

1.1 Runtun Langsung (*Direct Sequence, DS*)

Dalam sistem spektrum tersebar runtun langsung (*direct sequence spread spectrum, DSSS*) semua pengguna menempati lebar bidang yang sama pada waktu yang sama tetapi dengan runtun atau sandi unik yang saling ortogonal. Isyarat informasi dimodulasi langsung oleh runtun PN dan menghasilkan isyarat yang memodulasi gelombang pembawa bidang lebar. Dua runtun x dan y dikatakan ortogonal jika korelasi-silangnya (*cross correlation*) $R_{xy}(0)$ selama periode T adalah nol.

$$R_{xy}(0) = \int_0^T x(t)y(t) dt \quad (1.1)$$

Dalam waktu diskret, dua runtun x dan y dikatakan ortogonal jika perkalian-silangnya (*cross product*) $R_{xy}(0)$ adalah nol.

$$R_{xy}(0) = x^T y = \sum_{i=1}^I x_i y_i \quad (1.2)$$

dengan :

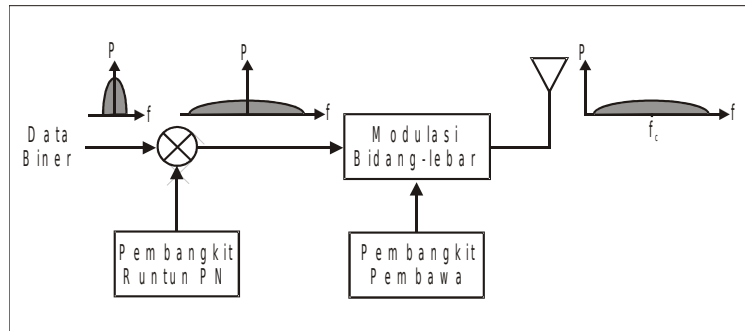
$$x^T = [x_1 \ x_2 \ \dots \ x_3]$$

$$y^T = [y_1 \ y_2 \ \dots \ y_3]$$

Sandi ortogonal yang digunakan pada komunikasi CDMA spektrum tersebar runtun langsung memiliki syarat antara lain sebagai berikut.

1. Korelasi-silang antar sandi sama dengan nol atau sangat kecil
2. Tiap runtun memiliki bit 1 dan -1 dengan jumlah yang sama atau jumlah bit 1 dan -1 berbeda 1 bit.
3. Perkalian titik terskala (perkalian sandi dengan versi *transpose*-nya sendiri dibagi

panjang sandi) harus sama dengan 1.

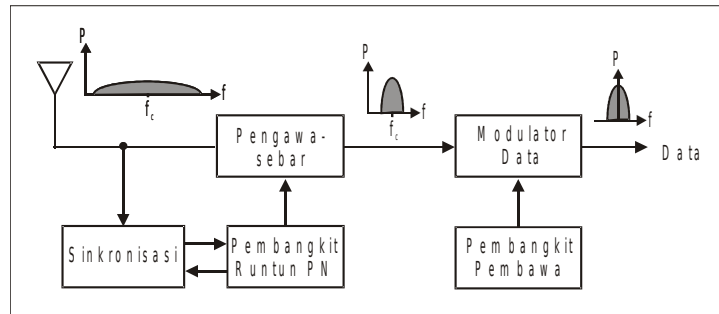


Gambar 1.1 Diagram blok pengirim spektrum tersebar runtun langsung

Gambar 1.1 memperlihatkan diagram blok pengirim spektrum tersebar runtun langsung. Isyarat data biner dimodulasi runtun PN yang memiliki nilai -1 atau $+1$. Untuk mendapatkan penyebaran isyarat yang diinginkan maka pesat *chip* runtun PN harus lebih tinggi dari pesat *chip* isyarat informasi.

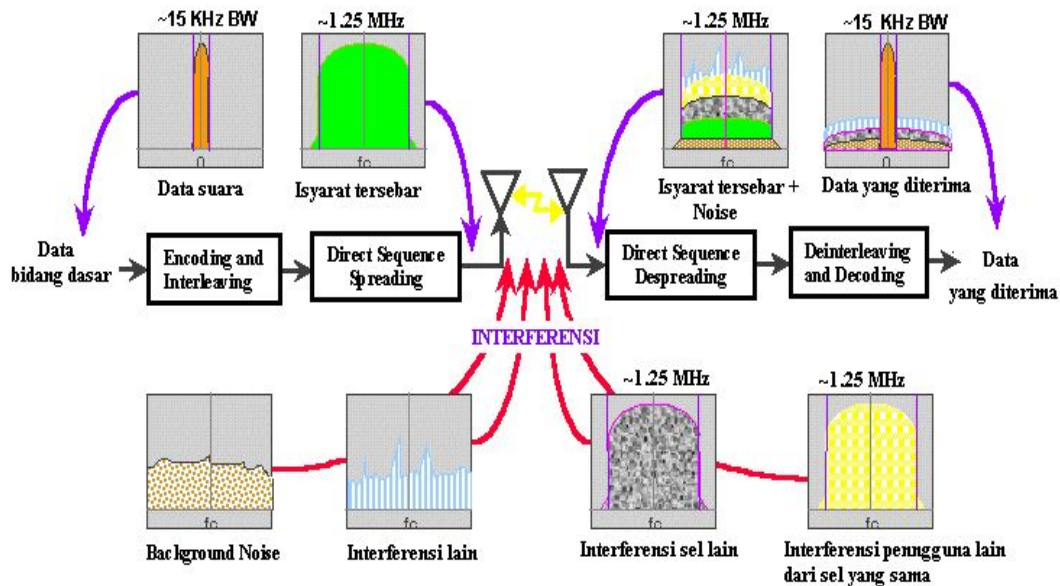
Setelah pengiriman isyarat, penerima pada Gambar 2.6 menggunakan demodulasi koheren untuk pengawasebaran isyarat spektrum tersebar dengan menggunakan runtun PN lokal. Agar operasi pengawasebaran berhasil, penerima harus mengetahui runtun PN yang digunakan untuk menyebarkan isyarat. Selain itu runtun 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 pengawasebaran 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 pengawasebar berupa isyarat spektrum tersebar).



Gambar 1.2 Diagram blok penerima spektrum tersebar runtun langsung

Secara garis besar, pengolahan data dari pengirim sampai ke penerima pada komunikasi spektrum tersebar runtun langsung ditunjukkan Gambar 1.3. Dalam gambar tampak bahwa interferens dalam sistem disebabkan oleh pengguna lain dalam sel yang sama, sel lain, serta derau dan interferens lain seperti interferens sistem radio lain.



Gambar 1.3 Skema pengolahan data pada komunikasi spektrum tersebar runtun langsung

1.2 Lompatan Frekuensi (*Frequency Hopping, FH*)

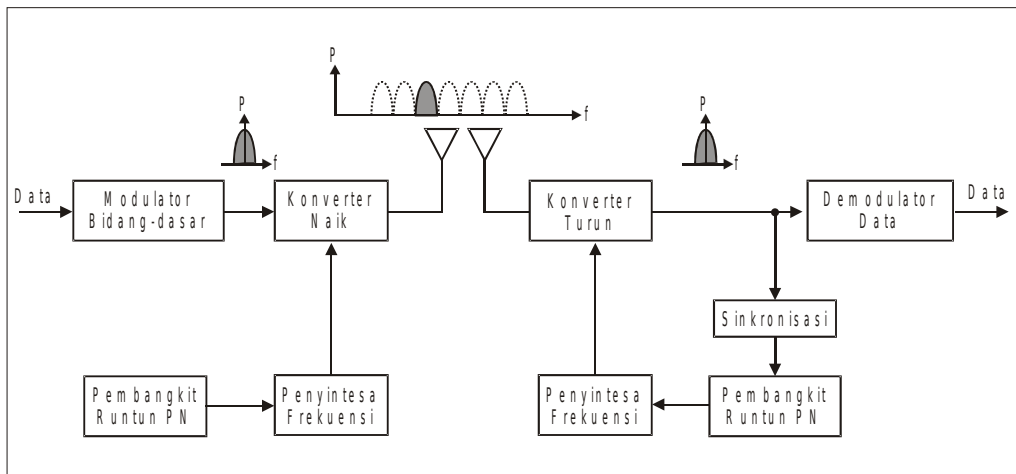
Pada spektrum tersebar lompatan frekuensi (*frequency hopping spread spectrum, FHSS*), frekuensi pembawa yang memodulasi isyarat informasi tidaklah konstan melainkan berubah secara periodis. Selama interval waktu tertentu frekuensi pembawanya tetap, tetapi setelah itu pembawa melompat ke frekuensi lain (atau mungkin juga ke frekuensi yang sama). Pola lompatan atau perpindahan frekuensi pembawa ini ditentukan oleh runtun PN. Sebuah set 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 ketika melakukan transmisi, sedangkan sistem lompatan frekuensi hanya menggunakan sebagian kecil lebar-bidang ketika melakukan transmisi, tetapi lokasinya berubah terhadap waktu.

Diagram blok spektrum tersebar runtun langsung diperlihatkan pada Gambar 1.4. 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 dilakukan pembawa lokal sinkron dengan di pengirim sehingga pengawa-sebaran yang benar dapat dilakukan.

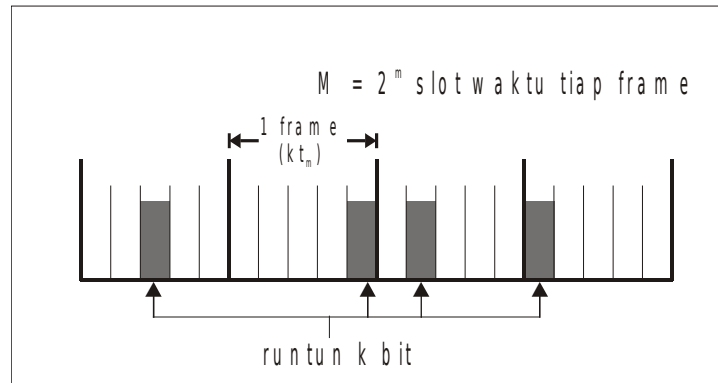


Gambar 1.4 Diagram blok pengirim dan penerima spektrum tersebar lompatan frekuensi

Sistem lompatan frekuensi dibagi berdasarkan pesat 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 ditransmisikan pada beberapa frekuensi. Bila pesat lompatan lebih kecil dari pesat simbol maka disebut lompatan fekuensi lambat (*slow frequency hopping*, S-FH). Pada sistem S-FH beberapa simbol ditransmisikan pada frekuensi yang sama.

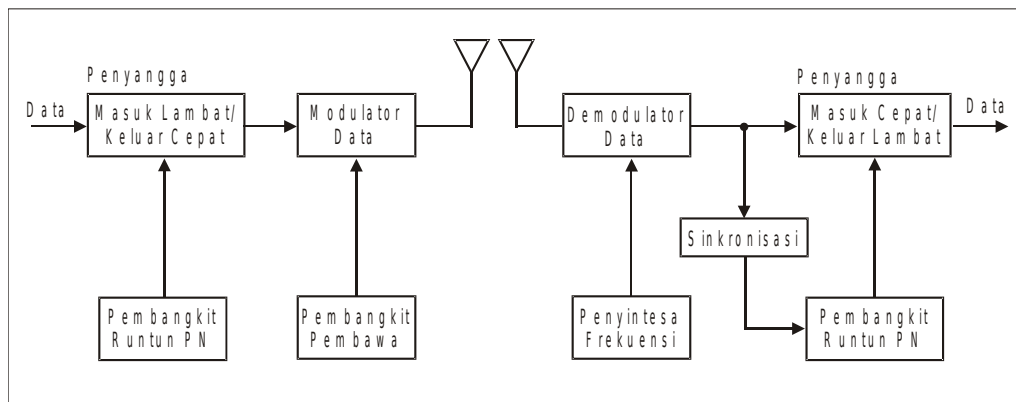
1.3 Lompatan Waktu (*Time Hopping*, TH)

Pada sistem 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 1.5. Sumbu horisontal 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 slot waktu yang dipilih. Pada Gambar 1.6 diperlihatkan diagram blok sistem spektrum tersebar lompatan waktu.



Gambar 1.5 Bentuk gelombang lompatan waktu

Lebar tiap slot waktu pada *frame* adalah T_f/M ($T_f = \text{periode frame}$) dan lebar tiap bit pada slot waktu adalah T_f/kM ($k = \text{jumlah bit pesan dalam suatu frame}$), secara sederhana t_m/M ($T_f = kt_m$). Ini menunjukkan bahwa lebar bidang isyarat yang dikirim adalah $2M$ kali lebarbidang pesan. Oleh karena itu *processing gain* sistem lompatan waktu sebesar dua kali slot waktu setiap *frame* jika digunakan modulasi *biphase* dan seperempat bila digunakan modulasi *quadriphase*.

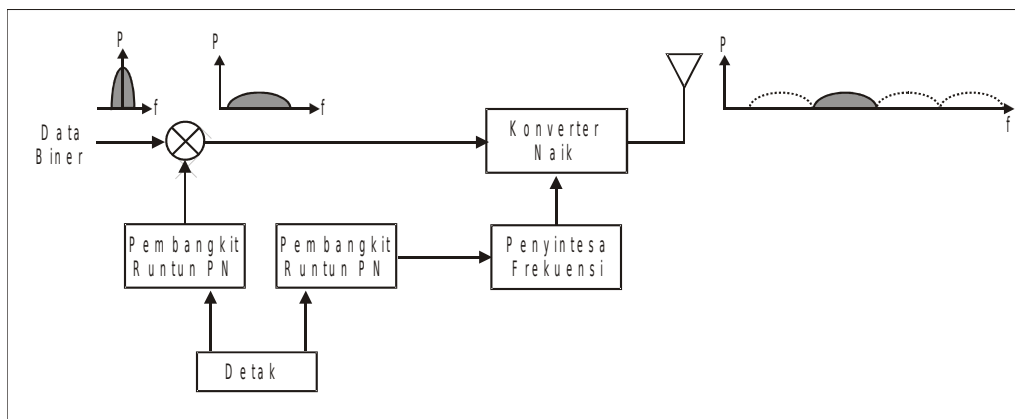


Gambar 1.6 Diagram blok pengirim dan penerima spektrum tersebar lompatan waktu

1.4 Hybrid

Sistem *hybrid* mencakup semua sistem spektrum tersebar yang menggunakan kombinasi dua atau lebih teknik yang dibahas sebelumnya atau kombinasi dengan teknik masup-jamak lainnya. Dengan menggabungkan teknik dasar modulasi spektrum tersebar maka didapat empat macam sistem *hybrid* berikut ini.

- a. DS/FH,
- b. DS/TH,
- c. FH/TH, dan
- d. DS/FH/TH.



Gambar 1.7 Diagram blok pengirim spektrum tersebar DS/FH

Ide dasar sistem *hybrid* 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 rangkaian pengirim dan penerima. Pada Gambar 1.8 diilustrasikan pengirim DS/FH.

Isyarat data pertama disebar dengan menggunakan runtun PN sistem runtun langsung. Isyarat tersebar kemudian dimodulasi pembawa yang frekuensinya melompat-lompat sesuai dengan runtun PN lainnya. Sebuah detak digunakan untuk menjamin hubungan yang tetap antara kedua runtun PN.

1.5 Sandi Walsh

Sandi Walsh merupakan sandi yang digunakan sebagai sandi penyebar dan pengawasebaran data dalam sistem komunikasi CDMA yang digunakan pada arah *downlink* maupun *uplink*. Sandi ini sangat penting untuk menghilangkan interferens sehingga pengguna yang satu tidak akan mengganggu pengguna yang lain walaupun mereka menggunakan frekuensi yang sama. Kemampuan sandi Walsh ini didasarkan pada sifatnya yang ortogonal. Suatu sandi dikatakan ortogonal dengan sandi yang lain apabila kedua sandi itu memiliki korelasi-silang sama dengan nol. Korelasi-silang ini diperoleh dengan mengalikan runtun bit kedua sandi menggunakan logika *XOR*. Bila *XOR* dari kedua sandi menghasilkan jumlah bit 0 dan bit 1 yang sama maka kedua sandi memiliki korelasi-silang nol.

$$\begin{array}{l}
 \mathbf{H}_1 = [0 \ 1] \qquad \mathbf{H}_2 = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \\
 \\
 \mathbf{H}_3 = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 1 \end{bmatrix} \begin{array}{l} = W_0 \\ = W_1 \\ = W_2 \\ = W_3 \end{array} \qquad \mathbf{H}_{2N} = \begin{bmatrix} \mathbf{H}_N & \mathbf{H}_N \\ \mathbf{H}_N & \mathbf{H}_N \end{bmatrix}
 \end{array}$$

Gambar 1.8 Proses pembentukan sandi Walsh

Sandi Walsh dibentuk dengan menggunakan matriks Hadamard. Secara sederhana matriks ini dihasilkan dengan memulai sebuah matriks dengan nilai 0, mengulang nilai 0 secara horisontal dan vertikal serta membalik nilai 0 tadi menjadi 1 secara diagonal. Proses ini akan dilanjutkan dengan membuat blok-blok baru sehingga dihasilkan sandi Walsh dengan panjang sandi yang diinginkan. Sandi Walsh dibentuk dengan cara seperti ditunjukkan pada Gambar 1.8.

Masing-masing pengguna bergerak dalam sistem komunikasi CDMA menggunakan satu set sandi ortogonal yang digunakan yang mewakili simbol-simbol yang digunakan dalam transmisi. Pada arah *downlink*, sandi ortogonal digunakan untuk kanal-kanal informasi yang unik. Ketika ada beberapa runtun yang berbeda dapat digunakan untuk satu set sandi ortogonal, maka runtun Walsh dan Hadamard adalah runtun yang sesuai dipakai untuk hal itu.

Ada dua cara berbeda dapat digunakan untuk memodulasi sandi-sandi ortogonal menjadi aliran informasi isyarat CDMA. Pasangan ortogonal sandi-sandi dapat digunakan sebagai sandi kanal pada arah *downlink* atau dapat pula digunakan untuk memodulasi fungsi-fungsi ortogonal ke dalam aliran informasi isyarat CDMA pada arah *uplink*.

Sandi penyebar Walsh dapat digunakan jika penerima tersinkronisasi secara waktu dengan pengirim, artinya tidak boleh ada pergeseran antara sandi yang dikirimkan dengan yang diterima walaupun hanya satu *chip* karena korelasi-silang antara sandi Walsh yang bergeser dengan sandi aslinya tidak sama dengan nol. Pada arah *downlink*, stasiun basis (*Base Transceiver Station*, BTS) mengirimkan sebuah pemandu supaya penerima dapat melakukan sinkronisasi. Dalam sistem IS-95, isyarat pemandu tidak

digunakan pada arah *uplink*. Oleh karena itu, modulasi simbol Walsh digunakan dari pesawat bergerak (*Mobile Station*, MS) ke BTS. Dalam sistem W-CDMA, pemandu dikirim pada kedua arah, sehingga teknik penyebaran jamak dapat juga digunakan pada arah *uplink*.

IS-95 menggunakan sandi ortogonal sebagai sebuah sandi kanal pada arah *downlink*, dan menggunakan sandi ortogonal untuk modulasi simbol pada arah *uplink*. Sandi ortogonal memiliki karakteristik sebagaimana persamaan (1.3).

$$\sum_{k=0}^{M-1} \varphi_i(k\tau)\varphi_j(k\tau) = 0 \quad i \neq j \quad (1.3)$$

dengan $\varphi_i(k\tau)$ dan $\varphi_j(k\tau)$ adalah anggota ortogonal ke i dan j dari kelompok pasangan ortogonal, M panjang kelompok pasangan, dan τ durasi simbol.

Pada kanal *downlink*, sandi Walsh digunakan untuk menghilangkan interferens antar kanal antar pengguna dalam sel yang sama. Semua sandi Walsh tersinkronisasi dalam sebuah sel dan memiliki autokorelasi sama dengan nol satu sama lain. Beberapa langkah ini menjelaskan Gambar 1.8 yang menggunakan tiga pengguna.

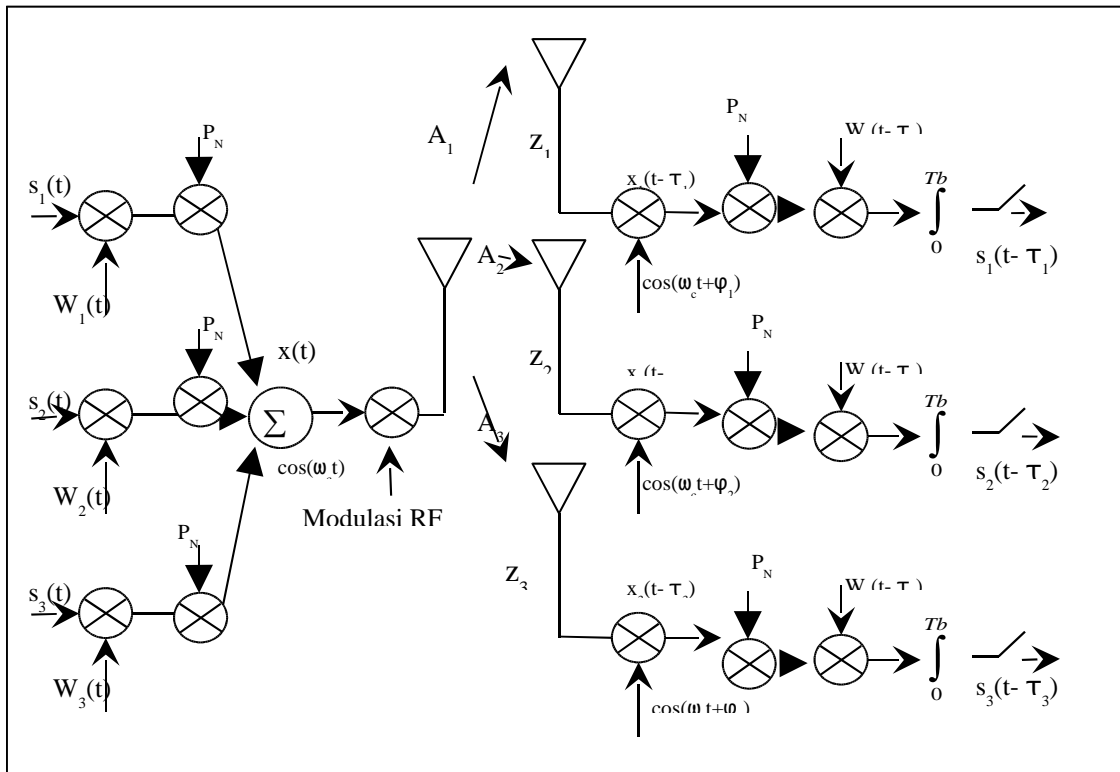
- a. Masukan data pengguna (misal isyarat suara) dikalikan dengan sandi Walsh ortogonal.
- b. Data pengguna kemudian disebar oleh sandi PN pemandu pada stasiun dasar dan dikirimkan ke pembawa.
- c. Pada penerima, pesawat bergerak mengalikan isyarat yang terdeteksi dengan sandi PN (*Pseudo Noise*) tersinkron yang dikenali stasiun dasar.
- d. Kemudian isyarat dikalikan lagi dengan dengan sandi Walsh tersinkron oleh

pengguna ke- i , yang akan menghilangkan interferens dari isyarat pengguna lain saat pengiriman, dan mengeluarkan sinyal informasi yang diinginkan.

1.6 Runtun Acak Semu (*Pseudo Noise, PN*)

Runtun PN adalah runtun biner periodis yang bersifat seperti *noise* dengan spektrum frekuensi yang lebar. Dalam sistem CDMA runtun PN melakukan fungsi pengacakan (*scrambling*) isyarat tersebar (*spreading*).

Runtun PN dihasilkan dengan mengkombinasikan keluaran-keluaran sebuah register geser umpan balik. Sebuah register geser umpan-balik terdiri atas beberapa pengingat dua keadaan yang saling berturutan atau beberapa tingkat penyimpanan dan logika umpan balik. Runtun biner digeser sepanjang register geser sebagai tanggapan terhadap pulsa detak. Isi masing-masing penyimpanan secara logika dikombinasikan untuk menghasilkan masukan penyimpanan pertama. Kondisi awal masing-masing penyimpanan logika umpan balik menentukan kondisi-kondisi penyimpanan-penyimpanan selanjutnya. Penyimpanan-penyimpanan ini biasanya berupa *flip-flop*. Sebuah register geser umpan balik dan keluarannya bersifat linear sementara logika umpan balik seluruhnya terdiri atas penjumlahan *modulo-2*.



Gambar 1.9 Konfigurasi sederhana sistem CDMA dengan 3 pengguna

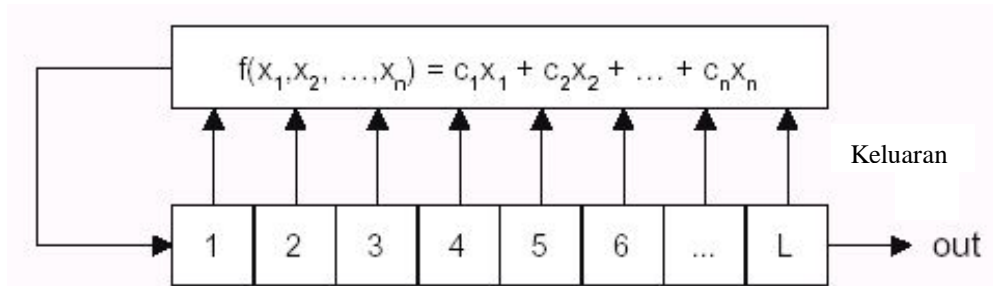
Runtun keluaran pembangkit PN dapat dikelompokkan sebagai panjang maksimal atau panjang tidak maksimal. Runtun panjang maksimal adalah runtun terpanjang yang dapat dihasilkan oleh sebuah register geser dengan panjang tertentu. Untuk pembangkit runtun register geser biner, panjang runtun maksimal yang dapat dibuat $2^n - 1$ dengan n adalah jumlah penyimpanan di dalam register geser.

Runtun maksimal memiliki periode pengulangan runtun dalam pulsa detak adalah $T_0 = 2^n - 1$, untuk sebuah register geser umpan balik dengan n penyimpanan. Jika sebuah register geser umpan-balik menghasilkan runtun maksimal, maka semua keluarannya

yang bukan semuanya nol juga maksimal. Ketika sebuah register geser dengan n penyimpan digunakan untuk menghasilkan sebuah runtun panjang maksimal, runtun yang dihasilkan akan memiliki sifat-sifat berikut ini.

1. Jumlah logika satu dalam runtun selalu lebih besar satu bit dibanding dengan jumlah logika nol. Contoh: untuk 1023 bit sandi maka terdiri atas 512 logika satu dan 511 logika nol.
2. 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.
3. 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.
4. Penambahan *modulo-2* sandi linear maksimal dengan fase tergeser tiruan sandi itu sendiri menghasilkan tiruan lain dengan pergeseran fase yang berbeda dengan aslinya.
5. Setiap keadaan yang mungkin, disebut juga *n-tuple*, untuk pembangkit n -gerbang yang diberikan selalu ada pada waktu siklus pembangkitan sandi. Masing-masing keadaan hanyalah sebesar satu bit. Pengecualian adalah keadaan semua nol secara normal tidak terjadi dan tidak diijinkan untuk terjadi.
6. 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 1.10 menunjukkan pembangkit runtun maksimal register geser umpan-balik. Runtun maksimal (*m-sequences*) adalah sandi terbesar yang dapat dihasilkan oleh register geser yang digunakan. Setiap waktu detak, register menggeser seluruh isinya ke kanan.



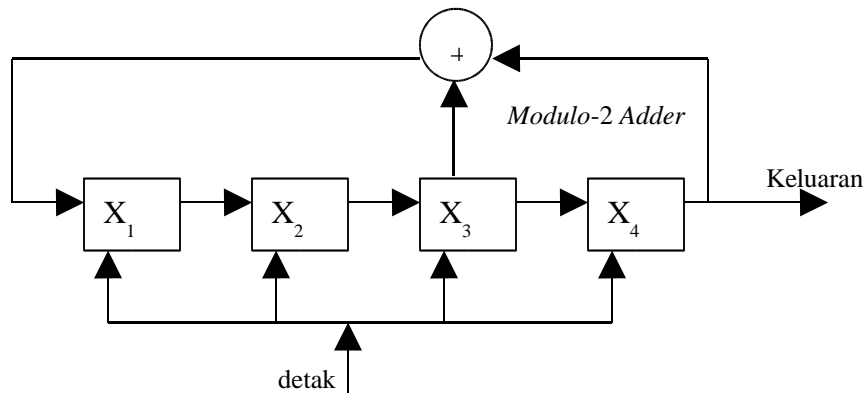
Gambar 1.10 Pembangkit runtun PN dengan register geser sederhana

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

$$G(D) = g_0(D)/f(D) \tag{1.4}$$

$f(D)$ adalah polinomial karakteristik pembangkit runtun register geser umpan-balik linear (LFSR). Polinomial ini tergantung pada vektor koneksi c_1, c_2, \dots, c_n dan menentukan sifat utama runtun yang dihasilkan. Polinomial $g_0(D)$ tergantung pada kondisi awal masing-masing penyimpanan dan menentukan pergeseran fase runtun yang dihasilkan. Setiap runtun LFSR periodis 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 adalah jika $f(D)$ merupakan polinomial tidak tereduksi. Polinomial tidak tereduksi yang menghasilkan runtun maksimal dikenal dengan polinomial primitif.

Untuk memperlihatkan sifat-sifat runtun PN biner maka diberi contoh sebuah register geser linear umpan-balik yang memiliki register dengan empat penyimpanan untuk penyimpanan dan penggeseran, sebuah penjumlah *modulo-2*, dan jalur umpan balik dari penjumlah ke masukan register, sebagaimana ditunjukkan Gambar 1.12. Operasi register geser dikendalikan oleh pulsa detak.



Gambar 1.11 Register geser umpan-balik empat penyimpanan

Pada setiap pulsa detak, isi masing-masing penyimpanan didalam register digeser satu tingkat ke kanan. Juga, pada setiap pulsa detak isi penyimpanan X_3 dan X_4 dijumlahkan *modulo-2* dan hasilnya diumpan-balikkan ke penyimpanan X_1 . Dianggap bahwa penyimpanan X_1 awalnya diisi dengan 0 sedangkan penyimpanan yang lain diisi dengan 0,0 dan 1 sehingga kondisi awal register adalah 0001. Selanjutnya, dengan operasi pergeseran, penjumlahan dan pengumpan-balikan akan diperoleh hasil setiap siklus pada Tabel 1.2.

Tampak pada Tabel 1.2 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 tujuh, berbeda satu dengan jumlah keseluruhan bit 1 yaitu delapan.

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 register geser linear dengan n penyimpan tidak dapat melebihi 2^n-1 karena jumlah keadaan tidak nol tepat sejumlah 2^n-1 .

Tabel 1.2 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	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

Freydson 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 2.3 runtun *chip* 2^4-1 .

Tabel 1.3 Penyebaran Aliran untuk 2^4-1 *Chip* Runtun Maksimal

Panjang aliran (<i>chip</i>)	Jumlah aliran		Jumlah (<i>chip</i>) tiap aliran
	Logika satu	Logika nol	
1	2	2	4
2	1	1	4
3	0	1	3
4	1	0	4
Total			15

Sandi PN Pendek (*Short PN Code*)

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

Sandi PN pendek yang biasa digunakan adalah sandi PN 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 sandi PN pendek yang sama namun tergeser fasenya sebesar 64 *chip*, sehingga akan dihasilkan 512 ingsut. Pergeseran 64 *chip* merupakan rekomendasi IS-95 dengan perhitungan berdasar pada jarak minimal *multipath* (yang menghasilkan penerimaan tunda *chip* pada sisi penerima).

Implementasi pada sandi PN 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 *chip* 1 adalah sama.

Sandi PN panjang (*Long PN Code*)

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

1.5 Korelasi-diri dan Korelasi-silang

Sifat korelasi runtun yang digunakan dalam komunikasi spektrum tersebar tergantung pada jenis sandi, panjang sandi, pesat *chip*, dan susunan *chip* demi *chip* sandi

yang digunakan. Baik korelasi-diri maupun korelasi-silang penting dalam perancangan sistem komunikasi.

Korelasi-diri secara umum didefinisikan sebagai ukuran kesamaan antara isyarat dan tiruannya sendiri yang tergeser fase.

$$\Psi(\tau) = \int f(t) \cdot f(t-\tau) dt \quad (1.5)$$

Fungsi korelasi-diri adalah gambar korelasi-diri semua fase tergeser ($t-\tau$) untuk isyarat tersebut.

Korelasi-diri paling berpengaruh dalam pemilihan runtun sandi yang memberikan kebolehjadian sinkronisasi salah paling kecil, sedangkan korelasi-silang penting dalam beberapa bidang seperti sistem CDMA dengan penerima menanggapi semua isyarat dan selain runtun pengalamatan yang tepat tidak diizinkan, atau sistem anti terjangan (*anti jamming*) yang harus menggunakan sandi-sandi dengan korelasi-silang yang sangat rendah.

Korelasi-silang adalah ukuran kesamaan antara dua sandi yang berbeda dan didefinisikan sebagai :

$$\Psi_{cross} = \int_{-\infty}^{\infty} f(t) \cdot g(t-\tau) dt \quad (1.6)$$

Korelasi-silang untuk runtun sandi yang berbeda dapat gambarkan oleh tabel perbandingan dan kurve yang sama dikurangi dengan yang tidak sama, seperti dalam korelasi-diri.

Indeks pembedaan (*index of discrimination*, ID) merupakan hubungan sifat runtun sandi, pasangan runtun, atau runtun dan isyarat lain yang menentukan kemampuan penerima untuk menentukan titik sinkronisasi sandi yang tepat. ID menunjukkan

perbedaan korelasi antara sandi terkorelasi penuh (tersinkronisasi sempurna) dan puncak minor korelasi-diri atau korelasi-silang. Semakin tinggi nilai ID, semakin baik sandi tersebut.

Korelasi-diri dan korelasi-silang runtun sandi dinyatakan sebagai jumlah yang sama dikurangi dengan jumlah yang tidak sama jika sandi atau sandi-sandi dibandingkan *chip* demi *chip*. Contoh berikut memperlihatkan korelasi-diri untuk pembangkit penyimpan geser 3-gerbang, membangkitkan sandi maksimal 7-bit dan ditunjukkan pada Tabel 1.4.

Susunan pembangkit penyimpan geser 3-gerbang:

$$S = S_1 S_2 S_3, S_3 \oplus S_2 \rightarrow S_1, L(S) \rightarrow R(S)$$

Runtun acuan:

1 1 1 0 0 1 0

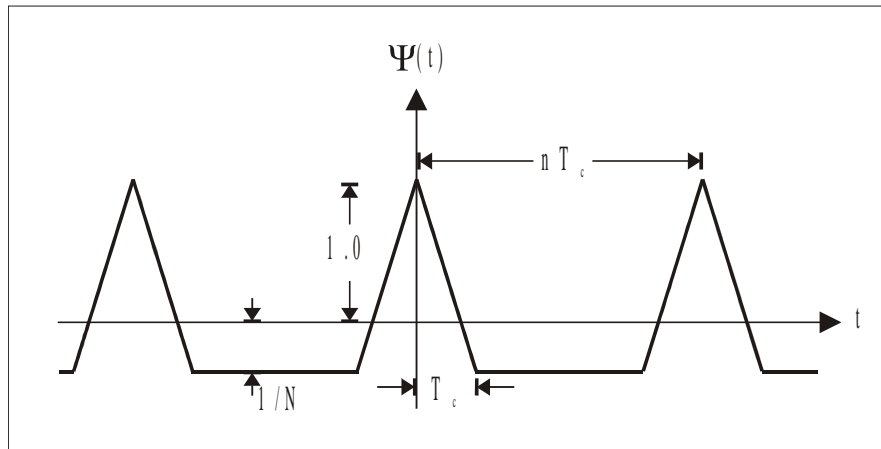
Tabel 1.4 Korelasi-diri untuk semua Pergeseran Pembangkit Geser 3-gerbang

Pergeseran	Runtun	<i>Agreements</i>	<i>Disagreements</i>	A-D
1	0111001	3	4	-1
2	1011100	3	4	-1
3	0101110	3	4	-1
4	0010111	3	4	-1
5	1001011	3	4	-1
6	1100101	3	4	-1
0	1110010	7	0	7

Tampak pada Tabel 1.4 bahwa korelasi *Agreements-Disagreements* adalah -1 untuk semua pergeseran kecuali pergeseran nol atau keadaan sinkron dan untuk keadaan

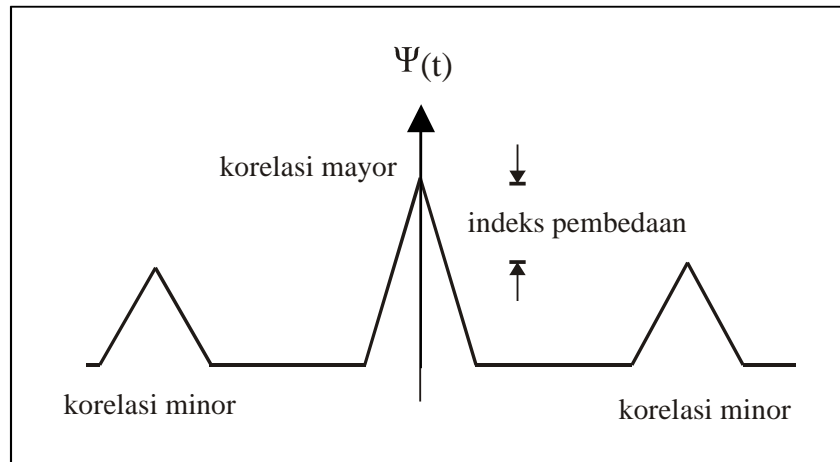
pergeseran nol, A-D adalah $2^n-1=7$. Hal ini adalah khas untuk semua runtun maksimal.

Korelasi meningkat secara linear dalam pergeseran antara nol dan +1 atau -1 *chip* sehingga fungsi korelasi-diri untuk runtun maksimal adalah segitiga seperti yang terlihat pada Gambar 1.13.



Gambar 1.12 Fungsi korelasi-diri runtun maksimal

Sifat khas korelasi-diri tersebut digunakan dalam sistem komunikasi dan pengukuran jarak. Dalam sistem pengukuran jarak, jarak pengukuran dijamin akurat dengan ketelitian 1 *chip* dengan menggunakan puncak korelasi sebagai penanda untuk pengukuran.



Gambar 1.13 Fungsi korelasi-diri untuk runtun tidak maksimal

Jika sistem selain runtun maksimal digunakan, sifat korelasi-diri akan berbeda dengan milik runtun maksimal. Gambar 1.14 memperlihatkan fungsi korelasi-diri yang khas untuk runtun tidak maksimal. Puncak-puncak korelasi minor tergantung pada sandi yang digunakan dan disebabkan oleh korelasi bagian sandi tiruannya sendiri yang tergeser fase. Jika korelasi minor muncul, kemampuan sistem untuk melakukan sinkronisasi dapat terganggu karena harus membedakan antar puncak mayor (± 1 chip) dan korelasi minor.