4	Runtun Output
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	1	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

Dari tabel di atas dapat dilihat bahwa isi register berulang setiap $2^4 - 1 = 15$ siklus. Runtun keluarannya adalah 000100110101111 dengan bit paling kiri adalah bit paling awal. Dalam runtun keluaran, jumlah keseluruhan bit 0 adalah 7, berbeda dengan jumlah keseluruhan bit 1 yaitu 8.

Jika sebuah register geser umpan-balik memiliki kondisi 0 untuk semua penyimpanannya, keluaran selanjutnya akan tetap bernilai nol dan akibatnya keluaran runtun selanjutnya akan bernilai nol. Periode sebuah register geser linear dengan n penyimpan tidak dapat melebihi $2^n - 1$ karena jumlah keadaan tidak nol tepat sejumlah $2^n - 1$.

Freymodsson memperlihatkan bahwa terdapat aliran $2^{n-(p+2)}$ dengan panjang p untuk logika satu dan nol setiap runtun maksimal. Kecuali bahwa hanya ada satu aliran yang berisi n logika satu dan satu berisi $n-1$ logika nol. Tidak ada aliran logika nol dengan panjang n atau logika satu dengan panjang $n-1$. Aliran didefinisikan sebagai rentetan logika satu atau nol yang dikumpulkan secara berurutan. Contoh distribusi aliran diperlihatkan dalam tabel 3 runtun chip $2^4 - 1$.

Tabel 3. Penyebaran Aliran Untuk $2^4 - 1$ Runtun Maksimal

Panjang aliran (chip)	Jumlah aliran		Jumlah (chip) tiap aliran
	Logika satu	Logika nol	
1	2	2	4
2	1	1	4
3	0	1	3
4	1	0	4

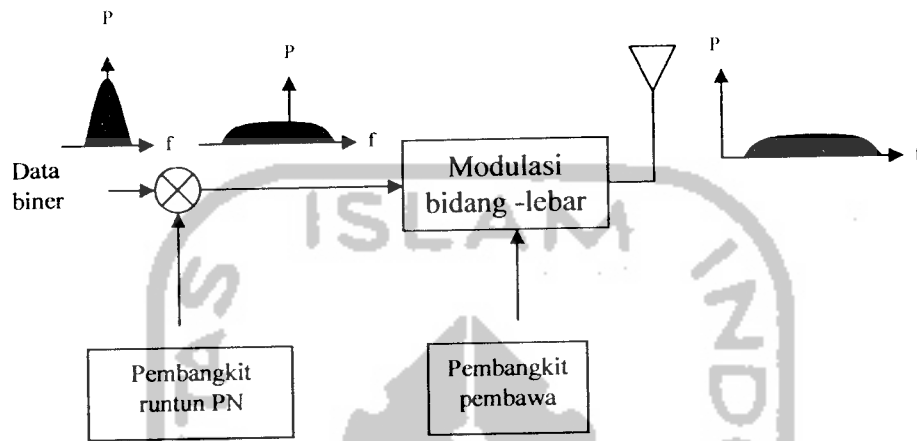
Beberapa teknik yang digunakan dalam sistem spektrum tersebar dan akan diperinci pada sub-bab berikutnya, yaitu:

1. runtun langsung (*Direct Sequence*)
2. lompatan frekuensi (*Frequency Hopping*)
3. lompatan waktu (*Time Hopping*)
4. hibrid

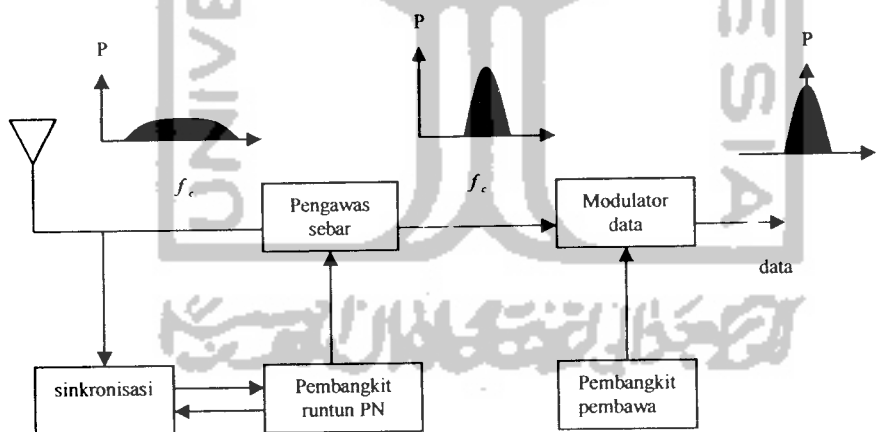
a. Runtun Langsung (*Direct Sequence*)

Dalam sistem spektrum tersebar runtun langsung (*Direct Sequence Spread Spectrum, DSSS*) isyarat informasi dimodulasi langsung oleh runtun PN dan menghasilkan isyarat yang memodulasi gelombang-gelombang pembawa bidang-lebar. Dari perkalian langsung tersebut runtun langsung mendapatkan namanya. Gambar 2.8 memperlihatkan diagram blok pengirim spektrum tersebar runtun langsung. Isyarat data biner dimodulasi runtun PN yang memiliki -1 atau $+1$. Untuk mendapatkan penyebaran isyarat yang diinginkan maka pesat chip runtun harus lebih tinggi dari pesat chip isyarat informasi. Setelah pengirim isyarat, penerima pada gambar menggunakan demodulasi koheran untuk pengawasebaran berhasil, penerima harus mengetahui runtun PN yang digunakan untuk menyebarkan isyarat. Selain itu runtun PN pengirim dan runtun PN penerima juga harus sinkron. Sinkronisasi ini harus dilakukan pada awal penerimaan isyarat dan dipertahankan sampai semua isyarat informasi diterima. Blok sinkronisasi runtun PN melakukan operasi sinkronisasi. Setelah pengawasan isyarat data termodulasi dihasilkan dan setelah demodulasi data asli didapatkan. Bila runtun PN penerima

tidak sinkron dengan runtun PN pengirim maka pengawasebaran akan gagal (keluaran blok pengawasebaran berupa isyarat spektrum tersebar).



Gambar 2.8
Diagram Blok Pengirim Spektrum Tersebar Runtun Langsung



Gambar 2.9
Diagram Blok Penerima Spektrum Tersebar Runtun Langsung

b. Lompatan Frekuensi (*Frequency Hopping*)

Pada spektrum tersebar lompatan frekuensi (*Frequency Hopping Spread Spectrum, FHSS*), frekuensi pembawa yang memodulasi isyarat informasi tidaklah konstan melainkan berubah secara periodis. Selama interval waktu tertentu frekuensi pembawanya tetap, tetapi setelah itu pembawa melompat ke frekuensi lain (atau mungkin juga ke frekuensi yang dapat digunakan pembawa disebut set lompatan (*Hop Set*)).

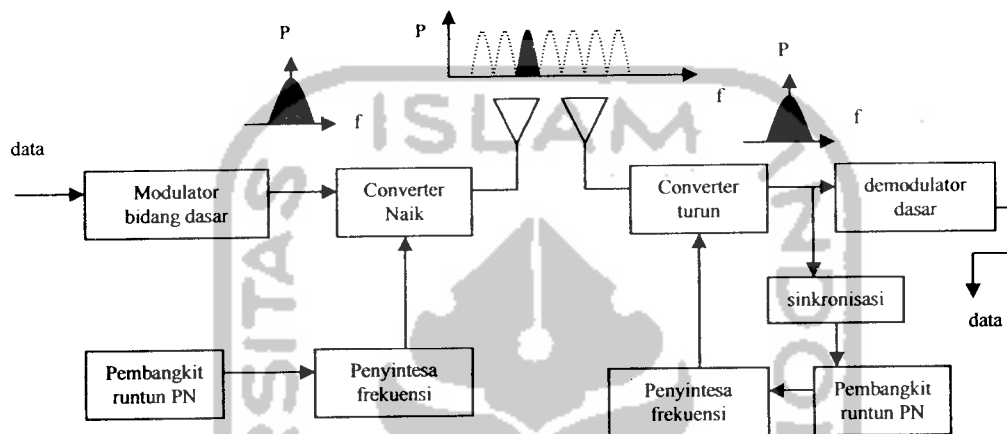
Penggunaan frekuensi sebuah sistem lompatan frekuensi sangat berbeda dengan sistem runtun langsung. Sistem runtun langsung menggunakan seluruh bidang frekuensi hanya menggunakan sebagian kecil lebar bidang ketika melakukan transmisi, tetapi lokasinya berubah terhadap waktu.

Diagram blok spektrum tersebar runtun langsung diperlihatkan pada gambar 2.10. isyarat data termodulasi bidang-dasar. Dengan menggunakan penyintesa frekuensi cepat (*Fast Frequency Synthesizer*) yang dikendalikan runtun *PN*, frekuensi pembawa dikonversi naik ke frekuensi transmisi.

Proses sebaliknya terjadi di penerima. Dengan menggunakan runtun *PN* lokal, isyarat diterima dikonversi turun ke bidang- dasar. Data dipulihkan setelah demodulasi bidang-dasar. Rangkaian sinkronisasi menjamin bahwa lompatan frekuensi yang lakukan pembawa lokal sinkron dengan di pengirim sehingga penyebaran yang benar dapat dilakukan.

Sistem lompatan frekuensi dibagi berdasarkan lompatannya. Bila pesat lompatan lebih besar dari pesat simbol maka disebut dengan lompatan frekuensi cepat (*Fast Frequency Hopping, F-FH*). Pada F-FH frekuensi pembawa berubah

beberapa kali selama transmisi satu simbol sehingga satu bit berubah beberapa kali selama transmisi satu simbol sehingga satu bit ditransmisikan pada beberapa frekuensi. Bila pesat lompatan lebih kecil dari pesat simbol maka disebut lompatan frekuensi lambat (*Slow Frequency Hopping, S-FH*). Pada sistem S-FH beberapa simbol ditransmisikan pada frekuensi yang sama.

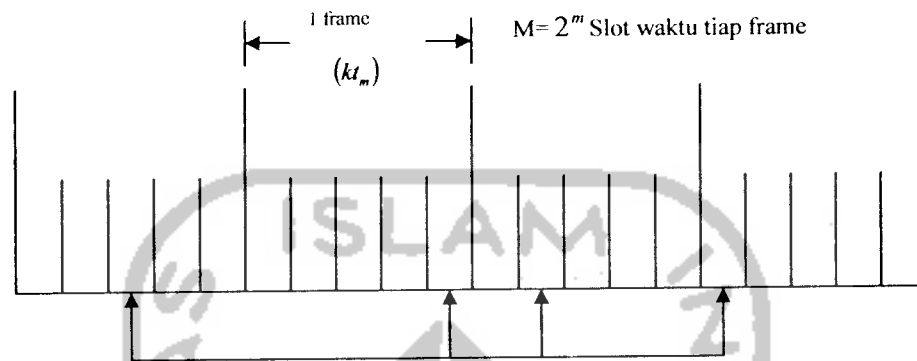


Gambar 2.10
Diagram Blok Pengirim dan Penerima Spektrum Tersebar
Lompatan Frekuensi

c. Lompatan Waktu (*Time Hopping, TH*)

Pada system spektrum tersebar lompatan waktu (*Time Hopping Spread Spectrum, THSS*), isyarat data ditransmisikan dalam semburan cepat (*Rapid Burst*) pada setiap interval waktu yang ditentukan runtun *PN*. Bentuk gelombang untuk lompatan waktu ditunjukkan pada gambar 2.11 sumbu horizontal dibagi –bagi menjadi interval yang disebut frame dan setiap frame dibagi lagi menjadi *M* buah

slot waktu (*Time Slot*). Slot waktu pada suatu frame dipilih oleh pembangkit runtun *PN*. Semua pesan dikumpulkan dalam sebuah frame sebelum dikirimkan dalam derau pada waktu slot waktu yang dipilih. Pada gambar 2.11. diperlihatkan diagram blok sistem spektrum tersebar lompatan waktu.



Gambar 2.11
Bentuk Gelombang Lompatan waktu

Konsep yang digunakan untuk mengukur adalah

T_f = periode frame

k = jumlah bit pesan dalam suatu frame

$$T_f = kt_m$$

Lebar tiap slot waktu frame adalah T_f / M dan lebar tiap bit pada slot waktu adalah T_f / kM , secara sederhana t_m / M . Ini menunjukkan bahwa lebar – bidang isyarat yang dikirim adalah $2M$ kali lebar-bidang pesan. Oleh karena itu proses gain sistem lompatan waktu sebesar dua kali slot waktu setiap frame jika

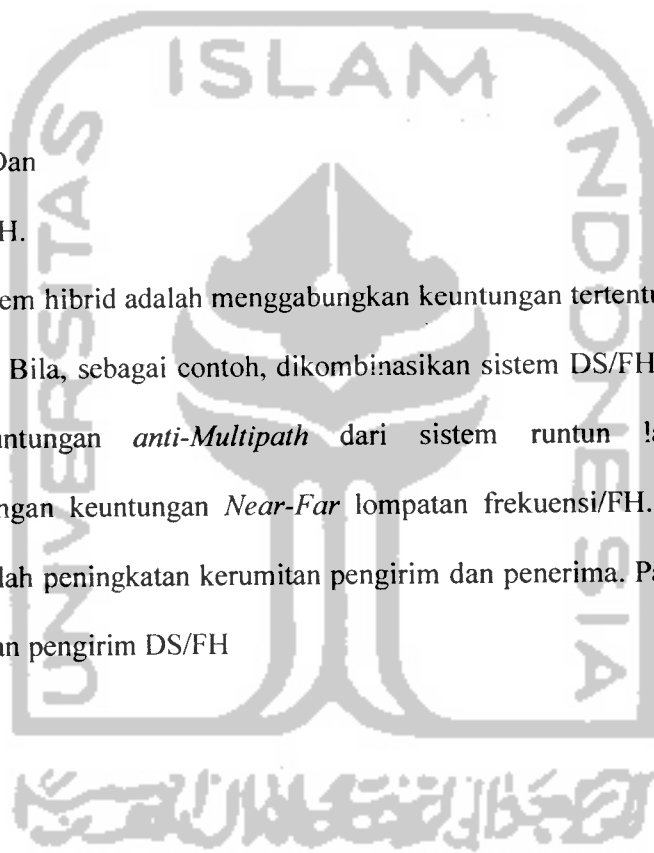
digunakan modulasi biphase dan seperempat bila digunakan modulasi *quadriphase*.

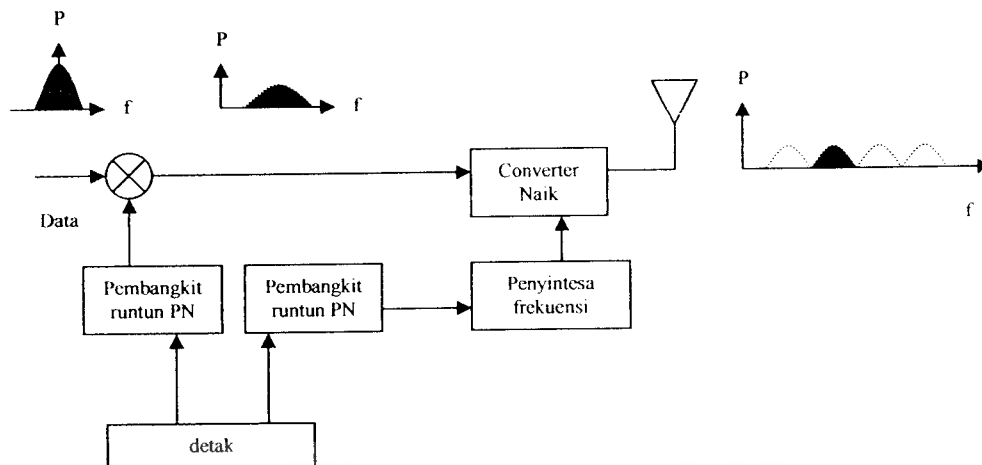
d. Hibrid

Sistem hibrid mencakup semua sistem spektrum tersebar yang menggunakan kombinasi dari dua atau lebih teknik yang dibahas sebelumnya atau kombinasi dengan teknik masupan jamak lainnya. Dengan menggabungkan teknik dasar modulasi spektrum tersebar maka didapat 4 macam sistem hibrid, yaitu:

1. DS/FH,
2. DS/TH,
3. FH/TH, Dan
4. DS/FH/TH.

Ide dasar sistem hibrid adalah menggabungkan keuntungan tertentu dari setiap teknik modulasi. Bila, sebagai contoh, dikombinasikan sistem DS/FH maka akan didapatkan keuntungan *anti-Multipath* dari sistem runtun langsung/DS digabungkan dengan keuntungan *Near-Far* lompatan frekuensi/FH. Tentu saja kerugiannya adalah peningkatan kerumitan pengirim dan penerima. Pada Gambar 2.12 diilustrasikan pengirim DS/FH

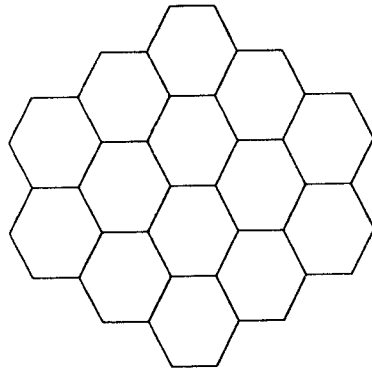




Gambar 2.12
Diagram Blok Pengirim Spektrum Tersebar DS/FH

2.3. Sel Jamak

Dalam sebuah sistem selular *CDMA* sel jamak, situasi menjadi lebih rumit daripada sistem sel tunggal. *User* yang berada dekat perbatasan dari tiga sel akan menerima interferensi yang cukup signifikan dari *Base Station* lain. Statistik dari daya yang diterima dari pengguna referensi dan interferensi dalam selnya sendiri. Untuk memecahkan ini hasil yang telah dicapai *Gilhausen* dengan kawan – kawan yaitu bahwa total interferensi dari sel –sel sekitarnya dimodelkan sebagai suatu random variabel *Gaussian* dengan mean μ dan variansi logaritmik D^2 . Disini *Carrier to Interference Ratio* dihitung untuk satu referensi yang terletak pada titik ini dengan mempertimbangkan 12 *Base Station* terdekat sebagaimana diperlihatkan pada gambar 2.13 dibawah ini :



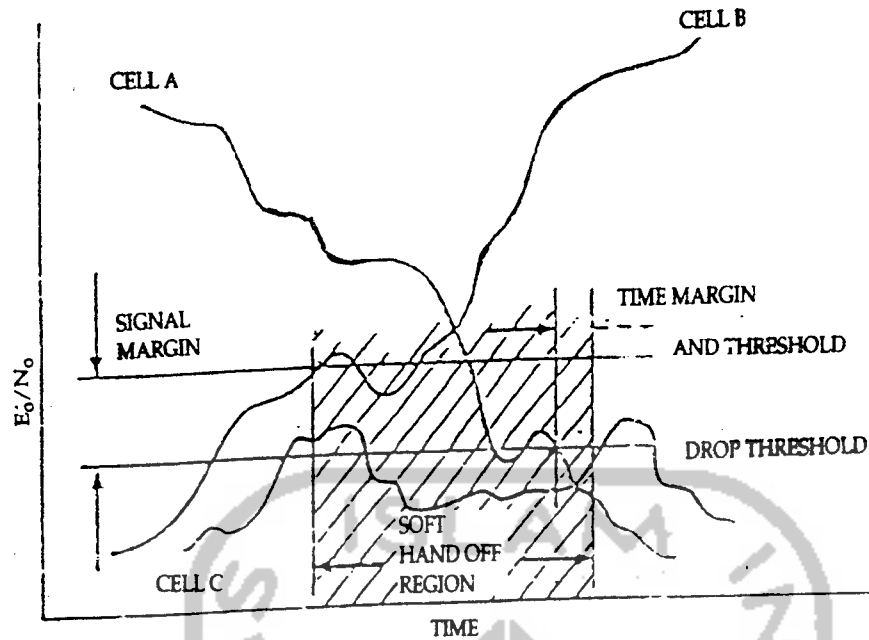
Gambar 2.13
Sel Jamak

2.4. Soft Handoff

Pada komunikasi bergerak, para pelanggan memiliki tingkat mobilitas tinggi. Untuk menjamin bahwa pembicaraan akan tersambung diperlukan fasilitas *Soft Handoff* yang memungkinkan kedua sel, baik sel asal maupun sel baru untuk melayani mobile stasion secara bersama-sama selama transisi *Handoff*. Transisinya adalah ketika *Mobile Station* bergerak dari sel asal ke sel baru dan akhirnya berada di sel baru. Hal ini di mungkinkan karena semua sel memakai frekuensi kerja yang sama. *Soft Handoff* selain mengurangi kemungkinan putusnya pembicaraan juga menyebabkan proses *Handoff* berjalan dengan halus sehingga tidak mengganggu pengguna. Dalam sistem analog dan digital *TDMA* dilakukan pemutusan hubungan sebelum fungsi switching berhasil dilakukan (*Break-Before-Make-Switching Function*) sementara pada *CDMA* hubungan sel lama tidak dilakukan pemutusan sampai *Mobile Stasion* benar- benar mantap dilayani oleh sel baru (*Make-Before-Break Switching Function*)

Setelah sebuah panggilan telah dilakukan, *Mobile Station* selalu mengecek sel –sel tetangga untuk menentukan apakah sinyal dari sel yang lain cukup besar jika dibandingkan dengan sinyal dari sel asal. Jika hal ini terjadi, ini merupakan indikasi bahwa *Mobile Station* memasuki daerah cakupan sel yang baru dan *Handoff* dapat dilakukan. *Mobile Station* mengirim pesan (*Control Message*) ke *MTSO* yang menunjukkan sinyal dari sel baru makin menguat. *MTSO* melakukan *Handoff* dengan menyediakan sebuah link kepada *Mobile Stasion* melalui sel baru tetapi link yang lama tetap dipertahankan. Sementara mobile stasion berada pada daerah perbatasan antara kedua sel, panggilan hanya dilayani oleh kedua sel site, hal ini menyebabkan berkurangnya efek ping pong atau mengulang permohonan kembali panggilan antara kedua sel site. Sel asal akan memutuskan hubungan jika *Mobile Station* benar- benar mantap dilayani sel baru.

Soft Handoff pada sistem selular CDMA dikontrol berdasarkan hasil pengukuran perbandingan sinyal terhadap noise kanal pilot dari *Base Stasion* yang dilakukan oleh *Mobile Station*. Hasil pengukuran ini dibandingkan dengan nilai *Threshold T_ADD* dan *T_DROP*, kemudian berdasarkan ukuran waktu tertentu, suatu *Base Stasion* dihapuskan atau ditambahkan dari daftar kandidat untuk proses *Soft Handoff*. Daerah *Sofi Handoff* ditunjukan oleh gambar 2.14.



Gambar 2.14
Daerah *Soft Handoff*

Selama proses *Handoff* terjadi pertukaran pesan antara base stasion dengan mobile stasion. Urutan – urutan kejadian selama proses *Handoff* adalah:

1. bila $\text{pilot} > T_ADD$, *Mobile Station* akan melapor ke *Base Stasion* dan memindahkan pilot ke kandidat set.
2. *Base Station* mengirimkan arah *Handoff*
3. *Mobile Station* memindahkan pilot ke aktif set
4. bila $\text{pilot} < T_DROP$, *Mobile Station* akan mengaktifkan *Handoff Drop Timer* (T_DROP) yang lamanya tergantung pada nilai dari T_DROP
5. bila *Timer* selesai, mobile station melaporkannya ke *Base Stasion*
6. *Base Stasion* mengirimkan arah *Handoff*

7. *Mobile Stasion* memindahkan pilot dari *Active Set* ke *Neighbor Set*

Tabel 4 menunjukkan contoh ukuran daerah *Soft Handoff* berdasarkan harga T_ADD dan T_DROP yang berbeda-beda

Tabel 4. Pengontrolan Daerah *Soft Handoff* Menggunakan Nilai Thershold

$T_ADD=T_DROP$	% daerah <i>Soft Handoff</i>
-16 dB	55 %
-14 dB	45 %
-12dB	31%
-10dB	23%

Ketika *Mobile Stasion* memasuki daerah *Soft Handoff*, panggilan dilayani oleh dua sel site. Hal ini akan memboroskan peralatan yang ada (*Hardware Overhead*) sehingga jumlah pengguna yang dilayani tidak sama dengan jumlah kanal trafik yang tersedia karena satu pengguna memakai lebih dari satu kanal trafik. Besarnya *hardware Overhead* ini tergantung pada besarnya daerah *Soft Handoff*.

2.5. Multiuser Pada Arah Foward

Pada operasi *Foward*, *Base Stasion* membangkitkan aliran data untuk masing –masing mobil b_1 , kemudian aliran data ini dikalikan dengan deretan kode *Direct Sequencenya* masing –masing $c_1(t)$. Kemudian semua data terkode itu dijumlahkan. Contoh untuk *Mobile Station* pada arah *Foward* dapat ditunjukkan pada gambar untuk pengguna.

$y = \sum_{j=1}^3 y_j$, kemudian hasil penjumlahan dari sinyal tersebar ini dimodulasi dengan

sebuah pembawa, sehingga diperoleh $\left[\sum_{j=1}^3 c_j(t)b_j(t) \right] \cos \omega_c t$, kemudian sinyal ini

dipancarkan. IS-95 menggunakan deretan kode yang berbeda-beda untuk mengidentifikasi panggilan. Ada deretan yang dipakai untuk mengidentifikasi base stasion yang sedang melayani dan ada juga deretan ditangani oleh base stasion. Identifikasi base stasion dilakukan dengan menggunakan deretan *Pseudo Noise* yang berbeda *Offsetnya* satu sama lain (PN-1, PN-2, PN-3, ...). pada IS-95 deretan kode ini disebut *pilot PN Sequence* yang berbeda. Panggilan pada foward pada suatu sel ditandai dengan deretan kode yang disebut fungsi *Walsh* (W_1, W_2, W_3, \dots) yang masing-masing unik dan diulang dari sel ke sel. Pada arah reverse fungsi *Walsh* tidak digunakan untuk identifikasi panggilan karena pengguna pada sel yang sama akan mengalami *Delay* yang berbeda-beda dan fungsi *Walsh* yang diterima tidak akan tersinkronisasi. Fungsi *Walsh* sudah mengalami pergeseran waktu satu dengan yang lain tidak akan menghasilkan korelasi sama dengan nol.

2.6. Level Daya

Sepanjang perbandingan sinyal terhadap interferensi untuk masing-masing pengguna cukup, para pengguna akan mempunyai kualitas suara yang cukup baik, tetapi kualitas suara itu akan menurun apabila jumlah pengguna akan menurunkan perbandingan sinyal terhadap noise untuk semua pemakai. Analisis kasus terbaik dapat dilakukan dengan asumsi hanya ada satu sel dan power kontrol bekerja

dengan ideal sehingga sinyal tiba dibase stasion dengan kuat yang sama. Dapat ditentukan perbandingan sinyal terhadap noise sebagai fungsi jumlah pengguna

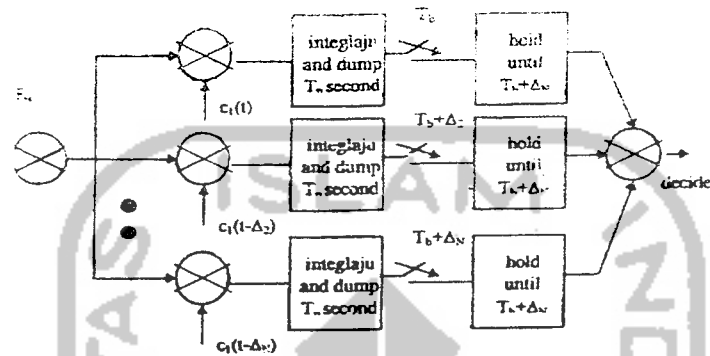
1. Perbandingan sinyal noise, E_b / N_0 berhubungan dengan perbandingan sinyal terhadap interferensi keluaran. Jika A_s adalah amplitudo sinyal yang diinginkan, A_i adalah amplitudo dari sinyal interferensi dari pengguna i , E_b adalah energi bit yang diterima, dan N_f adalah kerapatan *Spectral noise* total
2. apabila diasumsikan level daya semua pengguna adalah sama, $A_i = A_j$, sehingga

$$\frac{E_b}{N_f} = \frac{A_s^2 T_b / 2}{(M-1) \frac{A_i^2}{3} T_c} = \frac{3G}{2(M-1)} \quad (2.6)$$

2.7. Penerima *RAKE*

Dalam sistem *CDMA*, sinyal yang dikirimkan dari pengirim ke penerima juga sering mengalami pudaran. Dalam hal ini jenis pudaran yang mengganggu dapat berupa pudaran datar maupun pudaran frekuensi tertentu. Jenis pudaran yang cukup dominan dan sering mengganggu adalah pudaran lintasan jamak. Ini dikarenakan pemakaian sistem *CDMA* yang umumnya pada sistem seluler adalah warga yang pemukimannya rapat sehingga banyak benda-benda maupun bangunan yang dapat menyebabkan terjadinya lintasan jamak pada sinyal *CDMA* tersebut. Untuk teknik itu peragaman juga dipakai dalam penerima *RAKE* (*Rake Receiver*).

Penerima *RAKE* adalah adanya *Multipath* maka diperoleh tambahan *Noise* pada sistem apabila *Delay Spread* lebih besar dari waktu *Chip*. Peningkatan performansi dapat dilakukan apabila lintasan – lintasan yang tiba pada penerima dapat dideteksi secara terpisah dan kemudian digabungkan secara koheren (disamakan fasanya).



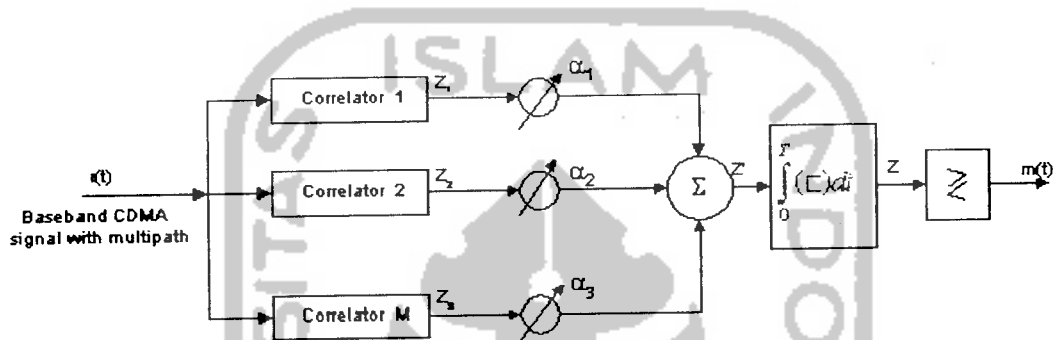
Gambar 2.15. Penerima RAKE

Cara kerja penerima *RAKE* ditunjukkan oleh gambar 2.15 misalkan sinyal yang sampai pada *Mobile Station* 1, $z(t)$ merupakan penjumlahan dari N lintasan sinyal. Untuk lintasan sinyal 2 perkalian $z(t)$ dengan $c_i(t - \Delta_2)$, kemudian intergrasi dimulai pada Δ_2 , sehingga T_b detik akan menghasilkan respon untuk lintasan 2. Hal yang sama akan dilakukan untuk semua lintasan kemudian merespon semua lintasan dijumlahkan setelah fasanya sama. Penerima *RAKE* ini akan menghasilkan sinyal yang lebih kuat untuk proses demodulasi.

Pada *CDMA* digunakan penerima *RAKE* sebagai *Diversitas*. Sebagai hasil dari *Diversitas* diperoleh faktor penguatan oleh adanya *Diversitas* yang

memungkinkan untuk mengurangi daya pancar rata – rata base stasion tanpa menurunkan kualitas suara. Pada sistem *CDMA* pengurangan daya pancar rata-rata berarti penurunan interferensi yang dialami pengguna lain pada sistem dan akhirnya meningkatkan sistem secara menyeluruh.

Penerima *RAKE* menggabungkan sinyal –sinyal asli yang ter*Delay* dengan memakai penerima yang memiliki korelasi yang terpisah untuk tiap sinyal *Multipath*.



Gambar 2.16 Implementasi M cabang *RAKE Receiver*

Gambar 2.16 menunjukan blok diagram penerima *RAKE* untuk sinyal *CDMA* dimana komponen – komponen *Multipath* tidak mempunyai korelasi antara satu dengan yang lainnya ketika *Delay* propagansi lebih dari *Periode Chip*.

Sebuah penerima *RAKE* menggunakan korelator lebih dari satu untuk mendeteksi M komponen *Multipath* yang terkuat. *Output* dari setiap korelator mempunyai bobot untuk memberikan perkiraan yang lebih baik dibandingkan dengan satu komponen. *Demodulasi* dan pengambilan keputusan bit tergantung pada keluaran dari korelator M. Diluar ruangan *Delay* antara komponen *Multipath* mempunyai nilai cukup besar dan jika laju chip telah ditentukan, *Autokorelasi*

yang rendah dari *Spread Spektrum* dari *CDMA* dapat membuktikan bahwa antara komponen *Multipath* akan tidak berkorelasi antara satu dengan yang lain.

Diasumsikan terdapat M korelator yang digunakan dalam penerima *CDMA* untuk menangkap M komponen *Multipath* yang terkuat. Pemberian bobot digunakan untuk memberikan kombinasi linier dari output korelator untuk deteksi bit. Korelator 1 telah disinkronkan untuk *Multipath* yang terkuat m_1 . Komponen *Multipath* m_2 datang lebih lambat t daripada komponen m_1 . Korelator kedua disinkronkan untuk m_2 . Korelator ini mempunyai korelasi yang erat dengan m_2 tetapi mempunyai korelasi yang rendah dengan m_1 . Perlu diingat bahwa jika hanya menggunakan satu korelator pada penerima, jika keluaran dari korelator tersebut rusak karena *Fading*, penerima tidak dapat membetulkan kerusakan tersebut. Pengambilan keputusan bit yang berdasarkan penggunaan satu korelator akan menghasilkan *Bit Error Rate (BER)* yang tinggi. Pada penerima *RAKE*, jika keluaran dari satu korelator rusak oleh *Fading*, korelator yang lain mungkin tidak rusak, dan sinyal yang rusak tidak dihitung pada saat proses pemberian bobot. Keputusan yang diambil berdasar pada kombinasi dari M keputusan statistik terpisah yang ditawarkan oleh penerima *RAKE* dapat mengatasi pengaruh akibat *Fading* dan memperbaiki penerimaan *CDMA*. M keputusan statistik diberi bobot untuk membentuk semua keputusan statistik seperti ditunjukkan gambar 8 keluaran dari M korelator dinotasikan sebagai $Z_1, Z_2, Z_3, \dots, Z_M$. Masing-masing diberi bobot a_1, a_2, a_3, a_M . Koefisien bobot yang diberikan berdasarkan pada kuat sinyal atau *SNR* dari tiap keluaran korelator. Jika kuat sinyal atau *SNR* yang keluar

dari korelator kecil, akan diberikan faktor bobot yang kecil pula. Total keluaran Z' dapat diberikan :

$$Z' = \sum_{m=1}^M \alpha_m Z_m$$

Koefisien bobot Z_m , dinormalisasi dengan kuat sinyal output dari korelator dan keluaran dari korelator tersebut dijumlahkan semua, seperti ditunjukkan :

$$\alpha_m = \frac{Z_m}{\sum_{m=1}^M Z_m}$$

Seperti pada *Equalizer* adaptif dan penggabungan *Diversitas*, ada banyak cara untuk membangkitkan koefisien bobot. Berdasar pada interferensi *Multiple* akses, cabang *RAKE* dengan amplitudo *Multipath* yang kuat tidak akan diperlukan untuk menghasilkan keluaran yang kuat setelah proses korelasi. Pemilihan koefisien bobot berdasar pada keluaran dari korelator menghasilkan kinerja penerima *RAKE* yang lebih baik

Secara umum terdapat tiga metode yang dapat digunakan dalam pembobotan sinyal yaitu

1. Penggabungan seleksi (*Selection Combining*).
2. Penggabungan penguatan yang sama (*Equal Gain Combining*)
3. Penggabungan rasio maksimal (*Maximum Ratio Combining*)

a. Penggabungan Seleksi

Dalam teknik penggabungan seleksi (*Selection Combining*) ini, sinyal keluaran penggabungan adalah sinyal yang terbaik dari keluaran pencabangan yang ada. Jadi, sinyal keluaran pencabangan akan dipilih yang terkuat secara

kontinu. Dengan prinsip ini maka sinyal terkuat bisa saja berasal dari pencabangan yang berbeda – beda atau berganti – ganti. Besarnya *SNR (Signal To Noise Ratio)* rata – rata pada masing – masing pencabangan adalah

$$SNR = \bar{\gamma} = \Gamma = \frac{E_b}{N_0} \alpha^2 \quad (2.7)$$

Ket:

SNR = Signal To Noise Ratio

$\frac{E_b}{N_0}$ = perbandingan energi per bit terhadap spectral derau (dB)

Γ = *Eskponen Path Loss*

dari persamaan diatas, diperoleh PDF (*Probability Density Function*) pencabangan

$$p(\gamma) = \frac{1}{\Gamma} e^{-\gamma/\Gamma} \text{ dengan } \gamma \geq 0 \quad (2.8)$$

Ket :

$P(\gamma)$ = *daya Path Loss*

Γ = *Eskponen Path Loss*

jika *SNR* ambang diberi sebesar t , maka probabilitas sebuah cabang mempunyai *SNR* lebih kecil dan sama dengan t adalah

$$\Pr(\gamma \leq t) = \int_0^t \frac{1}{\Gamma} e^{-\gamma/\Gamma} d\gamma = 1 - e^{-t/\Gamma} \quad (2.9)$$

probabilitas *SNR* semua pencabangan yang lebih kecil atau sama dengan *SNR* ambang t adalah

$$\Pr(\gamma_1, \gamma_2, \gamma_3, \dots, \gamma_m \leq t) = (1 - e^{-t/\Gamma})^M = P_M(\gamma) \quad (2.10)$$

b. Penggabungan penguatan sama

Teknik penggabungan penguatan sama (*Equal Gain Combining, EGC*) menggunakan pembobotan yang sama besar bagi setiap sinyal keluaran percabangan, sehingga sinyal keluaran dari masing –masing percabangan mempunyai penguatan yang sama besar. Sebelum melakukan pembobotan, sinyal keluaran korelator terlebih dahulu mengalami sinkronisasi fase tunda waktu sehingga sinyal – sinyal keluaran dari percabangan adalah koheren. Secara matematis, sinyal keluaran dari penggabungan ini dituliskan dengan

$$|r_M| = \sum_{i=1}^M |r_i|; \text{ dengan } M \text{ adalah jumlah percabangan} \quad (2.11)$$

Ket :

r_M = sinyal hasil penggabungan

M = jumlah percabangan

r_i = jumlah penggabungan sinyal

c. Penggabungan rasio maksimal

Prinsip teknik penggabungan rasio maksimal (*Maximum Ratio Combining, MRC*) adalah untuk mendapatkan *SNR* penggabungan yang optimal dengan cara memberikan pembobotan yang proporsional terhadap *SNR* sinyal keluaran masing –masing percabangan. Jika *SNR* sinyal keluaran dari suatu percabangan semakin besar, maka besar bobot sinyal tersebut semakin besar. Seperti halnya dengan teknik penggabungan sama (*EGC*), dalam teknik ini juga diperlukan sinkronisasi fase dan tunda waktu sinyal masing –masing cabang sebelum dilakukan pembobotan.

Jika besarnya penguatan (*Gain*) dan derau pada pencabangan adalah G_i dan N_i , maka sinyal hasil penggabungan r_M dan derau total N_T adalah

$$r_M = \sum_{i=1}^M G_i r_i \quad (2.12)$$

Ket :

r_M = sinyal hasil penggabungan

G_i = jumlah besar penguatan

r_i = jumlah penggabungan sinyal

$$N_T = N \sum_{i=1}^M G_i^2 \quad (2.13)$$

Ket :

N_T = derau total

N = Noise

M = jumlah pencabangan

G_i^2 = jumlah *Processing Gain*

Sehingga besarnya SNR γ_M sinyal pada penggabungan adalah

$$\gamma_M = \frac{r_M^2}{2N_T} \quad (2.14)$$

Ket :

γ_M = besarnya sinyal pada penggabungan SNR

N_T = derau total

r_M^2 = sinyal penggabungan