

BAB II

TEORI PENUNJANG

2.1 KONSEP DASAR SPEKTRUM TERSEBAR (*SPREAD SPECTRUM*)

Spektrum tersebar adalah teknik modulasi dimana bandwidth frekuensi transmisi yang digunakan lebih besar daripada minimum bandwidth frekuensi yang diperlukan untuk mentransmisikan suatu informasi. Pada awalnya komunikasi dengan teknik spektrum tersebar dikembangkan penggunaannya dalam bidang militer.

Konsep spektrum tersebar berdasarkan pada teori Claude Shannon mengenai kapasitas saluran yaitu :

$$C = W \log_2 (1 + S/N) \quad (2-1)$$

Dimana :

C = kapasitas kanal transmisi (bps)

W = bandwidth frekuensi (Hz)

N = daya derau (watt)

S = daya sinyal (watt)

Dari persamaan (2-1) dapat diketahui kapasitas suatu kanal untuk menyalurkan informasi yang besar, dengan cara :

1. Cara konvensional, yaitu nilai W kecil dan nilai S/N besar
2. Cara penyebaran spektrum dimana nilai W besar dan nilai S/N kecil

Teknik memperbesar spektrum ini menyebabkan kerapatan daya menjadi kecil, sehingga sinyal yang dikirim berada dibawah level noise pada komunikasi konvensional. Hal ini menyebabkan sinyal tidak terdeteksi oleh penerima selain pengguna teknik modulasi spektrum tersebar, sehingga mempunyai kemampuan *Low Probability of Interception* (LPI).

Pada penerima yang menggunakan teknik ini mampu menolak sinyal yang tidak diinginkan walaupun mempunyai kerapatan daya yang lebih besar dari sinyal spektrum tersebar. Hal ini dikarenakan penerima mempunyai salinan urutan kode yang digunakan untuk mengumpulkan (*despread*) sinyal. Kehandalan spektrum tersebar untuk menolak sinyal interferensi dikenal dengan sebutan anti jamming.

Kemampuan sistem dalam spektrum tersebar terhadap interferensi ditentukan dari seberapa

besar pita frekuensi penyebaran dibandingkan dengan lebar pita frekuensi informasinya, yang biasa disebut Processing Gain.

$$PG = \frac{B_{ss}}{R_b} \quad (2 - 2)$$

Dimana :

PG = Processing Gain (10 log PG dB)

B_{ss} = bandwidth spektrum tersebar (Hz)

R_b = bandwidth sinyal informasi (Hz)

Untuk diklasifikasikan sebagai sistem komunikasi spektrum tersebar, harus memenuhi kriteria sebagai berikut :

1. Energi sinyal transmisi harus menempati bandwidth yang lebih besar dari bandwidth sinyal informasi.
2. Pada proses demodulasi sinyal yang diterima dikorelasikan dengan replika sinyal yang digunakan pengirim untuk menyebarkan sinyal informasi.

3. Penggunaan sinyal kode yang berupa sinyal acak semu (pseudorandom) yang mirip dengan derau (noise) biasa disebut dengan Pseudonoise Code (PN Code), pada pengirim dan penerima diperlukan sinkronisasi kode yang terpisah dari data.

Teknik modulasi spektrum tersebar terbagi menjadi beberapa macam, yaitu:

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

Pada teknik ini, sinyal pembawa informasi dikalikan langsung dengan suatu deretan kode dalam jumlah yang lebih besar dari bandwidth sinyal informasi.

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

Dalam sistem Frequency Hopping, frekuensi sinyal adalah konstan selama periode tertentu yang disebut periode Chip (T_c). Bila terdapat N kanal frekuensi panggilan maka akan terjadi lompatan (*Hopping*) frekuensi dengan pola tertentu tergantung dari kode yang diberikan.

3. Time Hopping Spread Spectrum (TM-SS)

Pada teknik ini waktu transmisi dibagi menjadi interval waktu yang disebut dengan *Frame*. Setiap frame dibagi menjadi *M* time slot. Selama periode satu frame dan hanya satu time slot yang akan dimodulasikan dengan data. Semua bit data dikumpulkan dalam frame sebelumnya yang ditransmisikan pada suatu semburan (*burst*) selama time slot tertentu.

4. Hybrid

Teknik ini menggabungkan dua atau lebih teknik di atas untuk mendapatkan keuntungan-keuntungannya dengan harapan mengatasi kekurangannya.

Keuntungan dan kerugian dari sistem teknik modulasi yang tersebut adalah:

Sistem	Keuntungan	Kerugian
Direct Sequence	<ul style="list-style-type: none"> • Mempunyai kemampuan paling baik terhadap noise dan anti jamming • Sulit untuk dideteksi (bersifat pribadi dan rahasia) • Paling baik terhadap penerimaan sinyal multipath 	<ul style="list-style-type: none"> • Memerlukan kanal bandwidth dengan penyimpangan fasa • Waktu akuisisi yang lama • Masalah near-far

Frekuensi Hopping	<ul style="list-style-type: none"> • Jumlah penyebaran yang paling baik • dapat diprogram untuk mencegah pembagian spektrum • waktu akuisisi yang relatif pendek • sedikit menerima pengaruh dari masalah near-far efek 	<ul style="list-style-type: none"> • Mempunyai frekuensi synthizer yang cukup kompleks • Tidak berguna untuk pengukuran laju jarak • Memerlukan Error corection
Time Hopping	<ul style="list-style-type: none"> • Efisiensi bandwidth • Implementasinya sederhana dibanding frekuensi hopping • Sangat berguna sewaktu pemancar dibatasi daya rata-rata tetapi tidak saat pada batasan puncak daya • Masalah near-far dicegah dalam suatu sistem koordinat 	<ul style="list-style-type: none"> • Waktu akuisis yang lama • Memerlukan error corection

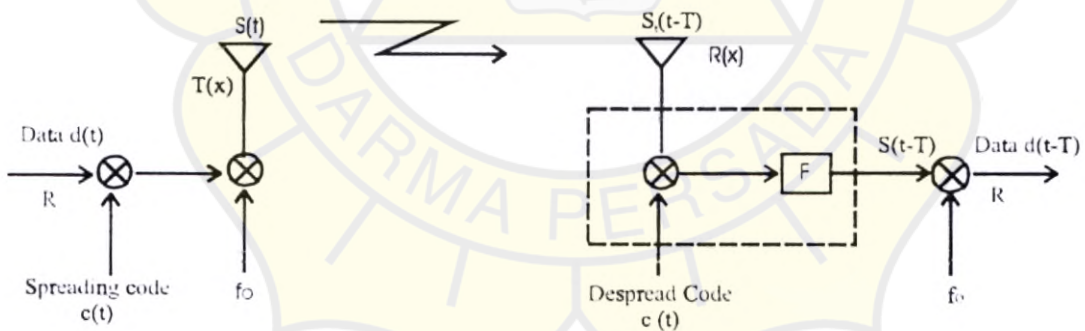
2.2 DIRECT SEQUENCE SPREAD SPECTRUM

Teknik spektrum tersebar yang banyak dipakai dalam sistem komunikasi adalah Direct Sequence Spread Spectrum (DS-SS). Pada DS-SS sinyal pembawa di modulasikan secara langsung dengan data terkode. Deretan data dikodekan oleh suatu pembangkit deretan kode yang lebih cepat dari data, dengan karakteristik random semu (deretan dapat diregenerasi dan bersifat periodik). Pada proses pengkodean maka terjadi penyebaran spectrum. Sinyal yang tersebar ini kemudian di modulasi fasa (BPSK atau QPSK) dan selanjutnya ditransmisikan.

Pada penerimaan, proses demodulasi akan dilakukan bila telah terjadi proses sinkronisasi deretan kode antara pengirim dan penerima. Proses sinkronisasi berjalan sempurna bila fasa akuisisi dan tracking kode terpenuhi. Proses pemampatan spektrum (despread) sinyal DS-SS ke bentuk baseband semula dilakukan, maka hasilnya berupa sinyal psk yang siap didemodulasi.

2.2.1 Teknik Dasar Direct Sequence

Teknik dasar modulasi Direct Sequence dapat dilihat pada gambar :



Gambar 2-1 Skema Minimum DS-SS

Pada pemancar, data $d(t)$ ditransmisikan dengan kecepatan R bit/detik dan dimodulasikan dengan deretan kode $c(t)$ dan kemudian dimodulasikan

kembali dengan frekuensi carrier f_c menggunakan Binary Phase Shift Keying (BPSK) yang hasilnya adalah sinyal Direct Sequence $S_t(t)$ dengan kecepatan chip R_c dengan bandwidth B_{SS} .

Sinyal Direct Sequence Menjadi $S_t(t-T)$ setelah mengalami waktu tunda perambatan T diterima korelator. Pada korelator sinyal akan dikorelasikan dengan menggunakan deretan kode $c(t)$ yang sama dengan kode awal, sehingga sinyal dikumpulkan (despread) kembali yaitu $S(t-T)$ setelah dimodulasikan dengan f_c , maka didapat sinyal informasi semula $d(t)$ dengan waktu tunda T .

Dimisalkan sinyal data $d(t)$ yang dikalikan dengan deretan kode penyebar $c(t)$:

$$d(t) = \pm 1$$

$$c(t) = \pm 1$$

Hasil dari perkalian kedua sinyal itu menghasilkan sinyal:

$$S(t) = d(t) \cdot c(t) \tag{2-3}$$

Sinyal biner $S(t)$ kemudian dimodulasikan secara BPSK dengan frekuensi carrier f_c menjadi:

$$S_t(t) = d(t) \cdot c(t) \cos (2\pi f_c t) \tag{2-4}$$

Pada penerima, sinyal $S(t-T)$ diterima setelah mengalami waktu tunda T detik perambatan. Langkah selanjutnya adalah proses pemampatan (*despreading*) sinyal $S(t-T)$ yang keluar dari korelator menghasilkan sinyal:

$$S(t-T) = d(t) \cdot c(t) \cdot c(t-T') \cos [2\pi f_0 (t-T)] \quad (2-5)$$

Dimana T' adalah perkiraan waktu tunda yang dibangkitkan di penerima.

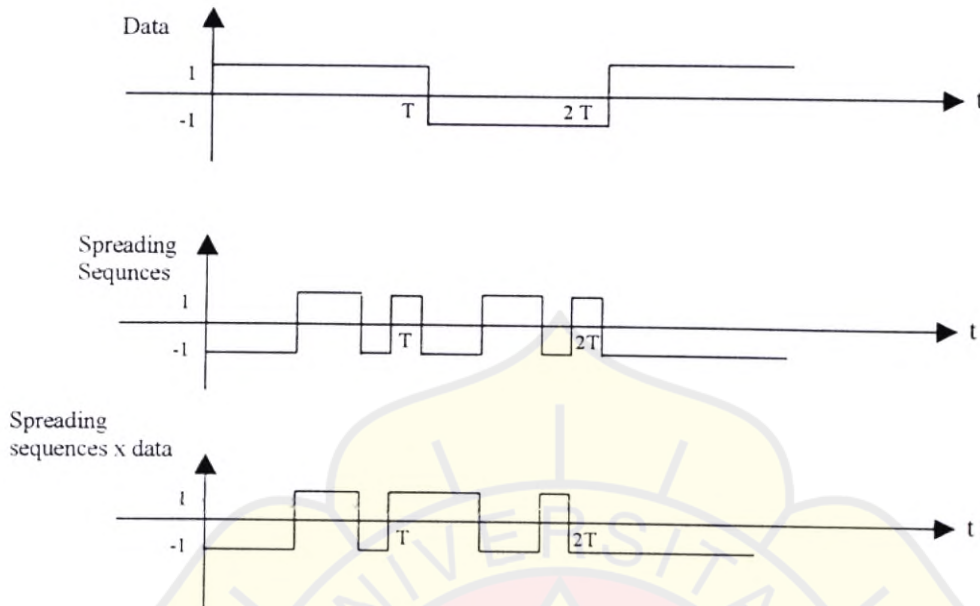
Karena $c(t) = \pm 1$ maka:

$$c(t-T) \cdot c(t-T') = 1 \quad (2-6)$$

Untuk korelator yang baik akan menghasilkan $T=T'$, sehingga menghasilkan sinyal:

$$S(t-T) = d(t) \cos [2\pi f_0 (t-T)] \quad (2-7)$$

Sinyal tersebut dimodulasikan oleh frekuensi carrier f sehingga didapat kembali data $d(t)$ selama T detik.



Gambar 2-2 Proses pembentukan sinyal

2.2.2 Pembangkit Pseudonoise (PN)

Deretan kode pseudonoise adalah deretan kode biner yang bersifat acak. Deretan kode ini digunakan untuk memisahkan sinyal yang diinginkan dengan sinyal pengganggu. Deret pseudonoise dihasilkan oleh suatu susunan regiter geser (*Shift Register*). *Shift Register* ini terdiri dari beberapa sel yang merupakan tempat penyimpanan isi yang baru dan memindahkan isi yang lama keluar dalam waktu yang bersamaan.

Deretan kode psedonoise yang di gunakan harus mempunyai karakteristik sebagai berikut:

1. Urutan kode harus mudah dibangkitkan.
2. Mempunyai sifat random yang baik.
3. Mempunyai sifat Auto korelasi dan korelasi silang (Auto Correlation and Cross Correlation) yang baik
4. Periodik dengan periode (periodic cycle) N, ditentukan oleh koefisien umpan balik dengan hubungan :

$$N = L \cdot T_c \quad (2-8)$$

Dan

$$L = 2^m - 1 \quad (2-9)$$

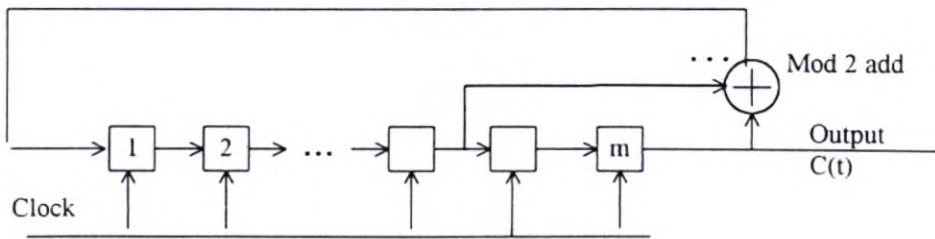
Dimana:

L = jumlah chip dalam suatu periode

T_c = durasi chip

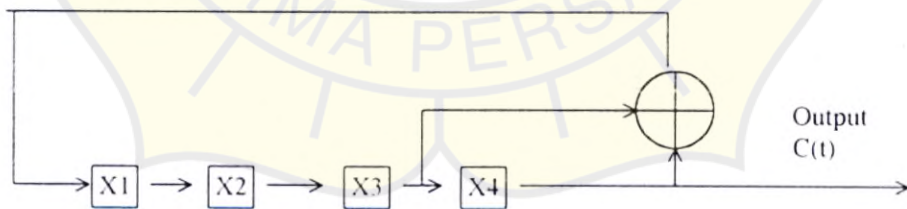
m = jumlah shift register

Pembangkit kode PN yang sering di pakai adalah *Maximum Length Shift Register*, seperti terlihat pada gambar:



Gambar 2-3 Pembangkit Kode PN Maximum Length Shift Register

Pembangkit kode ini bersifat periodik sehingga kode yang dihasilkan merupakan pengulangan kode dengan sendirinya setelah periodik tertentu. Sebagai contoh generator kode PN dengan 4 shift register dapat dilihat pada gambar :



Gambar 2-4 Pembangkit Kode PN 4 Shift Register

Penjumlahan modulo 2 akan menjumlahkan isi register X3 dan X4, kemudian hasil penjumlahan ini

akan diumpkan balik ke register X1 dan mengeser isi register X1 kekanan. Misalkan suatu deret 4 bit 0000 diumpkan ke register X1, maka akan menghasilkan deretan PN pada keluaran generator yaitu 1000100110101111 sepanjang L. Panjang L tergantung pada jumlah shift registernya (m). Jadi untuk $m = 4$ maka $L = 15$.

Tabel 2-1: Pergeseran Linier Feedback Shift Register 4 tingkat

SHIFT	X1	X2	X3	X4	DERET KELUARAN
0	0	0	0	1	1
1	1	0	0	0	0
2	0	1	0	0	0
3	0	0	1	0	0
4	1	0	0	1	1
5	1	1	0	0	0
6	0	1	1	0	0
7	1	0	1	1	1
8	0	1	0	1	1
9	1	0	1	0	0
10	1	1	0	1	1
11	1	1	1	0	0
12	1	1	1	1	1
13	0	1	1	1	1
14	0	0	1	1	1
15	0	0	0	1	1

Kode PN yang berasal dari generator PN merupakan sinyal yang mempunyai sifat \otimes sifat tertentu, yaitu:

a. Sifat seimbang (*Balance Property*).

Terdapat 7 biner 0 dan 8 biner 1. Jumlah biner 0 dan 1 pada barisan kode PN hanya berbeda satu.

b. Sifat Ditribusi (*Run Property*)

Distribusi statistik dari jumlah biner 0 dan 1 dapat defenisikan dan selalu sama . Posisi deretan dari kode yang satu dengan yang lain berbeda - beda, namun panjangnya tetap.

Pada contoh diatas terdapat 4 deretan biner 0 (atau deretan biner 1), jumlah deret = 4.

- Setengah dari jumlah deret (yaitu 2) yang panjang deretnya 1 adalah 2 biner 0 (atau 2 biner 1)
- Seperempat dari jumlah deretan (yaitu 1) yang panjang deretnya 2 adalah sebuah biner 0 ganda (atau sebuah biner 1 ganda)
- Seperdelapan dari jumlah deretan (yaitu $\frac{1}{2}$) yang panjang deretnya 3 adalah sederet dengan 3 biner 0 (atau sederet 3 biner 1), namun seperdelapan dari jumlah deretan tidak bisa dihitung bila kode terlalu pendek.

c. Sifat korelasi (*Correlation Property*)

Ada dua macam yaitu Auto correlation dan Cross correlation. Auto korelasi menyatakan ukuran kesamaan antara suatu barisan kode dengan tiruan barisan tersebut yang fasanya telah di geser. Sedangkan korelasi silang adalah ukuran kesamaan antara dua barisan kode yang berbeda. Jadi pada kode linier maksimal berlaku sifat auto korelasi. Nilai dari korelasi antara 2 barisan kode dengan N bit didapat dengan membandingkan tiap bit dari kedua kode, dengan bit sama disebut S dan bit berbeda disebut D .

Contoh:

Deretan referensi	0 0 0 1 0 0 1 1 0 1 0 1 1 1 1
Deretan yang digeser 1 bit ke kanan	1 0 0 0 1 0 0 1 1 0 1 0 1 1 1
	D S S D D S D S D D D S S S

Jumlah yang sama $N_s = 7$

Jumlah yang beda $N_d = 8$

Nilai korelasinya adalah $N_s - N_d = -1$, nilai ini berlaku untuk semua pergeseran kecuali pergeseran terakhir dimana terdapat barisan

referensi semula, sehingga bila di bandingkan didapat $N_s = 15$ dan $N_d = 0$ sehingga nilai korelasinya yaitu 15. Jadi nilai auto korelasi $d(t)$ dan $d(t-T)$ akan selalu kecil kecuali jika $T = 0$. Sedangkan nilai korelasi silangnya juga akan kecil.

2.2.3 Sinkronisasi Direct Sequence

Sinkronisasi sangat penting dalam komunikasi spektrum tersebar untuk mendapatkan sinyal yang diinginkan, penerima harus dapat mensinkronkan urutan kode PN. Dalam hal ini yang di sinkronkan adalah urutan kode PN dari pengirim dengan PN dari penerima. Sinkronisasi dikatakan baik apabila sinyal yang mengandung kode PN yang sampai di penerima memiliki pola kode dan kecepatan chip yang sama dengan pola kode dan kecepatan chip yang dibangkitkan secara lokal. Sinkronisasi dapat ditinjau dari dua sisi yaitu sinkronisasi kasar (*rough synchronization*) dan sinkronisasi halus (*fine synchronization*). Sinkronisasi kasar dipakai untuk mencari dan mendapatkan kode PN dalam satu bit atau kanal penerima. Dalam hal ini penerima berusaha untuk sedekat mungkin dengan kode PN yang di bangkitkan secara lokal oleh pengirim.

Sinkronisasi halus mempertahankan waktu diam pada suatu bit atau kanal.

2.2.4 Karakteristik Sistem Direct Sequence

Terdapat beberapa karakteristik yang sangat penting pada teknik Direct Sequence untuk sistem komunikasi:

1. Multiple Access

Multiple Access adalah suatu teknik yang digunakan untuk memasukan banyak sinyal ke dalam satu kanal komunikasi. Hal ini memungkinkan pada teknik Direct Sequence dikarenakan kemampuannya untuk berinterferensi dengan sinyal lain. Penumpukan sinyal dilakukan pada waktu dan frekuensi yang sama dengan memberi deretan kode pada masing - masing sinyal. Pada penerima demodulasi koheren dipakai untuk memisahkan sinyal data dengan sinyal kode. Jika korelasi silang antara kode pemakai yang diinginkan sama dengan pemakai lain kecil, maka demodulasi koheren akan meletakkan sebagian kecil daya sinyal pengganggu ke bandwidth informasi.

2. *Interferensi Multipath*

Jika urutan kode mempunyai fungsi auto korelasi ideal, maka fungsi korelasinya) adalah nol diluar interval $(-T_c, T_c)$. Hal ini berarti jika ada dua sinyal, yaitu sinyal yang di inginkan dan sinyal yang dilambatkan (sehingga durasi chipnya lebih dari $2T_c$) dari sinyal tersebut, maka demodulasi koheren akan memperlakukan sinyal yang dilambatkan itu sebagai suatu sinyal interferensi dengan daya yang kecil pada bandwidth informasi.

3. *Low Probability of Interception (LPI)*

Penggunaan bandwidth yang besar pada spektrum tersebar menyebabkan densitas daya yang kecil dibawah noise, sehingga sulit untuk dideteksi.

2.3 MULTIPATH PROPAGASI

Propagasi pita sempit sinyal pembawa disebut komunikasi konvensional, sedangkan propagasi pita lebar disebut komunikasi spektrum tersebar. Gelombang radio merambat melalui udara sebagai gelombang elektromagnetik. Energi sinyal terdapat dalam bentuk medan listrik (E) dan medan magnet (H). Kedua medan tersebut berubah-ubah menurut

waktu secara sinus. Kedua medan tersebut selalu ada bersamaan karena perubahan medan listrik akan menimbulkan pada medan magnet, dan sebaliknya.

2.3.1 Penerimaan Sinyal Multipath

Gelombang radio tiba di penerima mobil dari arah yang berbeda dengan waktu tunda yang berbeda pula. Hal ini terjadi dikarenakan sinyal yang diterima bukan merupakan sinyal aslinya tetapi kumpulan dari pantulan sinyal-sinyal dengan waktu tunda tertentu. Karena adanya waktu tunda penerimaan dari sinyal-sinyal tersebut maka menyebabkan terjadinya fluktuasi amplitudo dan fasa, sehingga menyebabkan fading.

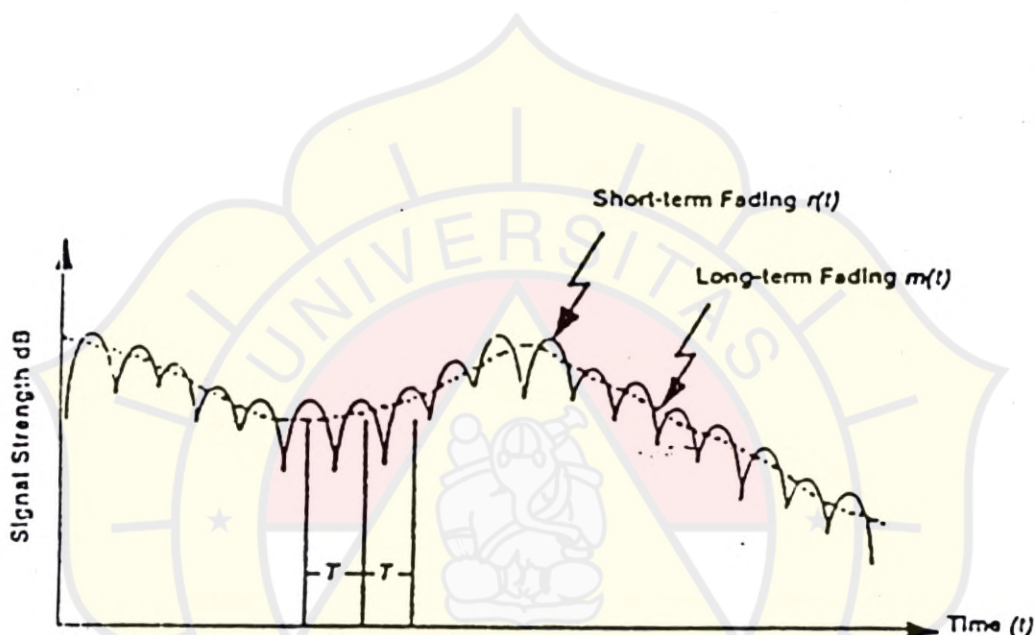
a. Propagasi Gelombang Radio Pita Sempit

Suatu sinyal radio $r(t)$ yang ditransmisikan dari base station dan diterima oleh mobile station terdiri dari dua komponen :

$$r(t) = m(t) \cdot r_0(t) \quad (2-10)$$

Dimana $m(t)$ adalah long term fading atau log normal fading beserta fariasinya yang muncul karena kondisi alam (*terrain countour*) antara

base station dengan mobile station. Pada gambar dibawah long term fading diperlihatkan sebagai garis putus-putus yang mengikuti distribusi log normal.



Gambar 2-5 Karakteristik Fading dari Sinyal Radio

Sedangkan $r_o(t)$ adalah multipath fading, short term fading atau Rayleigh fading beserta variasinya. Fading ini muncul karena pantulan

sinyal dari struktur bangunan, benda bergerak, kontur permukaan bumi dan lainnya.

b. Propagasi Gelombang Radio Pita Lebar

Perambatan sinyal pita lebar mengalami pengaruh yang sama dari path loss, multipath fading, time delay spread. Sinyal pita lebar mempunyai kelebihan-kelebihan dibandingkan pita sempit, yaitu antijamming, hal ini disebabkan bandwidth yang lebar dan mempunyai kepadatan spektrum yang rendah. Selain itu sinyal wide band dapat memecahkan komponen multipath dari suatu kanal, sehingga menghasilkan teknik mengatasi efek multipath fading.

2.3.2 Macam Interference

Interferensi dapat dibagi dua, yaitu:

a. Co-channel Interference

Metode pemakaian ulang suatu frekuensi sangat berguna untuk meningkatkan efisiensi spektrum yang di gunakan, tetapi menghasilkan Co-channel interference karena kanal frekuensi yang sama digunakan berulang - ulang dalam kanal sel yang sama.

sel dapat menutupi sinyal penerimaan pada sel tersebut sehingga sinyal dari mobil unit yang jauh akan terpengaruh penerimaannya pada saat yang bersamaan.

5. Meningkatkan kapasitas

Kapasitas sistem selular dapat ditingkatkan dengan q dalam dua kondisi:

- a. Mengurangi radius akan mengurangi jarak minimum, dengan pertimbangan itu maka untuk menangani kapasitas dapat dilakukan dengan penggunaan sel yang kecil (mikrosel atau pikosel).
- b. Memilih sistem selular yang berbeda tanpa harus mengurangi ukuran sel