BAB II

DASAR TEORI

Modulasi adalah proses dimana parameter gelombang pembawa diubah sesuai dengan sinyal pemodulasinya. Modulasi ada dua macam, yaitu modulasi sinyal analog dan modulasi sinyal digital. Contoh modulasi sinyal analog yang sering kita jumpai adalah *Frequency Modulation (FM)* dan *Amplitude Modulation (AM)*, sementara modulasi sinyal digital yang sering digunakan adalah Amplitude *Shift Keying (ASK), Phase Shift Keying (PSK), Frequency Shift Keying (FSK)* dan *Audio Frequency Shift Keying (AFSK).*

2.1 Sistem Spread Spectrum

Lahirnya sistem komunikasi *spread spectrum* pada pertengahan tahun 1950 dilatarbelakangi oleh kebutuhan akan sistem komunikasi yang dapat mengatasi masalah interferensi dan dapat menjamin kerahasiaan informasi yang dikirim. Dalam sistem komunikasi sekarang ini, dimana penggunaan frekuensi sudah cukup padat sehingga interferensi dan noise dari transceiver lain cukup besar. Istilah *Spread Spectrum* digunakan karena pada sistem *spread spectrum* sinyal yang ditransmisikan memiliki bandwidth yang jauh lebih besar dari bandwidth sinyal informasi.

Sistem *spread spectrum* adalah suatu sistem yang sinyal transmisinya menempati lebar pita frekuensi yang jauh lebih besar dari lebar pita frekuensi atau kecepatan informasi yang dikirim, sementara tidak ada kaitan langsung antara sinyal keluaran dengan modulasi oleh sinyal informasinya.

Suatu sistem komunikasi dapat dikategorikan sebagai sistem *spread spectrum* jika sistem tersebut memiliki 2 kriteria :

1. Energi sinyal hasil modulasi *spread spectrum* tersebar pada pita yang jauh lebih besar daripada laju bit informasinya.
2. Proses modulasi dilakukan menggunakan proses korelasi antara sinyal masuk dengan replika sinyal penebar seperti yang digunakan pada pengirim untuk menebarkan sinyal informasinya.

Perbaikan kinerja yang dicapai dengan pemakaian teknik *spread spectrum* didefinisikan sebagai *processing gain* yaitu perbedaan kinerja antara sistem yang menggunakan *spread spectrum* dengan sistem yang tidak menggunakan sistem *spread spectrum*. Pendekatan yang sering digunakan untuk menyatakan *processing gain* adalah perbandingan antara lebar pita frekuensi *spread spectrum* dangan laju bit informasi (data).

Dengan menggunakan teknik *spread spectrum* akan diperoleh perbaikan kinerja dari sistem komunikasi yang didefinisikan sebagai processing gain, yaitu perbedaan antara kinerja sistem yang menggunakan *spread spectrum* dengan kinerja sistem tanpa *spread spectrum*. Dengan sistem *spread spektrum* data yang ditransmisikan pada sistem *spread spektrum* adalah data acak yang dikenal sebagai noise. Jadi jika penerima tidak mengetahui code yang digunakan untuk melebarkan data maka penerima hanya akan menerima sinyal noise saja. Istilah *spread spectrum* digunakan karena pada sistem ini sinyal yang ditransmisikan memiliki bandwidth yang jauh lebih lebar dari bandwidth sinyal informasi (mencapai ribuan kali). Proses penebaran bandwidth sinyal informasi ini disebut *spreading*. Pendekatan yang sering digunakan untuk menyatakan processing gain

adalah perbandingan antara lebar pita frekuensi *spread spectrum* dengan lebar bidang sinyal informasi.

Teori dasar informasi yang mendasari dari sistem *spread spectrum* dikemukakan oleh Shannon. Menurut Shannon , kapasitas kanal transmisi suatu sistem komunikasi ditentukan dari persamaan 2.1 berikut :

$$C = W \log_2 (1 + \mathrm{S/N}) \qquad (2.1)$$

Dimana : C = Kapasitas kanal (bit/detik)

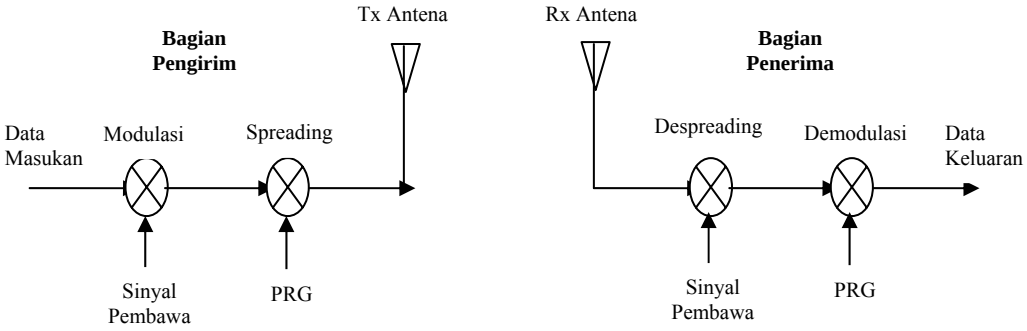
W = Bandwidth Transmisi (Hz)

S = Daya Sinyal (watt)

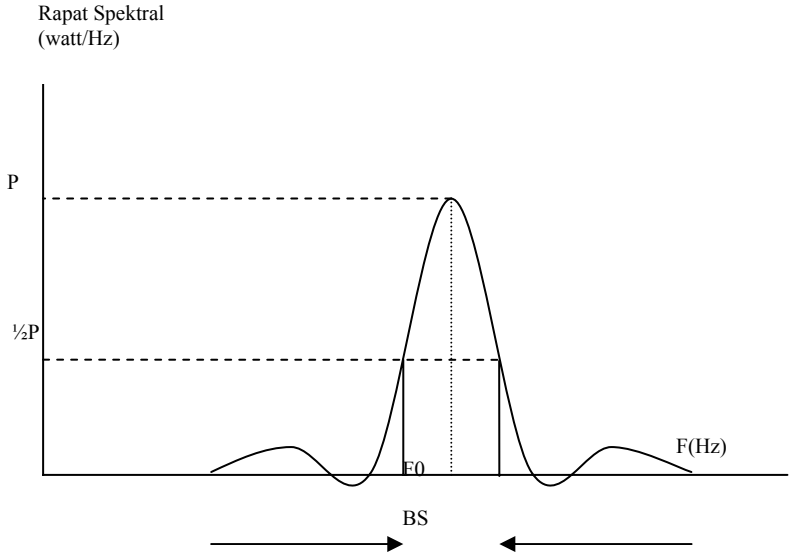
N = Daya Noise (watt)

Dari persamaan 2.1 di atas dapat dilihat bahwa agar sistem komunikasi dapat bekerja dengan kapasitas kanal yang tetap pada level daya noise yang tinggi (S/N yang rendah) dapat dilakukan dengan jalan memperbesar bandwidth transmisi W. Selain itu Shannon juga mengemukakan bahwa sebuah kanal dapat mentransmisikan informasi dengan probabilitas salah yang kecil apabila terdapat informasi terkirim dilakukan pengkodean yang tepat dan rate informasi yang tidak melebihi kapasitas kanal, sekalipun kanal tersebut memuat derau acak.

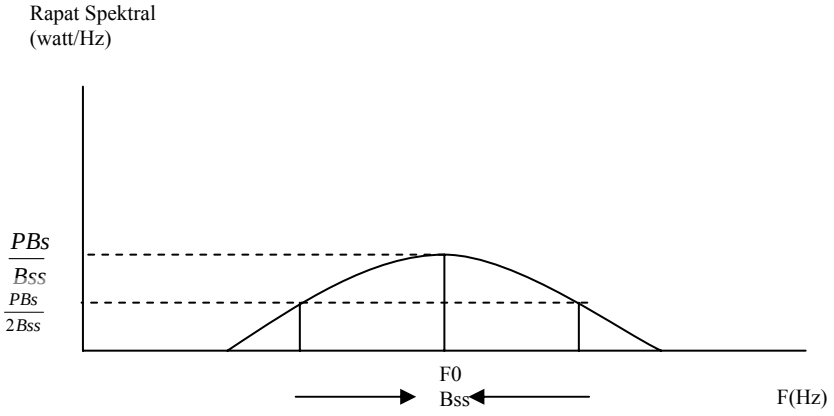
Berdasarkan kedua rumusan yang dikemukakan oleh Shannon. Maka sistem komunikasi *spread spectrum* dapat bekerja pada lingkungan yang memiliki daya noise yang tinggi dan memiliki probabilitas kesalahan transmisi yang kecil. Berikut adalah diagram blok sistem *spread spectrum* secara garis besar yang ditunjukkan oleh Gambar 2.1 sebagai berikut :



Gambar 2.1 Diagram Blok Sistem *Spread Spectrum*



Gambar 2.2 Spektrum Sinyal Sebelum Penebaran



Gambar 2.3 Spektrum Sinyal Setelah Penebaran

Pada Gambar 2.2 dan 2.3 ditunjukkan rapat spektral daya sinyal pembawa yang dimodulasi data. Selanjutnya sinyal pembawa yang telah dimodulasi data akan ditebarkan pada bandwidth yang lebih besar. Hasil proses dari penebaran adalah daya sinyal Spread Spectrum.

Pada penerima terjadi proses despreading. Proses despreading dilakukan dengan cara mengkorelasikan sinyal spread spectrum dengan kode PN pada pengirim. Proses despreading akan mentransformasikan sinyal pembawa yang dimodulasi data kembali ke bandwidth semula. Processing Gain menggambarkan seberapa besar kemampuan sistem dalam menekan pengaruh sinyal interferensi. Processing Gain didefinisikan sebagai perbandingan bandwidth spread spectrum atau bandwidth setelah penebaran dengan bandwidth sinyal informasi atau banwidth sebelum penebaran.

Pada sistem spread spectrum, processing gain dapat ditulis dengan persamaan:

$$Gp = 10 \log \frac{Bss}{Bs} \qquad (2.2)$$

Dimana : Gp = Gain Processing

Bss = Bandwidth transmisi sinyal spread spectrum (Hz)

Bs = Bandwidth sinyal informasi (Hz)

Sistem komunikasi dengan teknik *spread spectrum* memiliki beberapa kelebihan antara lain :

1. Kerahasiaan Terjamin

   Keamanan informasi ada pada sinyal Spread spectrum karena format transmisi berupa kode menyebabkan sinyal Spread Spectrum tidak dapat ditangkap oleh penerima yang tidak dikehendaki karena penerima tersebut

tidak mengetahui pola kode yang digunakan pada pengirim. Kemampuan ini menyebabkan Spread spectrum banyak digunakan pada bidang militer.

2. Mampu menekan Interferensi

   Kemampuan menekan interferensi mendasari penciptaan dan pengembangan sistem spread spectrum. Secara garis besar kemampuan penekanan terhadap interferensi didapatkan karena adanya penebar bandwidth transmisi. Pada sistem *Spread Spectrum,* kemampuan mengurangi atau menekan interferensi dan jamming terjadi pada proses despreading. Proses ini dilakukan dengan mengkorelasikan sinyal spread spectrum dengan kode PN atau PRG pada penerima, apabila kode PN atau PRG identik dan sephase dengan kode PN atau PRG pengirim, maka proses despreading terjadi sehingga sinyal transmisi kembali ke bandwidth semula.

   Pada sistem *Frequency Hopping Spread Spectrum* menekan sinyal interferensi dan jamming dengan cara menebarkan pada bandwidth yang lebar mencupliknya sebagian pada bandwidth yang sempit.

3. Daya yang rendah

   Sinyal yang dikirimkan dapat diopersikan pada daya yang lebih rendah. Sinyal yang dipancarkan dengan daya yang rendah menguntungkan dalam hal mengurangi interferensi pada sistem-sistem lain. Pengoperasian pada daya rendah adalah sifat yang timbul akibat perluasan bandwidth.

2.2 Klasifikasi Modulasi Spread Spectrum

Berdasarkan sistem modulasinya, sistem *spread spectrum* dapat diklasifikasikan menjadi :

1. *Direct Sequence Spread Spectrum* (DS-SS)

Prinsip dari metoda *direct sequence* adalah memancarkan sinyal dalam pita yang lebar dengan pemakaian pelapisan (*multiplex*) kode/signature untuk mengurangi interferensi dan noise.

Kelebihan DS-SS :

- Kinerja antijam (pengacakan) dan noise sangat baik,
- Lebih sukar dideteksi.

Kekurangan DS-SS :

- Membutuhkan kanalpitalebar dengan distorsi fasa kecil
- Waktu akuisisi lama
- Membutuhkan generator kode dengan rate yang tinggi
- Ada masalah *near-far* (jarak jangkauan).

2. *Frequency Hopping Spread Spectrum* (FH-SS)

Pada FH-SS, frekuensi pembawa yang memodulasi isyarat informasi tidaklah konstan melainkan berubah secara periodik. 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 *frequency synthesizer.*

Kelebihan FH-SS :

- Jumlah tebaran sangat besar
- Penempatan pada spektrum frekuensi dapat diprogram
- Waktu akuisisi cepat
- Pengaruh masalah *near-fear* (jarak jangkauan) sedikit sekali.

Kekurangan FH-SS :

- *Frequency synthesizer* lebih kompleks dan sukar dalam perancangannya.

3. *Time Hopping Spread Spectrum* (TH-SS)

Pada TH-SS prinsip kerjanya hampir sama dengan FH-SS namun pada TH-SS proses pengacakan/perubahan yang terjadi bukan pada frekuensinya tapi pengacakannya terjadi pada perubahan waktu pengiriman tiap bit datanya.

Kelebihan TH-SS :

- Efisiensi dalam penggunaan lebar bidang
- Implementasi lebih sederhana daripada FH-SS

Kekurangan TH-SS :

- Waktu akuisisi yang dibutuhkan lama

Dari kelebihan dan kekurangan yang dimiliki oleh beberapa sistem *spread spectrum* terlihat bahwa FH-SS memiliki keunggulan dari DS-SS dan TH-SS yaitu FH-SS memiliki waktu akuisisi yang cepat dan pengaruh masalah near-fear yang tidak terlalu berpengaruh.

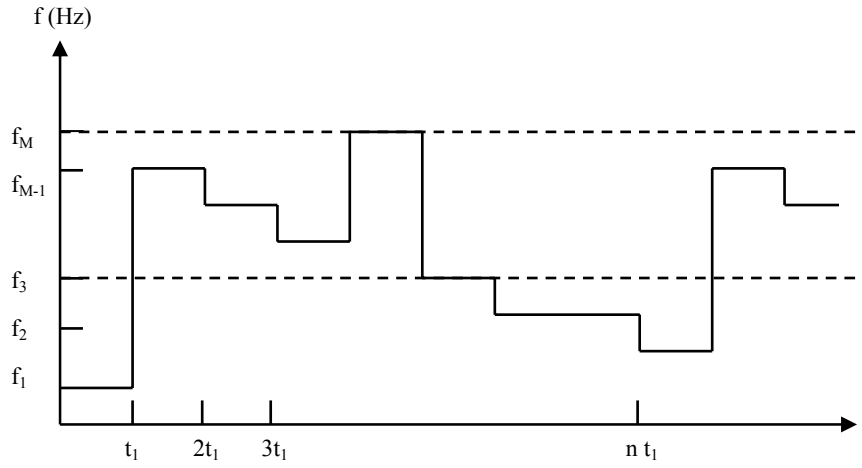
2.3 Frequency Hopping Spread Spectrum

Pada FH-SS, frekuensi pembawa yang memodulasi isyarat informasi tidaklah konstan melainkan berubah secara periodik. Selama interval waktu tertentu frekuensi pembawanya tetap, tetapi setelah itu pembawa melompat ke frekuensi lain atau ke frekuensi yang sama. Pola lompatan atau perpindahan frekuensi pembawa ini ditentukan oleh *Pseudo Random Generator* (*PRG*). Sebuah set frekuensi yang dapat digunakan pembawa disebut set lompatan (*hop set*).

Secara umum sistem *Frequency Hopping* ini dikategorikan menjadi 2 dengan berdasarkan pertimbangan dalam perbedaan performansi atau untuk kerja sistem yang diberikan masing-masing, yaitu :

1. Fast Lop, dimana pada sistem ini kecepatan lompatan frekuensi lebih besar dibandingkan dengan kecepatan bit data sinyal informasi atau pesan yang dikirimkan.
2. Slow Lop, kecepatan lompatan frekuensinya lebih rendah dibandingkan kecepatan bit data atau pesan yang dimodulasinya.

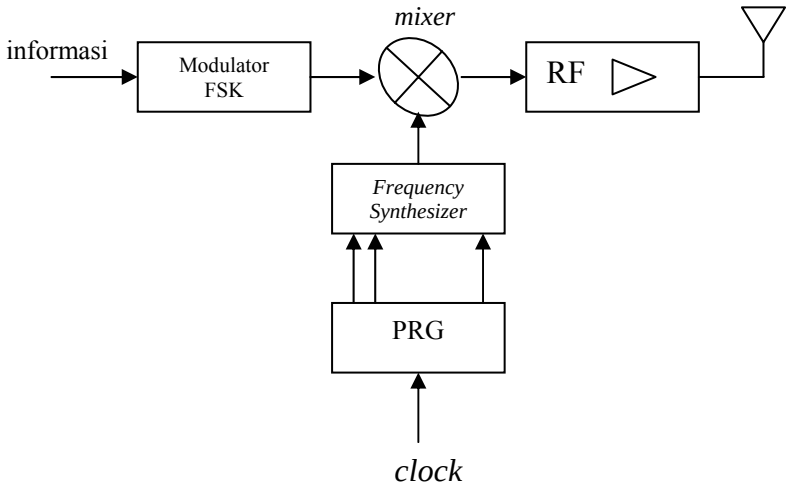
Dalam sinyal *Frequency Hopping*, frekuensi bersifat konstan dalam tiap-tiap selang waktu alokasi, tetap akan berubah nilainya dari waktu ke waktu. Hal ini digambarkan pada Gambar 2.4 berikut :



Gambar 2.4 Penggambaran Penebaran *FH-SS*

2.4 Rangkaian Pengirim Frequency Hopping (FH-SS)

Rangkaian pengirim *Frequency Hopping* terdiri dari modulator FSK. *Pseudo Random Generator* (*PRG*), pensintesis frekuensi dan mixer (multiplier) seperti terlihat pada Gambar 2.5 berikut :



Gambar 2.5 Rangkaian Pengirim *Frequency Hopping* (FH-SS)

Pada pengirim FH-SS, data dimodulasi oleh suatu frekuensi pembawa, kemudian frekuensi pembawa dimodulasi oleh frekuensi yang dihasilkan oleh *frequency synthesizer* dikontrol oleh deretan kode penebar yang dibangkitkan PRG (*pseudo random generator*), sehingga frekuensi yang digunakan pada pengirim FH-SS akan melompat (*hopping*) sesuai dengan perubahan kode penebar yang dihasilkan PRG. Dengan kata lain dihasilkan suatu sinyal FH-SS. Selanjutnya bila diperlukan, sinyal *frquency hopping* dapat diperkuat oleh RF sebelum dipancarkan.

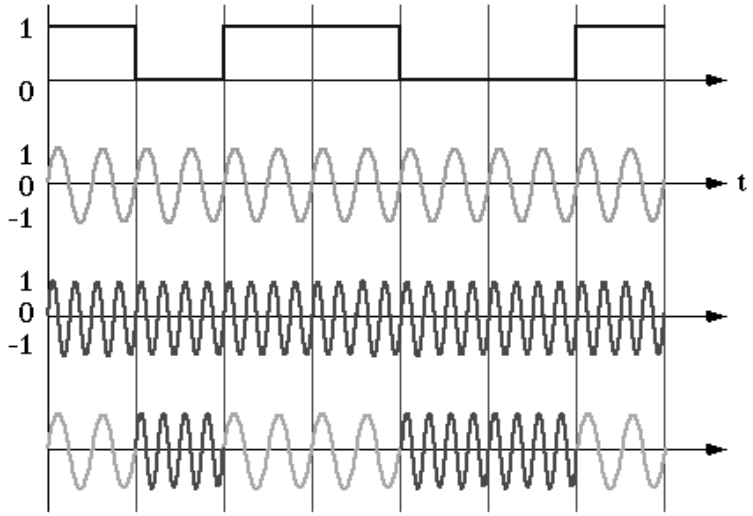
2.4.1 Modulasi FSK

Frequency Shift Keying (FSK) adalah modulasi yang menyatakan sinyal digital 1 sebagai suatu nilai tegangan dengan frekuensi tertentu (misalnya f1 = 1200 Hz), sementara sinyal digital 0 dinyatakan sebagai suatu nilai tegangan dengan frekuensi tertentu yang berbeda (misalnya f2 = 2200 Hz). Sama seperti modulasi fasa, pada modulasi frekuensi yang lebih rumit dapat dilakukan pada beberapa frekuensi sekaligus dengan cara ini pengiriman data menjadi lebih effisien.

FSK merupakan dua gelombang sinusoidal yang memiliki amplitude Ac yang sama tetapi memiliki frekuensi f_1 dan f_2 untuk mereresentasikan symbol 1 dan 0.

$S(t) = -AcCos\ (2\pi\ f_1 t)$ symbol 1

$-\ Ac\ Cos\ (2\pi\ f_2 t)$ symbol 0

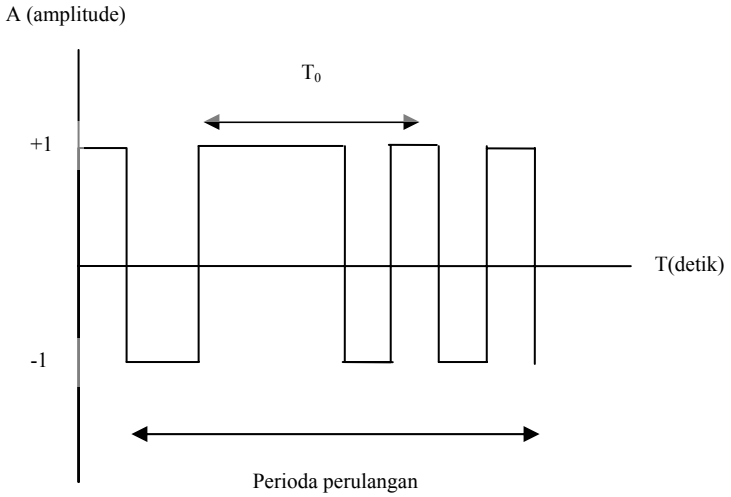


Gambar 2.6 Bentuk Gelombang *Frequency Shift Keying (FSK)*

2.4.2 *Pseudo Random Generator* (*PRG*)

Proses *spreading* pada sistem *spread spectrum* dapat terjadi karena sinyal informasi dimodulasi oleh sinyal *pseudo random*. *Pseudo random* (*PRG*) berfungsi untuk menebarkan sinyal informasi secara langsung ke pita frekuensi yang lebih lebar dari pita frekuensi sinyal informasi aslinya.

Sinyal PRG merupakan deretan sinyal biner 0 dan 1 yang mempunyai pola acak dan berulang setiap perioda. Satu sinyal biner pada deretan *pseudonoise* disebut dengan *chip* dan lebarnya disebut *time chip* (Tc) seperti pada Gambar 2.7 berikut:



Gambar 2.7 Sinyal *Pseudonoise* dan *Pseudorandom*

Sifat-sifat Random

Ada 3 sifat dasar untuk mengetahui apakah sekuen biner dapat memenuhi kriteria random.

- ***Balanced property***

  Kondisi seimbang (*balance*) untuk sekuen biner yang bagus mensyaratkan jumlah bit 1 dan jumlah bit 0 yang muncul sama . Beda yang diijinkan maksimum adalah 1 digit.

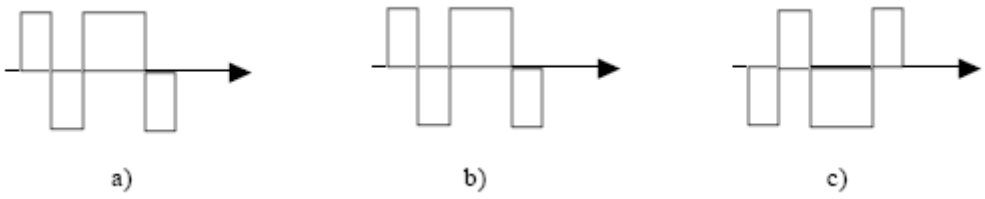
- ***Run property***

  Suatu run didefinisikan sebagai suatu *sekuen tipe single* pada bit-bit (*binary digit*). Kemunculan digit yang berlawanan dalam suatu sekuen akan memulai *run* yang baru. Panjang *run* adalah jumlah digit di dalam *run*.

- ***Correlation Property***

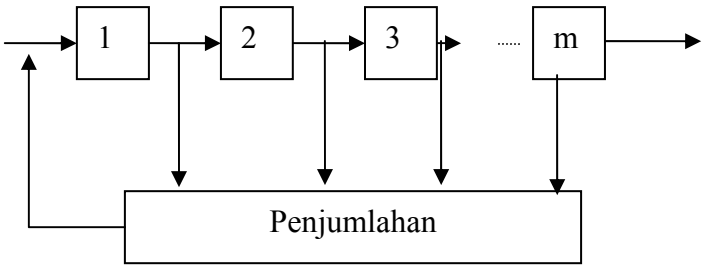
  Jika suatu periode pada sekuen dibandingkan secara *term by term* dengan suatu siklus yang digeser terhadap dirinya sendiri, akan didapat periode dimana sinyal itu akan memiliki perulangan. Pada dua sinyal dengan periode yang sama, *to* s/d *tn*, maka keduanya benar-benar mirip. Kondisi ini dalam bentuk ternormalisasi memiliki nilai korelasi 1. Untuk suatu kondisi di mana bentuk sinyal pertama bertolak belakang dengan sinyal kedua, maka dinyatakan memiliki korelasi –1. Gambaran korelasi dua sinyal secara sederhana seperti Gambar 2.7

berikut ini. Gambar a dan b memiliki korelasi 1, sedangkan gambar a dengan c memiliki korelasi –1.



Gambar 2.7 Dua Sinyal yang Berkorelasi

Pembangkit sinyal PRG disusun dari beberapa *shift register*. Jaringan umpan balik dari sumber *clock* pada susunan *shift register* tersebut diambil salah satu atau beberapa outputnya untuk diumpanbalikan ke input *shift register* tahap pertama. Bentuk umpan balik dapat sedemikian rupa sehingga menghasilkan kode-kode tertentu. Jaringan umpan balik output berupa fungsi penjumlahan pada Gambar 2.8 berikut:



Gambar 2.8 Diagram blok susunan pembangkit sinyal PRG

Deretan panjang maksimal (*m-Sequence* atau *maximally length sequence*) didefinisikan sebagai deretan dengan perioda terpanjang yang dapat dibangkitkan oleh PRG. Panjang maksimal suatu deretan (dalam satuan *chip*) adalah

$$N = 2^{m-1} \qquad (2.3)$$

Dimana : m = jumlah *shift register*

N = panjang deretan

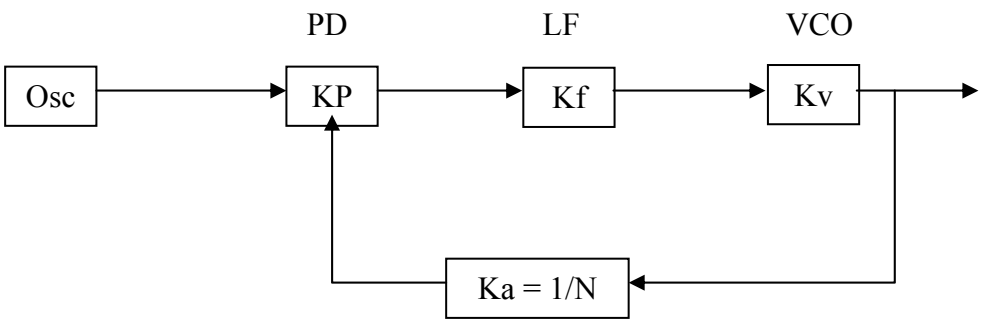
Maksimal tidaknya suatu deretan kode ditentukan oleh kombinasi umpan balik yang dapat menghasilkan panjang kode maksimal dapat dilakukan dengan representasi fungsi polinomial. Bentuk umum fungsi polinomial f(x) dapat dilihat sebagai berikut;

$$f(x) = x^n + a_{n-1} x^{n-1} + \ldots + a_1 x + 1 \qquad (2.4)$$

Suatu PRG akan menghasilkan deretan panjang polinomial jika f(x) nya *irreducible*, fungsi polinomial dikatakan *irreducible* jika koefisien a_n berharga satu.

2.4.3 Frequency Synthesizer

Pensintesa *frequency hopping* yang dikendalikan oleh PRG, yang identik dengan PRG di pengirim. Sehingga pensintesa frekuensi dapat membangkitkan replika sinyal penebar seperti pada rangkaian pengirim. Replika sinyal penebar ini digunakan untuk proses *de-spreading* untuk menghasilkan sinyal FSK yang dikirimkan, proses *de-spreading* dilakukan secara korelasi antara replika sinyal penebar dengan sinyal *frequency hopping spread spectrum* yang datang (proses korelasi ini dilakukan pada rangkaian *mixer*).



Gambar 2.9 Diagram Blok Pensintesis Frekuensi dengan PLL

Dimana :

OSC : osilator referensi dengan frekuensi sudut keluaran $\omega_{ref} = 2\pi f_c$

PD : *Phase Detector* (detektor fasa) , dengan penguatan Kp dan tegangan keluaran Vp

LF : *loop filter*, dengan penguatan K_f dan tegangan V_c

VCO : *voltage controled osicilator*, dengan penguatan Kv dan frekuensi sudut keluaran ω_v

FD : pembagi frekuensi terprogram dengan faktor pembagi frekuensi Kn = 1/N merupakan fungsi tegangan masukan V_c

Detektor fasa menghasilkan tegangan keluaran Vp sebanding dengan perbedaan fasa sinyal referensi dari fasa sinyal keluaran VCO. Tegangan Vp di filter oleh *loop filter* untuk menghilangkan komponen frekuensi tinggi dan melakukan komponen frekuensi rendah yang akan digunakan untuk mengontrol frekuensi keluaran VCO. Ketika *loop* dalam keadaan *locked* (terkunci), frekuensi keluaran VCO sama dengan frekuensi sinyal dan terdapat fasa konstan atau antara sinyal. Bila terjadi perubahan perbedaan fasa antara kedua sinyal (berarti terjadi perbedaan frekuensi) akan menghasilkan *error voltage* (tegangan kesalahan) pada keluaran detektor fasa sehingga mengurangi perubahan perbedaan fasa tersebut dan *loop* kembali terkunci. Rangkaian pembagi frekuensi terprogram pada keluaran VCO dapat diperoleh frekuensi yang berbeda-beda dengan mengatur nilai pembagi frekuensinya. Prinsip ini merupakan dasar rangkaian pensintesa frekuensi.

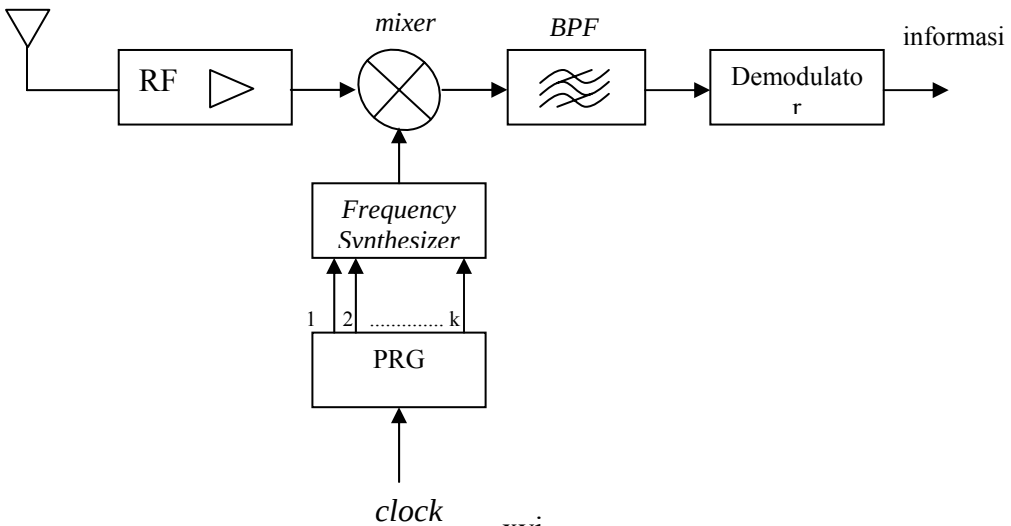
2.4.4 Mixer

Mixer digunakan untuk mencampurkan (dalam arti memodulasikan) sinyal FSK pada sinyal penebar, sehingga sinyal informasi dapat ditebarkan pada bidang frekuensi yang lebih tinggi (f_1 s/d fn) untuk menghasilkan sinyal FH-SS.

Prinsip kerja mixer adalah perkalian antara dua sinyal masukan, yaitu sinyal FSK S(t) dengan sinyal penebar $h_T(t)$, sehingga dihasilkan sinyal keluaran yang memiliki frekuensi selisih (LSB = lower side band) dan frekuensi jumlah (USB = upper side band), bila dilewatkan pada SBF (side band filter) akan diperoleh salah satu side band (dalam hal ini USB) sebagai sinyal FH-SS.

2.5 Rangkaian Penerima Frequency Hopping Spread Spectrum

Rangkaian penerima *frequency hopping* terdiri dari generator kode PN, pesintesa frekuensi, *mixer*, BPF (*band pass filter*) dan demodulator FSK seperti terlihat pada Gambar 2.10. Pensintesa frekuensi dan generator kode PN identik seperti yang terdapat pada rangkaian pengirim *frequency hopping*.



Gambar 2.10 Diagram Blok Penerima Frequency Hopping

Pensintesa *frequency hopping* yang dikendalikan oleh generator kode PN, yang identik dengan generator kode PN di pengirim. Sehingga pensintesa frekuensi dapat membangkitkan replika sinyal penebar seperti pada rangkaian pengirim. Replika sinyal penebar ini digunakan untuk proses *de-spreading* untuk menghasilkan sinyal FSK yang dikirimkan, proses *de-spreading* dilakukan secara korelasi antara replika sinyal penebar dengan sinyal *frequency hopping spread spectrum* yang datang (proses korelasi ini dilakukan pada rangkaian *mixer*). Keluaran rangkaian *mixer* adalah sinyal pada frekuensi IF (*intermodulated frequency*) yang mengandung sinyal FSK, selanjutnya sinyal FSK akan diambil kembali (demodulasi) dengan rangkaian demodulator FSK sehingga diperoleh kembali sinyal informasi semula. Salah satu keuntungan *frequency hopping* adalah PRG dapat mempunyai *rate* (kecepatan) lebih rendah. *Rate* maksimum PRG di pengirim dan penerima *frequency hopping* ditentukan oleh kecepatan *switching* (perpindahan dari satu frekuensi ke frekuensi yang lain) dari pensintesa frekuensi yang digunakan berkisar ratusan bps.