

MODUL

DASAR SISTEM TELEKOMUNIKASI



Penyusun:

Ir. Arjuni Budi P., MT
Erik Haritman, S.Pd., MT

UNIVERSITAS PENDIDIKAN INDONESIA

DESKRIPSI JUDUL

Modul ini membahas tentang dasar-dasar sistem telekomunikasi yang diuraikan dalam 3 bagian pokok, yakni: Pendahuluan, berisi tentang pengertian telekomunikasi, elemen-elemen dasar dalam sistem telekomunikasi, pola komunikasi, spektrum elektromagnetik dan bandwidth. Teknik modulasi, berisi tentang konsep modulasi dalam telekomunikasi, jenis modulasi analog AM, FM, dan PM, dan jenis modulasi digital, ASK, FSK, dan PSK. Bagian terakhir membahas tentang Media transmisi, baik media kawat seperti twisted pair, koaksial dan serat optik, maupun media non kawat dengan jenis lintasan Gelombang Tanah, Gelombang Langit, dan Gelombang langsung.

Setelah menguasai materi ajar yang diberikan melalui modul ini, diharapkan peserta dapat memperoleh pengetahuan dasar yang memadai untuk disampaikan kepada murid-muridnya di sekolah, dan mendapatkan landasan yang cukup kuat untuk dapat mempelajari lebih lanjut tentang Sistem Telekomunikasi.

DAFTAR ISI

| | |
|--------------------------------------|----|
| Kata Pengantar | 2 |
| Deskripsi Judul | 3 |
| Daftar Isi | 4 |
| Kegiatan Belajar | |
| 1. Tujuan Pembelajaran Modul | 5 |
| 2. Pokok/Sub Pokok Bahasan | 5 |
| 3. Materi Ajar | |
| 3.1 Pendahuluan | 6 |
| 3.1.1 Sistem Komunikasi | 6 |
| 3.1.2 Pola Komunikasi | 8 |
| 3.1.3 Spektrum Elektromagnetik | 9 |
| 3.1.4 Bandwidth | 10 |
| 3.2 Teknik Modulasi | 14 |
| 3.2.1 Konsep modulasi | 14 |
| 3.2.2 Jenis Teknik Modulasi | 16 |
| 3.2.2.1 Modulasi Analog | 16 |
| 3.2.2.2 Modulasi Digital | 23 |
| 3.3 Media Transmisi | 28 |
| 3.3.1 Media Kawat | 28 |
| 3.3.2 Media Non-Kawat | 31 |
| 4. Latihan dan Kunci Jawaban | 35 |
| Daftar Pustaka | 38 |

KEGIATAN BELAJAR

1. Tujuan Pembelajaran Modul

Setelah menguasai materi ajar yang diberikan melalui modul ini, diharapkan peserta dapat memahami dasar-dasar sistem telekomunikasi, yakni: pengertian telekomunikasi, elemen-elemen dasar dalam sistem telekomunikasi, pola komunikasi, spektrum elektromagnetik dan bandwidth. Juga dapat memahami konsep modulasi dalam telekomunikasi, jenis modulasi analog AM, FM, dan PM, dan jenis modulasi digital, ASK, FSK, dan PSK. Peserta juga diharapkan dapat menjelaskan jenis media transmisi, baik media kawat seperti twisted pair, koaksial dan serat optic, maupun media non kawat dengan jenis lintasan Gelombang Tanah, Gelombang Langit, dan Gelombang langsung.

2. Pokok Bahasan/Sub Pokok Bahasan

1. Pendahuluan: definisi umum komunikasi, kendala dalam komunikasi, perkembangan media elektronik.
 - 1.1 Sistem Telekomunikasi: Blok diagram Sistem Telekomunikasi, pengertian dasar: transmitter, receiver, kanal, derau.
 - 1.2 Pola komunikasi
 - 1.2.1 Arah Informasi: simpleks, dupleks
 - 1.2.2 Tipe sinyal yang ditransmisikan: sinyal analog, sinyal digital
 - 1.2.3 Keaslian sinyal: sinyal baseband, sinyal hasil modulasi
 - 1.3 Spektrum elektromagnetik: pengertian, manfaat pada telekomunikasi
 - 1.4 Bandwidth: pengertian, menentukan BW dari sinyal dengan BW terbatas dan sinyal dengan BW tak terbatas, main lobe, BW 3 dB
2. Teknik Modulasi
 - 2.1 Konsep modulasi: pengertian modulasi, pemanfaatan modulasi.
 - 2.2 Jenis Teknik modulasi
 - 2.2.1 Modulasi analog: pengertian, jenis modulasi: AM, FM, PM. Persamaan sinyal AM, FM, dan PM, bentuk sinyal, perbandingan AM, FM, dan PM
 - 2.2.2 Modulasi Digital: pengertian, jenis modulasi: ASK, FSK, PSK, QPSK, persamaan sinyal, bentuk sinyal, cara pembangkitan.

3. Media transmisi: pengertian

3.1 Media kawat: twisted pair, koaksial, serat optik; karakteristik dan pemanfaatan.

3.2 Media non kawat: perambatan gelombang radio; gelombang tanah, gelombang langit, gelombang langsung, pemantulan.

3. Materi Ajar

3.1. Pendahuluan

Komunikasi: Proses pertukaran informasi. Informasi dapat berupa suara, gambar, data, dll.

Kendala komunikasi:

- Bahasa

Proses komunikasi tidak akan berjalan dengan baik jika pemberi dan penerima informasi tidak menggunakan bahasa yang sama. Kendala ini dapat diatasi dengan mempelajari bahasa yang dipahami kedua belah pihak, atau menggunakan penerjemah.

- Jarak

* Dekat → bicara langsung

* Agak Jauh → mengirimkan sinyal yang dapat terlihat/terdengar secara langsung, misalnya: asap, terompet, cahaya, dll.

* Jauh → dengan berkirim surat, atau melalui **media elektronik**

Perkembangan Media Elektronik:

Tahun 1844 → Morse mematenkan telegraf

Tahun 1876 → Bell menemukan dan mematenkan telepon

Tahun 1887 → Hertz menemukan gelombang radio

Sejak ditemukannya gelombang radio, komunikasi elektronik berkembang sangat pesat:

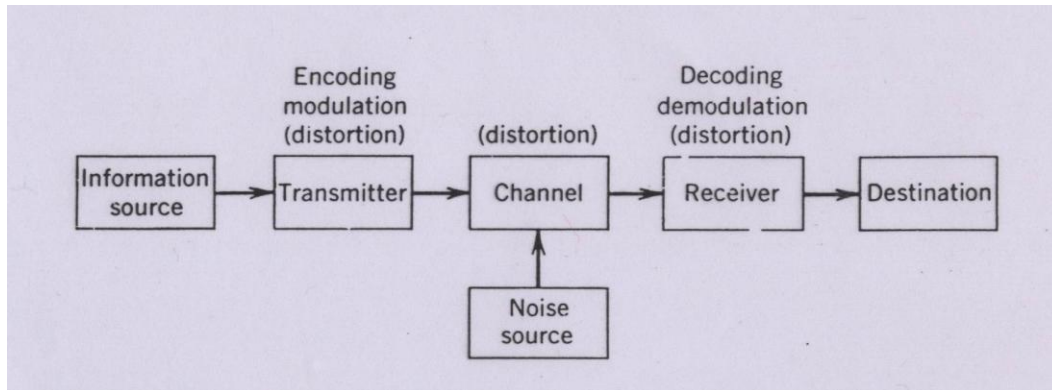
Tahun 1923 → Televisi ditemukan

Tahun 1954 → Siaran televisi berwarna dimulai

Tahun 1962 → Komunikasi satelit pertama

3.1.1 Sistem Telekomunikasi

Secara umum, Sistem Telekomunikasi dapat digambarkan dalam diagram blok berikut:



Gambar 1. Sistem Telekomunikasi

Information Source (Sumber Informasi): Merupakan pesan yang ingin disampaikan. Dapat berupa suara, gambar, data, kode, dll.

Transmitter (Tx):

Rangkaian yang mengubah informasi yang akan dikirimkan ke dalam bentuk sinyal yang sesuai dengan media yang akan dilaluinya.

Contoh :

- Microphone : getaran suara → sinyal listrik
- Pemancar radio : sinyal listrik → gel. elektromagnetik

Channel (Kanal):

Media pengiriman sinyal dari satu tempat ke tempat lain

Contoh:

- Kabel : kawat, serat optik
- Udara : gelombang elektromagnetik

Receiver (Rx):

Mengubah kembali sinyal yang diterima dari media komunikasi ke bentuk semula (informasi)

Catatan:

Receiver dan transmitter harus merupakan pasangan modulasi-demodulasi yang sesuai.

Noise (derau):

- Energi random yang tidak diinginkan, tetapi selalu muncul dalam setiap proses transmisi
- Terjadi di semua titik

- Diterima bersama-sama sinyal informasi
- Mengganggu sinyal yang dikirimkan, sehingga menimbulkan kesalahan pada penerimaan
- Tidak dapat dihilangkan, hanya dapat dikendalikan
- Contoh: - Gangguan pada atmosfer, mis. Petir
- Kebocoran saluran tegangan tinggi

3.1.2 Pola Komunikasi

Komunikasi elektronik dapat diklasifikasikan menurut:

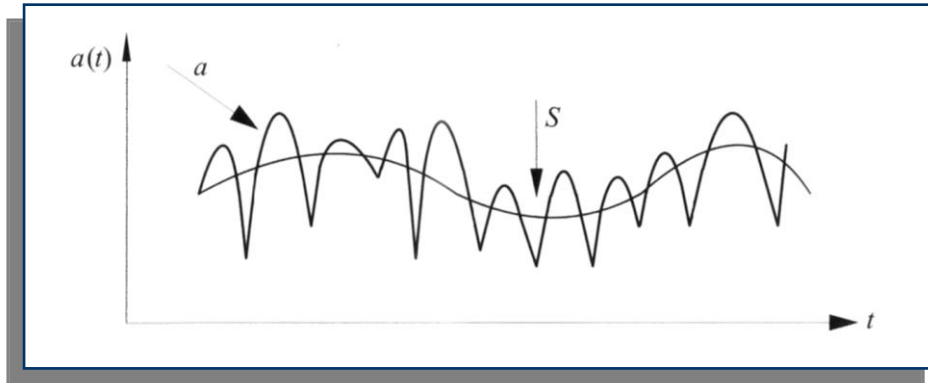
1. Arah informasi → satu arah – dua arah
2. Tipe sinyal yang ditransmisikan → sinyal analog – sinyal digital
3. Keaslian sinyal → Sinyal baseband – sinyal yang dimodulasi

3.1.2.1 Arah Informasi

- * Simpleks: Komunikasi satu arah → Informasi berjalan hanya ke satu arah. Misalnya pada siaran radio dan televisi.
- * Dupleks: Komunikasi dua arah → Informasi berjalan dari dua arah yang berlawanan
 - Full duplex (FDx): Kedua tempat yang berkomunikasi dapat mengirim dan menerima informasi secara bersamaan. Misalnya percakapan telepon
 - Half Duplex (HDx): Kedua tempat yang berkomunikasi, mengirim dan menerima informasi secara bergantian. Misalnya pada percakapan melalui interkom.

3.1.2.2 Tipe sinyal yang ditransmisikan

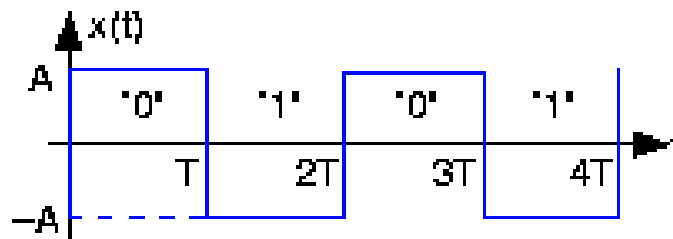
- Sinyal analog: Perubahan nilai(amplituda) sinyal berlangsung secara kontinyu.
Contoh:



Gambar 2. Sinyal analog

- Sinyal digital: Perubahan nilai sinyal(amplituda) berlangsung secara diskrit.

Contoh:



Gambar 3. Sinyal Digital

3.1.2.3 Keaslian Sinyal

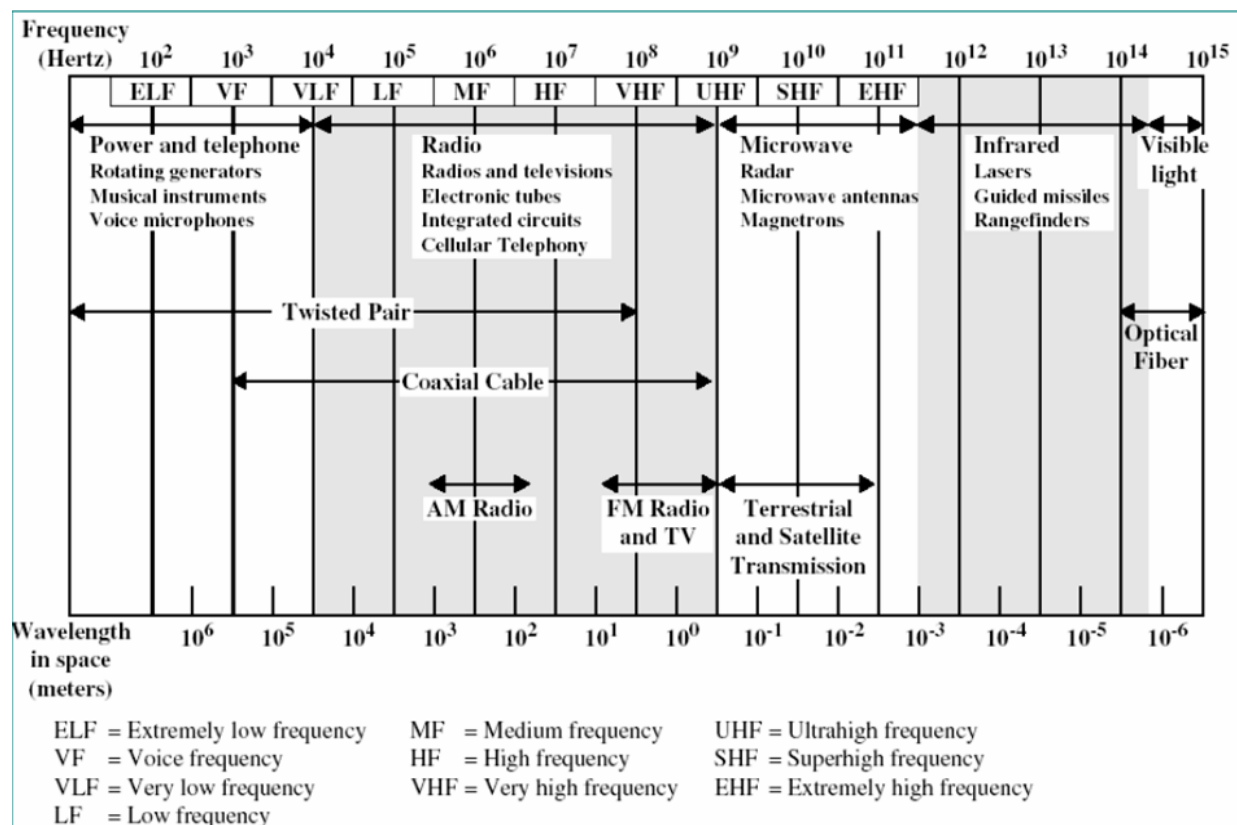
- Sinyal Baseband: Sinyal informasi yang masih menampilkan spektrum frekuensi asalnya.
Contoh: - Sinyal suara pada pembicaraan telepon kabel
- Sinyal digital pada transmisi data antar komputer
- Sinyal Hasil Modulasi: Sinyal asal (baseband) ditumpangkan kepada suatu sinyal pembawa yang mempunyai frekuensi yang jauh lebih tinggi. Prosesnya disebut modulasi, digunakan untuk mengatasi ketidaksesuaian karakter sinyal dengan media(kanal) yang digunakan.
Contoh: - Sinyal AM (Amplitude Modulation) → modulasi analog
- Sinyal PSK (Phase Shift Keying) → modulasi digital

3.1.3 Spektrum Elektromagnetik

Pengiriman informasi melalui media udara (tanpa kabel) dilakukan dengan memanfaatkan gelombang elektromagnetik untuk membawa informasi/pesan ke tempat tujuan.

- Keuntungannya:
 - Bisa menjangkau daerah yang cukup luas
 - Tidak diperlukan pemasangan kabel yang rumit
- Kerugiannya:
 - Rentan terhadap gangguan dari sinyal lain (interferensi)
 - Kualitas penerimaan sangat dipengaruhi oleh kondisi geografis selama transmisi

Spektrum Elektromagnetik: Daerah frekuensi gelombang elektromagnetik. Dimanfaatkan untuk keperluan telekomunikasi.



Gambar 4. Spektrum Gelombang Elektromagnetik Dan Pemanfaatannya

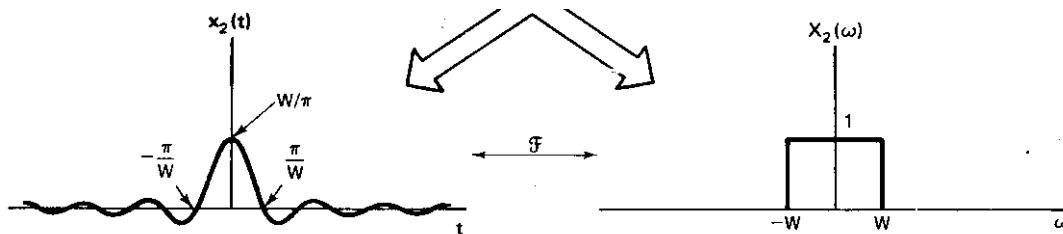
3.1.4 Bandwidth (BW)

Setiap peralatan telekomunikasi mempunyai bandwidth. Beberapa pengertian bandwidth:

- Spektrum elektromagnetik yang diduduki sinyal.
- Lebar pita frekuensi yang dilalukan oleh kanal (rangkaiannya).
- Luas daerah spektral yang signifikan dari sinyal untuk frekuensi-frekuensi positif.

Dari sudut pandang bandwidth-nya, sinyal dapat dibedakan dalam 2 kategori, yakni:

1. Sinyal dengan bandwidth sempit → dalam hal ini besar BW mudah ditentukan. Misalnya Pulsa Sinc dengan spektrum frekuensi berbentuk persegi, maka bandwidth dari pulsa Sinc tersebut adalah W



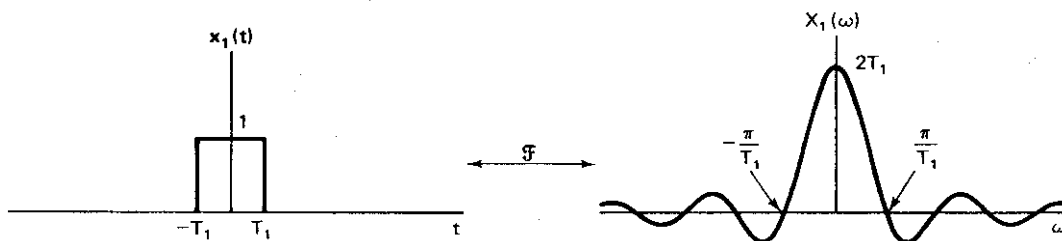
Gambar 5. Pulsa Sinc dengan Spektrum Frekuensi Persegi

2. Sinyal dengan bandwidth tak terbatas → Pada umumnya sinyal yang ada dalam praktek, mempunyai bandwidth tak terbatas. Pada kondisi ini, besar BW ditentukan melalui luas daerah spektral yang signifikan dari sinyal untuk frekuensi-frekuensi positif, sehingga didapat beberapa definisi BW, yakni:

* Jika spektrum sinyal simetri dengan main lobe yang dibatasi oleh nilai-nilai nol (frekuensi dengan spektrum nol), maka main lobe tersebut digunakan sebagai dasar untuk menentukan BW sinyal.

Untuk sinyal Low Pass, besar BW adalah $\frac{1}{2}$ bagian dari lebar total main lobe spektrum tersebut.

Contoh: Pulsa persegi dengan lebar pulsa $2T_1$,

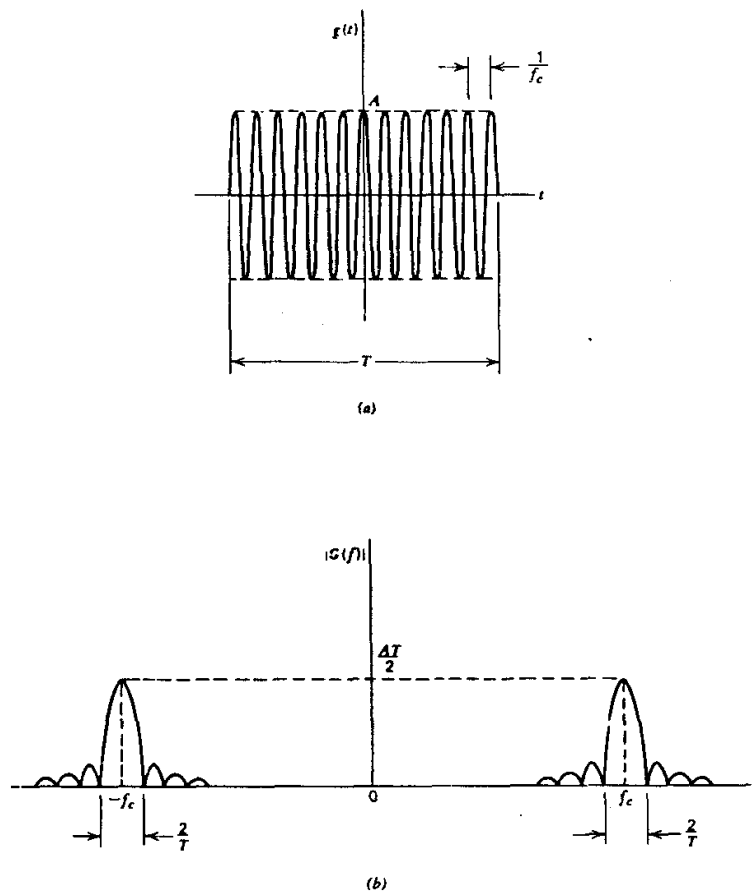


Gambar 6. Pulsa Persegi dengan Spektrum Frekuensi Sinc

Lebar main lobe = $2\pi/T_1 \rightarrow BW = 1/2 \times 2\pi/T_1 = \pi/T_1$

Untuk sinyal Band Pass, besar BW adalah lebar main lobe pada frekuensi positif (null to null BW).

Contoh: Pulsa rf (radio frequency) dengan lebar T



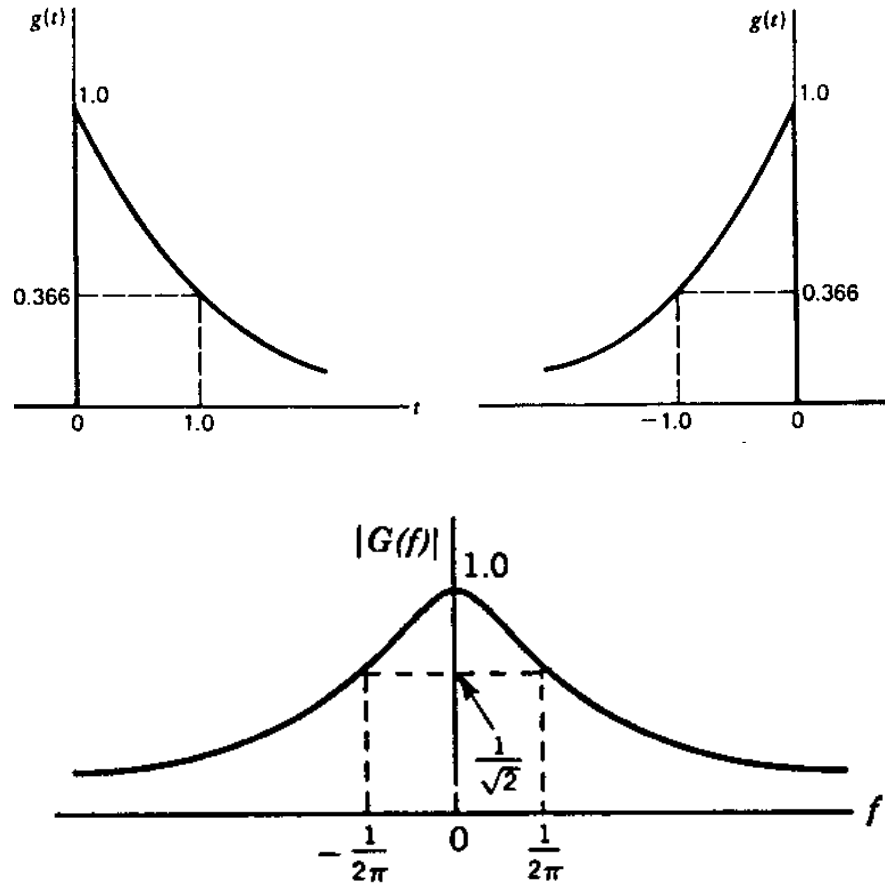
Gambar 7. Pulsa rf dengan Spektrum Frekuensi Sinc Berpusat di f_c

Main lobe = $2/T \rightarrow BW = 2/T$

* Bandwidth 3 dB: Besar BW ditentukan dari posisi frekuensi yang mempunyai amplituda 3 dB ($2^{-1/2}$) dari nilai amplituda puncaknya.

Untuk sinyal Low Pass, besar BW adalah jarak antara frekuensi nol dengan frekuensi positif pada saat amplituda bernilai $2^{-1/2}$ dari nilai puncaknya.

Contoh:

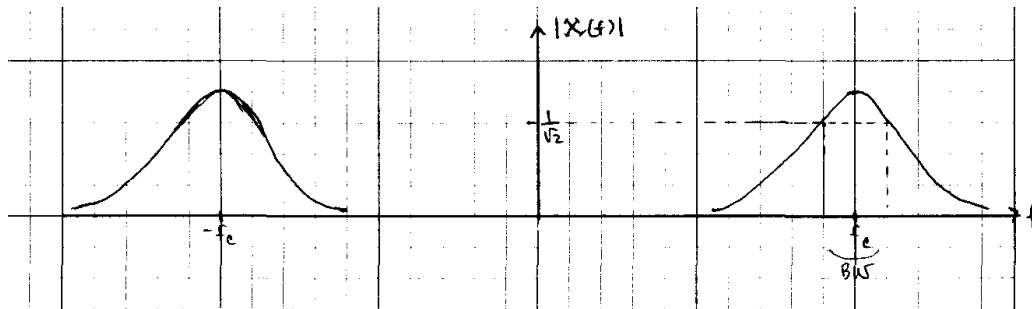


Gambar 8. Pulsa eksponensial dengan Spektrum Frekuensinya

Bandwidth = $1/2\pi$

Untuk sinyal Band Pass, spektrum berpusat di $\pm f_c$. Besar bandwidth merupakan jarak antara 2 frekuensi positif yang mempunyai amplituda $2^{-1/2}$ dari nilai puncaknya.

Contoh:



Gambar 9. Spektrum Frekuensi Pulsa eksponensial Band Pass

3.2. Teknik Modulasi

3.2.1 Konsep Modulasi

Pengertian modulasi:

- Teknik yang digunakan untuk menumpangkan sinyal informasi pada suatu gelombang pembawa
- Sinyal informasi dg frekuensinya rendah, ditumpangkan pada gelombang pembawa dg frekuensi yg jauh lebih tinggi

Modulator → melakukan proses modulasi, ada di transmitter (Tx)

Demodulator → melakukan proses demodulasi, yakni mengembalikan sinyal hasil modulasi ke bentuk semula, ada di receiver (Rx)

Modulasi digunakan untuk mengatasi ketidaksesuaian karakter sinyal dengan media(kanal) yang digunakan. Tanpa proses modulasi, informasi tidak praktis dikirimkan melalui media udara.

Contoh kasus: Sinyal suara tidak praktis ditransmisikan secara langsung melalui media udara dalam bentuk sinyal aslinya.

Pembahasan:

1) Ukuran antenna

Propagasi/perambatan yang efektif, memerlukan ukuran antenna $\frac{1}{4} - \frac{1}{2}$ dari panjang gelombang sinyal yang akan ditransmisikan.

Frekuensi sinyal suara: 300-3000Hz

Ukuran antena : $\frac{1}{4} - \frac{1}{2} \lambda$ (pjpg gelombang) dari sinyal yg akan ditransmisikan

$$\lambda = \frac{c}{f}$$

Dimana,

λ : panjang gelombang

c : kecepatan cahaya, $3 \cdot 10^8$

f : frekuensi sinyal suara

Sehingga didapat,

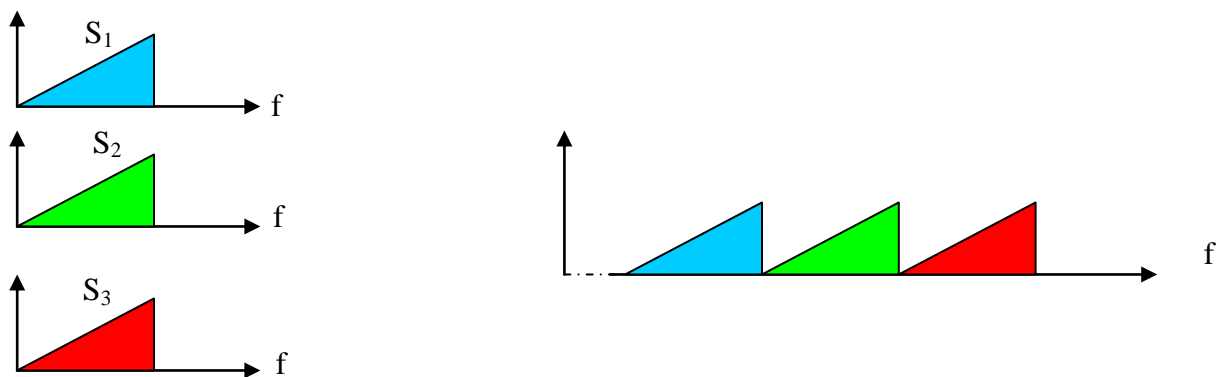
$$\lambda = \frac{3 \cdot 10^8}{3 \cdot 10^3}$$

$$= 100 \text{ km}$$

$\lambda = 100 \text{ km}$, sehingga ukuran antena harus $\frac{1}{4} \lambda - \frac{1}{2} \lambda = 25 - 50 \text{ km} \rightarrow$ **tidak praktis**

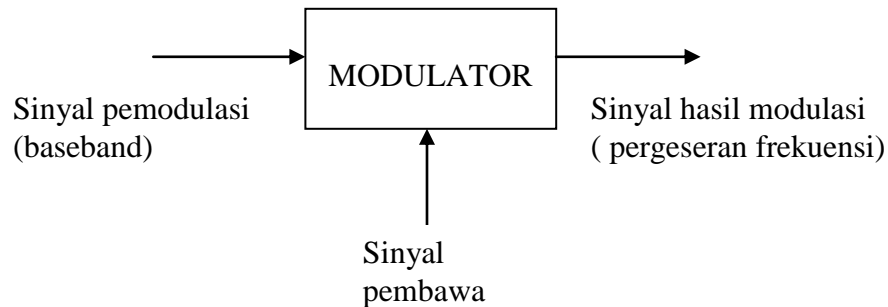
2) Interferensi Sinyal \rightarrow Sinyal-sinyal suara (frekuensinya sama) jika ditransmisikan secara bersamaan interferensi, dimana sinyal saling tumpang tindih dan mengganggu satu sama lain.

Dengan modulasi, frekuensi sinyal-sinyal suara dipindahkan ke wilayah frekuensi yang jauh lebih tinggi, sehingga dapat ditempatkan pada daerah-daerah frekuensi yang berbeda-beda. Proses ini disebut Frequency Division Multiplexing.



Gambar 10. Frequency Division Multiplexing

Secara umum proses modulasi dapat digambarkan dalam diagram blok berikut:



Gambar 11. Proses Modulasi

3.2.2 Jenis Teknik Modulasi

3.2.2.1 Modulasi Analog

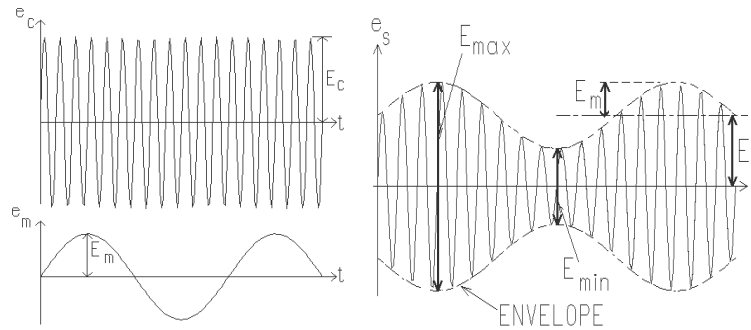
Pada modulasi analog, sinyal pemodulasi, berupa sinyal analog, digunakan untuk memodifikasi sinyal pembawa. Jenis modulasi menggambarkan besaran dari sinyal pembawa yang dimodifikasi. Ada 3 jenis modulasi analog yang diuraikan dalam modul ini, yakni Modulasi amplituda, Modulasi Frekuensi, dan Modulasi Fasa.

1. Modulasi Amplituda (AM)

Sinyal pemodulasi: Sinyal asal yang berisi informasi.

Sinyal pembawa : Sinyal frekuensi tinggi yang ditumpangi oleh sinyal informasi selama proses transmisi.

Pada jenis modulasi ini amplituda sinyal pembawa diubah-ubah secara proporsional terhadap amplituda sesaat sinyal pemodulasi, sedangkan frekuensinya tetap selama proses modulasi. Sebagai contoh dapat dilihat pada gambar 12 berikut,



Gambar 12. Modulasi Amplituda

Sinyal pembawa berupa gelombang sinus dengan persamaan matematisnya:

$$e_c = E_c \sin \omega_c t$$

Sinyal pemodulasi, untuk memudahkan analisa, diasumsikan sebagai gelombang sinusoidal juga, dengan persamaan matematisnya:

$$e_m = E_m \sin \omega_m t$$

dimana,

E_c = amplituda maksimum sinyal pembawa

$\omega_c = 2\pi f_c$ dengan f_c adalah frekuensi sinyal pembawa

E_m = amplituda maksimum sinyal pemodulasi

$\omega_m = 2\pi f_m$ dengan f_m adalah frekuensi sinyal pemodulasi

Sinyal AM, yakni sinyal hasil proses modulasi amplituda, diturunkan dari :

$$e_s = (E_c + e_m) \sin \omega_c t$$

menjadi,

$$e_s = E_c (1 + m \sin \omega_m t) \sin \omega_c t$$

Diuraikan menjadi,

$$e_s = E_c \sin \omega_c t + \frac{mE_c}{2} \cos(\omega_c - \omega_m)t - \frac{mE_c}{2} \cos(\omega_c + \omega_m)t$$

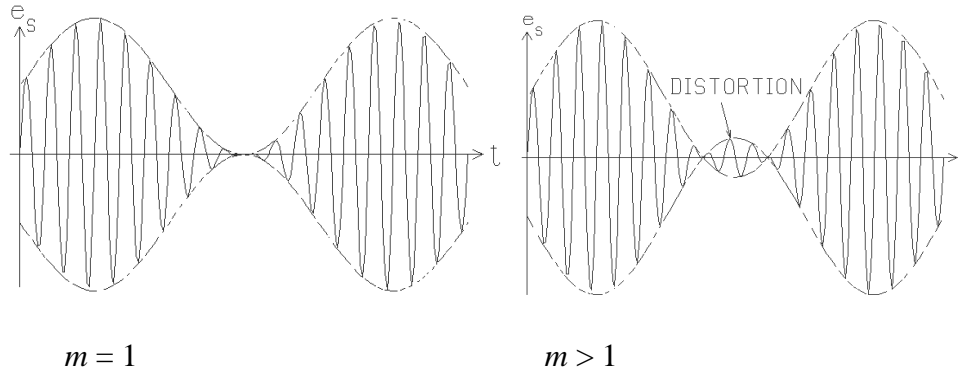
Indeks modulasi ,
$$m = \frac{E_m}{E_c}$$

merupakan ukuran seberapa dalam sinyal informasi memodulasi sinyal pembawa.

Dengan memperhatikan gambar 12, dapat dituliskan:

$$m = \frac{E_{\max} - E_{\min}}{E_{\max} + E_{\min}}$$

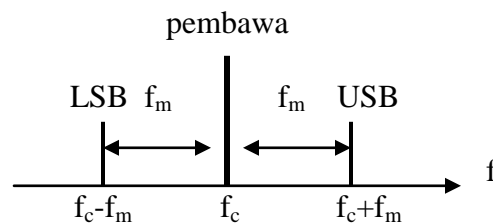
Pengaruh indeks modulasi :



Gambar 13. Pengaruh Indeks Modulasi

Kondisi $m=1$ adalah kondisi ideal, dimana proses modulasi amplituda menghasilkan output terbesar di penerima tanpa distorsi.

Spektrum sinyal AM dapat digambarkan sebagai berikut:



Keterangan: LSB (Lower Side Band); USB(Upper Side Band)

Gambar 14. Spektrum Sinyal AM

Dari gambar 14 terlihat, modulasi amplituda memerlukan bandwidth 2x bandwidth sinyal pemodulasi ($= 2f_m$).

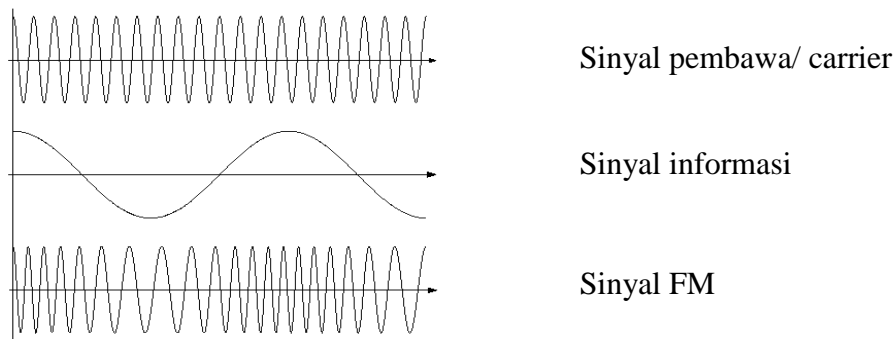
Daya total sinyal AM:

$$P_t = P_c \left(1 + \frac{m^2}{2}\right) = P_c + \frac{P_c m^2}{2}$$

dimana P_c adalah daya sinyal pembawa dan $\frac{P_c m^2}{2}$ adalah daya total sideband (LSB + USB)

2. Modulasi Frekuensi (FM)

Pada modulasi frekuensi sinyal informasi mengubah-ubah frekuensi gelombang pembawa, sedangkan amplitudanya konstan selama proses modulasi. Proses modulasi frekuensi digambarkan sebagai berikut:



Gambar 15. Modulasi Frekuensi

Besar perubahan frekuensi (deviasi), δ , dari sinyal pembawa sebanding dengan amplituda sesaat sinyal pemodulasi, sedangkan laju perubahan frekuensinya sama dengan frekuensi sinyal pemodulasi. Persamaan sinyal FM dapat dituliskan sebagai berikut:

$$e_{FM} = E_c \sin(\omega_c t + m_f \sin \omega_m t)$$

dimana,

e_{FM} : Nilai sesaat sinyal FM

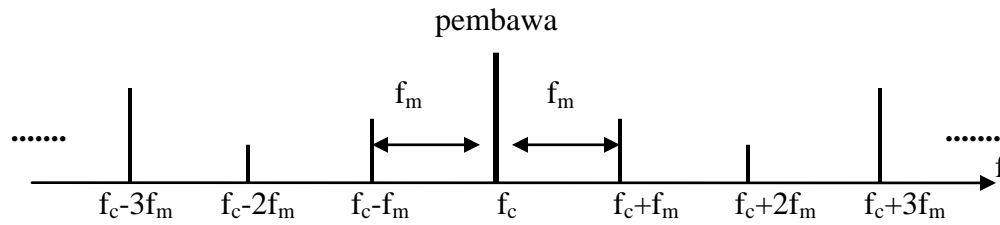
E_c = amplituda maksimum sinyal pembawa

$\omega_c = 2\pi f_c$ dengan f_c adalah frekuensi sinyal pembawa

$\omega_m = 2\pi f_m$ dengan f_m adalah frekuensi sinyal pemodulasi

$m_f = \frac{\delta}{f_m}$: indeks modulasi frekuensi

Spektrum frekuensi sinyal FM dapat digambarkan sebagai berikut:



Gambar 16. Spektrum Sinyal FM

Terlihat dari gambar 16, bandwidth sinyal FM adalah tak berhingga. Namun pada praktek biasanya hanya diambil bandwidth dari jumlah sideband yang signifikan. Jumlah sideband signifikan ditentukan oleh besar indeks modulasinya, dapat dilihat dari tabel berikut:

Tabel 1. Fungsi Bessel

| β | $J_0(\beta)$ | $J_1(\beta)$ | $J_2(\beta)$ | $J_3(\beta)$ | $J_4(\beta)$ | $J_5(\beta)$ | $J_6(\beta)$ | $J_7(\beta)$ | $J_8(\beta)$ | $J_9(\beta)$ |
|---------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| 0.01 | 1.0 | 0.005 | | | | | | | | |
| 0.2 | 0.99 | 0.1 | | | | | | | | |
| 0.5 | 0.94 | 0.24 | 0.03 | | | | | | | |
| 1 | 0.77 | 0.44 | 0.11 | 0.02 | | | | | | |
| 2 | 0.22 | 0.58 | 0.35 | 0.13 | 0.03 | | | | | |
| 3 | -0.26 | 0.34 | 0.49 | 0.31 | 0.13 | 0.04 | 0.01 | | | |
| 4 | -0.4 | -0.7 | 0.36 | 0.43 | 0.28 | 0.13 | 0.05 | 0.02 | | |
| 5 | -0.18 | -0.33 | 0.05 | 0.37 | 0.39 | 0.26 | 0.13 | 0.05 | 0.02 | |
| 6 | 0.15 | -0.28 | -0.23 | 0.12 | 0.36 | 0.36 | 0.25 | 0.13 | 0.06 | 0.02 |

J_i : nilai amplituda komponen frekuensi sideband ke i ($i \neq 0$)

J_0 : nilai amplituda komponen frekuensi sinyal pembawa (bukan sideband)

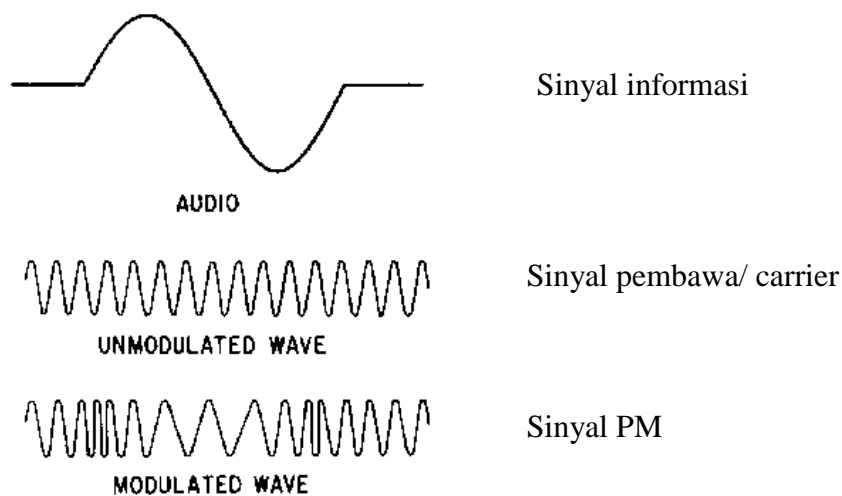
$\beta = m_f$: indeks modulasi

Misalnya, untuk besar indeks modulasi 0.5, dari tabel didapat jumlah sideband signifikan adalah 2 (untuk satu sisi), sehingga bandwidth yang dibutuhkan jika $f_m = 2\text{kHz}$, dapat dihitung dari,

$$\begin{aligned}
 BW_{FM} &= 2 \times \text{jumlah sideband signifikan} \times f_m \\
 &= 2 \times 2 \times 2\text{k} = 8 \text{ kHz}
 \end{aligned}$$

3. Modulasi Fasa (PM)

Pada modulasi ini sinyal informasi mengubah-ubah fasa gelombang pembawa. Besar perubahan fasa sebanding dengan amplituda sesaat sinyal pemodulasi. Modulasi fasa, sama seperti modulasi frekuensi, menghasilkan penyimpangan frekuensi pada sinyal pembawa, sehingga kedua modulasi ini dikelompokkan dalam jenis modulasi sudut. Perbedaannya terletak pada posisi perubahan frekuensi, jika pada modulasi frekuensi deviasi tertinggi dicapai pada amplituda puncak dari sinyal pemodulasi, pada modulasi fasa deviasi maksimum terjadi pada saat sinyal modulasi berubah pada laju yang paling tinggi (slope terbesar) yakni perubahan dari nilai positif ke negatif dan sebaliknya. Proses modulasi fasa terlihat pada gambar 17.



Gambar 17. Modulasi Fasa

Persamaan sinyal PM serupa dengan sinyal FM, perbedaannya hanya terletak pada definisi indeks modulasinya,

$$e_{PM} = E_c \sin(\omega_c t + m_p \sin \omega_m t)$$

dimana m_p adalah indeks modulasi fasa, yakni nilai maksimum perubahan fasa. Indeks modulasi FM berubah secara proporsional terhadap perubahan amplituda dan frekuensi sinyal

pemodulasi, sedangkan indeks modulasi PM hanya berubah secara proporsional terhadap perubahan amplituda sinyal pemodulasi saja.

4. Perbandingan Modulasi Amplituda dan Modulasi Frekuensi

a. Keuntungan FM terhadap AM

- (1) Amplituda sinyal FM konstan, sehingga pemancar tidak memerlukan penguat linier (Klas A, B) seperti pada pemancar AM, tapi cukup penguat Klas C yang mempunyai efisiensi lebih baik.
- (2) Adanya *capture effect* pada penerima FM, yakni sinyal yang lebih kuat 'mengalahkan' sinyal lain yang lebih lemah pada frekuensi yang (hampir) sama. Dalam hal ini sinyal yang lebih lemah diterima di (limiter) penerima dengan mengalami peredaman, bukannya penguatan. Kondisi ini, dapat mencegah interferensi dengan sinyal lain yang tidak diinginkan.
- (3) FM lebih tahan terhadap derau, dapat dicapai dengan rangkaian 'pre&de-emphasis' yang tidak terdapat di sistem AM. Hal ini dapat dijelaskan sebagai berikut: Derau mempunyai efek yang lebih besar di frekuensi- frekuensi tinggi daripada rendah. Rangkaian pre-amphasis di pemancar akan menaikkan amplituda komponen2 frekuensi tinggi, sehingga lebih tahan terhadap derau. Di penerima, melalui rangkaian de-emphasis, nilai amplituda komponen2 frekuensi tinggi tersebut dikembalikan ke semula.
- (4) Pada Pemancar FM komersial, kanal frekuensi yang berdekatan dipisahkan oleh 'guard band' selebar 25 kHz, sehingga mencegah interferensi antar kanal. Pemancar FM beroperasi pada daerah frekuensi VHF dan UHF dengan lebih sedikit derau dibandingkan dengan daerah frekuensi pemancar AM, yakni MF dan HF.
- (5) Komunikasi FM mendekati 'line of sight' (antena pemancar dan penerima harus saling 'melihat') yang membatasi radius penerimaan. Hal ini memungkinkan dioperasikannya beberapa pemancar berbeda pada frekuensi yang sama dengan interferensi yang kecil.

b. Kerugian FM terhadap AM

- (1) Kanal yang dibutuhkan pada komunikasi FM jauh lebih lebar dari AM

- (2) Peralatan pemancar dan penerima FM lebih rumit daripada AM, terutama bagian modulator dan demodulatornya.
- (3) Penerimaan 'Line of Sight' pada FM menyebabkan daerah cakupan FM lebih kecil daripada AM.

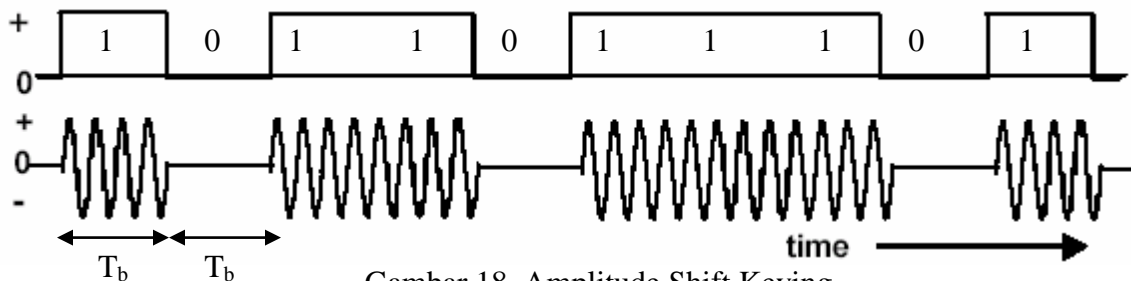
3.2.2.2 Modulasi Digital

Pada modulasi digital, sinyal pemodulasinya berupa sinyal digital. Pada modul ini akan diuraikan pemanfaatan teknik modulasi digital untuk mentransmisikan data biner melalui kanal komunikasi band-pass. Pada teknik modulasi biner, proses modulasi berhubungan dengan pertukaran (switching/keying) antara dua kemungkinan nilai besaran baik itu amplituda, frekuensi atau fasa dari sinyal pembawa, sesuai dengan simbol '0' dan '1'. Dilihat dari jenis besaran yang diubah, jenis modulasi digital dapat dibedakan menjadi: Amplitude Shift Keying (ASK), Frequency Shift Keying (FSK), dan Phase Shift Keying (PSK).

1. Amplitude-Shift Keying (ASK)

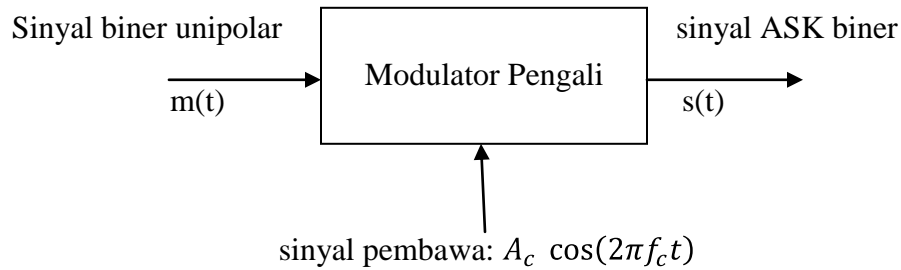
Pada system ASK, simbol biner '1' direpresentasikan dengan mentransmisikan sinyal pembawa sinusoidal dengan amplituda maksimum A_c dan frekuensi f_c , dimana kedua besaran tersebut konstan, selama durasi bit T_b detik. Amplitudo frekuensi pembawa akan berubah sesuai dengan logik sinyal informasi. Sedangkan simbol biner '0' direpresentasikan dengan tanpa mengirimkan sinyal pembawa tersebut selama durasi bit T_b detik. Secara matematis dapat dituliskan:

$$s(t) = \begin{cases} A_c \cos(2\pi f_c t), & \text{untuk simbol '1'} \\ 0, & \text{untuk simbol '0'} \end{cases}$$



Gambar 18. Amplitude Shift Keying

Pembangkitan sinyal Binary ASK (BASK) dapat dilakukan dengan melakukan data biner dalam format unipolar dan sinyal pembawa sinusoidal ke suatu modulator pengali, seperti tampak pada gambar 19.

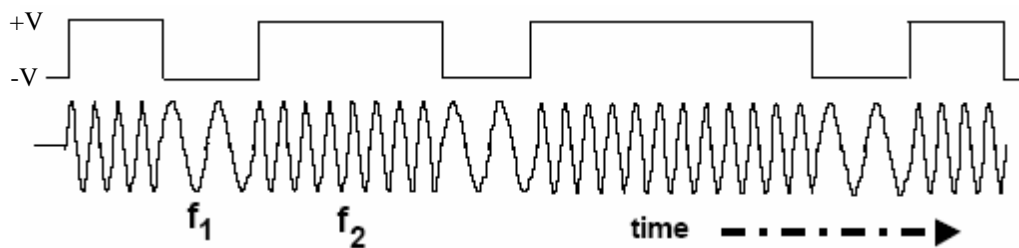


Gambar 19. Pembangkitan Sinyal BASK

2. Frequency-Shift Keying (FSK)

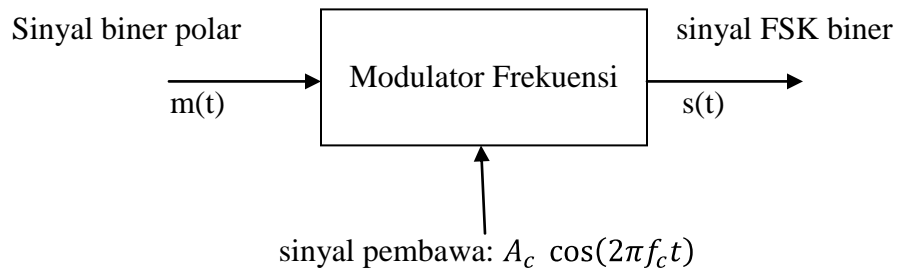
Pada system FSK, 2 buah sinyal sinusoidal dengan amplituda maksimum sama, A_c , tapi frekuensi berbeda, f_1 dan f_2 , digunakan untuk merepresentasikan symbol biner '1' dan '0'. Secara matematis dapat dituliskan:

$$s(t) = \begin{cases} A_c \cos(2\pi f_1 t), & \text{untuk simbol '1'} \\ A_c \cos(2\pi f_2 t), & \text{untuk simbol '0'} \end{cases}$$



Gambar 20. Frequency Shift Keying

Pembangkitan sinyal BFSK dilakukan dengan melakukan data biner dalam format polar ke modulator frekuensi (Voltage Controlled Oscillator), seperti tampak pada gambar 21. Ketika input modulator berubah dari +V ke -V, maka frekuensi yang ditransmisikan akan berubah juga.

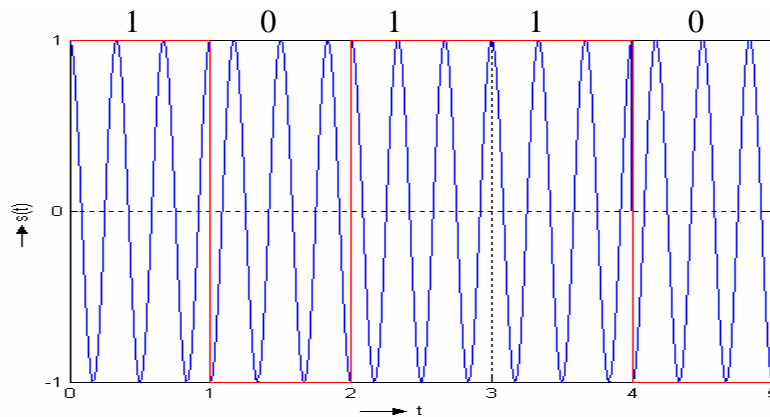


Gambar 21. Pembangkitan Sinyal BFSK

3. Phase shift Keying (PSK)

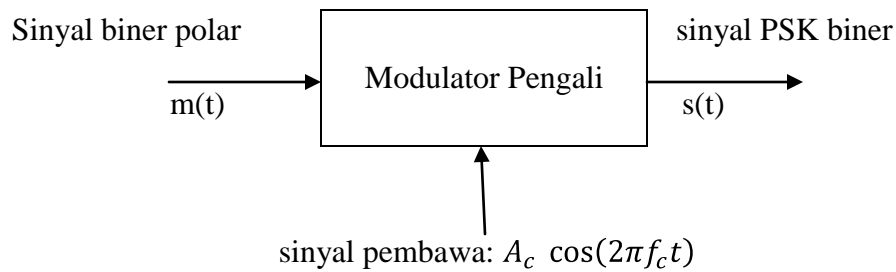
Dalam sistem PSK, sinyal pembawa sinusoidal dengan amplituda A_c dan frekuensi f_c digunakan untuk merepresentasikan kedua symbol '1' dan '0', hanya saja fasa sinyal pembawa untuk kedua simbol tersebut dibuat berbeda 180° . Secara matematis dapat dituliskan:

$$s(t) = \begin{cases} A_c \cos(2\pi f_c t), & \text{untuk simbol '1'} \\ A_c \cos(2\pi f_c t + \pi), & \text{untuk simbol '0'} \end{cases}$$



Gambar 22. Sinyal PSK

Pembangkitan sinyal BPSK serupa dengan pembangkitan sinyal BASK, kecuali data binernya dalam format polar, seperti tampak pada gambar 23.



Gambar 23. Pembangkitan Sinyal BPSK

4. Quadriphase Shift Keying (QPSK)

Transmisi data biner (binary) pada ketiga jenis modulasi sebelumnya adalah salah satu kasus dari transmisi data M-ary, dimana M=2, artinya sinyal yang dikirimkan hanya satu dari dua kemungkinan sinyal setiap durasi bit T_b . Secara umum, pada transmisi data M-ary, sinyal yang dikirimkan adalah satu dari M kemungkinan sinyal (disebut symbol), selama durasi symbol T, dengan nilai $M = 2^n$, dimana n adalah jumlah bit/symbol dan merupakan bilangan integer, dan $T = nT_b$. Laju transmisi symbol melalui kanal komunikasi diekspresikan dalam satuan baud.

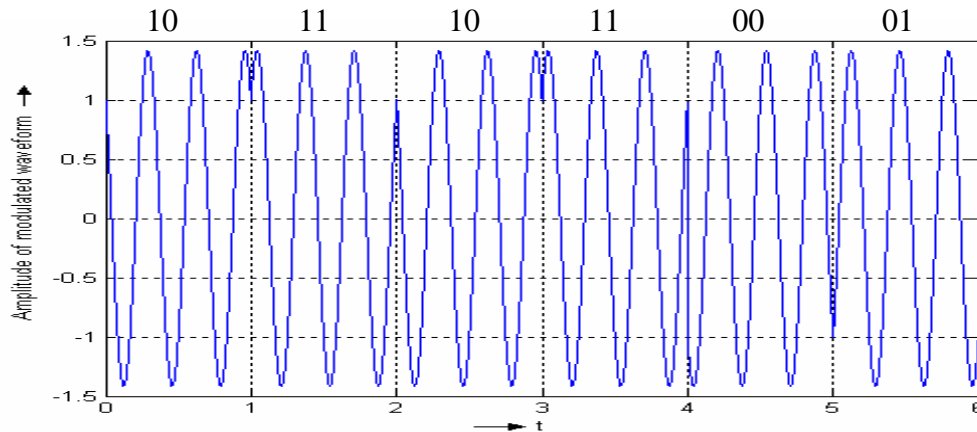
1 baud = 1 simbol/detik

Untuk transmisi data M-ary: 1 baud = $\log_2 M$ bit/detik

Sistem QPSK merupakan transmisi data M-ary dengan M = 4. Jadi, 1 dari 4 kemungkinan sinyal ditransmisikan setiap 1 interval pensinyalan, dimana setiap sinyal (symbol) terdiri dari 2 bit. Sebagai contoh, berikut adalah 4 kemungkinan symbol 00,10,11, dan 01 direpresentasikan dengan mengirimkan sinyal pembawa sinusoidal dengan satu dari 4 kemungkinan nilai:

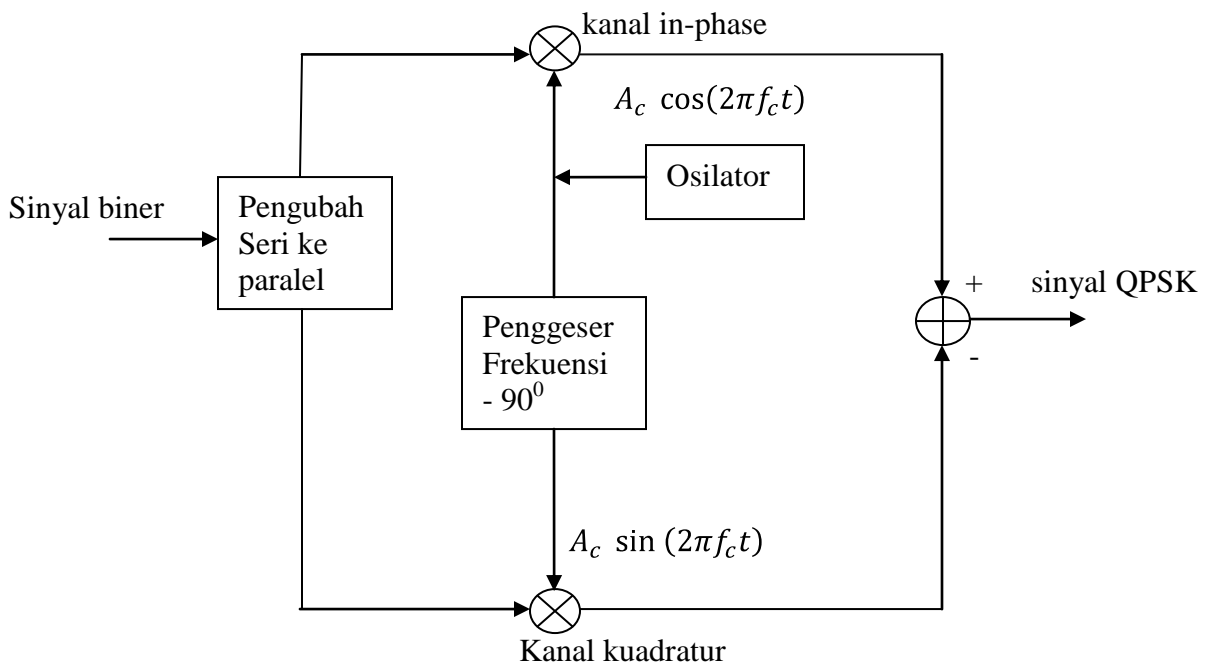
$$s(t) = \begin{cases} A_c \cos\left(2\pi f_c t + \frac{3\pi}{4}\right), & \text{untuk simbol '00'} \\ A_c \cos\left(2\pi f_c t + \frac{\pi}{4}\right), & \text{untuk simbol '10'} \\ A_c \cos\left(2\pi f_c t + \frac{7\pi}{4}\right), & \text{untuk simbol '11'} \\ A_c \cos\left(2\pi f_c t + \frac{5\pi}{4}\right), & \text{untuk simbol '01'} \end{cases}$$

dimana $0 \leq t \leq T$



Gambar 24. Sinyal QPSK untuk Deretan biner 10110110001

Pembangkit sinyal QPSK tampak pada gambar 25, terdiri dari pengubah seri ke parallel, sepasang modulator pengali, osilator dan penggeser fasa yang membangkitkan sinyal pembawa in-phase dan quadrature, dan penjumlah.



Gambar 25. Pembangkit Sinyal Biner

Pengubah seri ke parallel berfungsi untuk memisahkan pasangan bit pada aliran data yang masuk, dimana 1 bit masuk ke kanal in-phase dan 1 bit lagi ke kanal kuadratur. Tampak pada sistem QPSK, besar durasi symbol T adalah $2x$ durasi bit T_b dari input aliran data biner. Jadi

untuk besar bandwidth yang diberikan, sistem QPSK membawa 2x bit informasi lebih banyak dibandingkan pada sistem PSK.

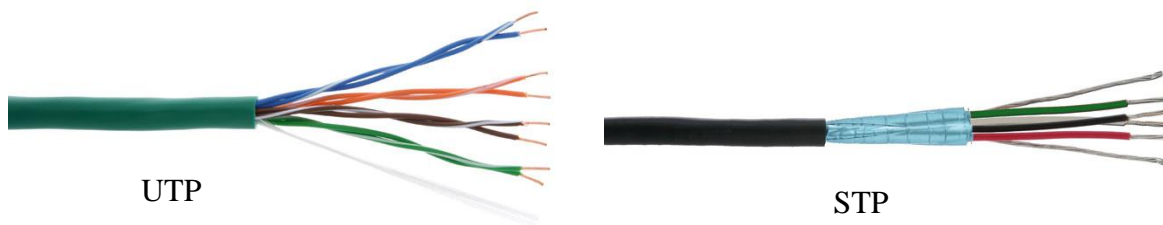
3.3. Media Transmisi

Media transmisi adalah lintasan fisik yang menghubungkan pemancar dan penerima. Melalui media ini, sinyal informasi yang ditransmisikan oleh pemancar dikirimkan ke penerima pada jarak yang jauh. Media transmisi dapat berupa media kawat, misalnya koaksial, dan serat optik, atau dapat juga tanpa kawat, misalnya melalui udara. Karakteristik dan kualitas transmisi sinyal informasi, sangat bergantung pada karakteristik dan kualitas dari sinyal itu sendiri dan juga dari media transmisi yang digunakan.

3.3.1 Media Kawat

1. Twisted Pair

Twisted pair dibentuk dari dua kawat tembaga terlindung yang dipilin dengan pola spiral. Sejumlah pasangan kawat digabungkan dalam satu kabel. Panjang pilinan yang berbeda dapat mengurangi interferensi crosstalk antara pasangan kawat yang saling berdekatan di dalam kabel.



Gambar 26. Unshielded Twisted Pair (UTP) dan Shielded Twisted Pair (STP)

Dibandingkan koaksial dan serat optik, twisted pair merupakan jenis yang paling murah dan paling banyak digunakan, baik pada transmisi analog maupun digital. Kelemahannya adalah keterbatasan pada laju data dan jarak jangkauannya. Jenis kabel ini biasa digunakan pada jaringan telepon atau jaringan komunikasi di dalam gedung.

Karakteristik transmisi jenis media ini dapat diuraikan sebagai berikut:

- (1) Pemanfaatan untuk sinyal analog memerlukan amplifier setiap 5-6 km, sedangkan untuk sinyal digital penguatan dibutuhkan setiap 2-3 km.

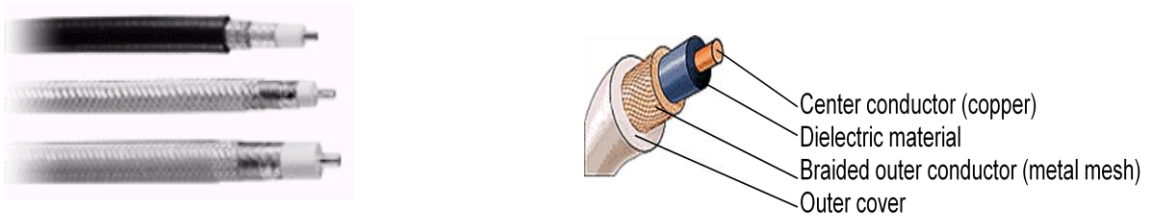
- (2) Redaman sangat dipengaruhi oleh frekuensi, makin tinggi frekuensi yang digunakan makin besar redamannya.
- (3) Rentan terhadap interferensi dan derau. Interferensi dapat dikurangi dengan menggunakan anyaman metalic sebagai pelindung.

Kabel twisted Pair ada 2 jenis seperti tampak pada gambar 26, yakni UTP dan STP. UTP rentan terhadap interferensi dari luar, biasanya digunakan untuk kabel telepon. STP interferensinya lebih sedikit dibandingkan UTP karena menggunakan anyaman metalik sebagai pelindung. Jenis ini memberikan kinerja yang lebih baik pada laju data yang tinggi, namun lebih mahal dan lebih sulit dikerjakan dibandingkan dengan UTP.

Kabel UTP dibedakan menjadi beberapa kategori. UTP kategori 3 biasanya mempunyai panjang pilinan 7,5 sampai 10 cm. Karakteristik transmisi dapat mencapai 16 MHz, dimanfaatkan untuk transmisi suara (voice) di dalam gedung perkantoran. Laju data dapat mencapai 16 Mbps dalam jarak yang terbatas. UTP kategori 4 mempunyai spesifikasi karakteristik transmisi sampai 20 MHz. UTP kategori 5 mempunyai panjang pilinan yang lebih ketat, yakni 0,6 – 0,85 cm, untuk mendapatkan kinerja yang lebih baik. Karakteristik transmisi dapat mencapai 100 MHz, dimanfaatkan untuk transmisi data di gedung2 baru. Laju data dapat mencapai 100 Mbps dalam jarak yang terbatas. UTP kategori 3 dan 5 biasanya digunakan pada LAN (Local Area Network).

2. Kabel Koaksial

Kabel koaksial terdiri dari 2 buah konduktor. Konduktor dalam terdiri dari kawat tunggal tembaga, sedangkan konduktor luar berupa anyaman metal. Kedua konduktor dipisahkan oleh material dielektrik, sedangkan lapisan terluar berupa selubung dengan struktur yang dapat menghalangi derau dari luar, dan mengurangi interferensi dan crosstalk. Dibandingkan dengan kabel twisted pair, kabel koaksial dapat beroperasi pada daerah frekuensi yang lebih luas dengan jarak jangkauan yang lebih jauh.



Gambar 27. Kabel koaksial

Pemanfaatan kabel koaksial yang paling umum adalah pada TV kabel. Kabel ini juga digunakan pada jaringan telepon jarak jauh, dan dapat membawa 10.000 kanal suara sekaligus dengan menggunakan Frequency Division Multiplexing (FDM). Saat ini, kabel koaksial juga digunakan pada Ethernet LAN dan backbone pada PSTN.

Berikut adalah karakteristik transmisi media ini:

- (1) Digunakan baik untuk sinyal analog maupun digital.
- (2) Dapat mendukung frekuensi dan laju data yang lebih tinggi dibandingkan kabel twisted pair.
- (3) Kinerja dibatasi oleh adanya redaman, derau thermal dan derau intermodulasi.
- (4) Untuk transmisi jarak jauh, diperlukan amplifier pada setiap beberapa km.
- (5) Spektrum yang dapat digunakan untuk pensinyalan analog dapat sampai 500 MHz
- (6) Untuk transmisi digital, diperlukan repeater pada setiap beberapa km.

3. Serat Optik

Serat optic adalah material fleksibel dan tipis, terbuat dari serat kaca murni, sehingga meskipun kabel mempunyai panjang sampai beratus2 meter, cahaya masih dapat dipancarkan dari ujung satu ke ujung lainnya. Helai serat kaca tersebut didesain sangat halus, ketebalannya kira-kira sama dengan tebal rambut manusia. Helai serat kaca dilapisi oleh 2 lapisan plastik (2 layers plastic coating) dengan melapisi serat kaca dengan plastik, akan didapatkan equivalen sebuah cermin disekitar serat kaca.



Gambar 28. Kabel Serat Optik dan Proses Pemantulan Cahaya di Dalamnya

Dari gambar 28 tampak bagian dari serat optik, yakni bagian terdalam (core) terdiri dari satu atau lebih serat yang sangat tipis dengan diameter 8-100 μm . kemudian bagian yang mengelilingi core, disebut cladding, terbuat dari lapisan plastik atau gelas dengan sifat optik yang berbeda dari core, berfungsi untuk menjaga agar cahaya tidak keluar. Bagian terluar adalah jaket yang mengelilingi satu atau lebih cladding, terbuat dari bahan plastik atau lainnya. Bagian ini menjaga kabel dari kondisi lingkungan sekitar seperti kelembaban, abrasi, dan benturan.

Kabel serat optik mempunyai keunggulan dalam hal: redaman sangat kecil, tahan terhadap derau, bandwidth yang sangat besar, sukar untuk di 'tap' tanpa merusakkannya, tidak ada korosi, lebih ringkas dan ringan dibandingkan dengan kabel kawat. Sedangkan kelemahannya adalah: hanya bisa dibengkokkan pada radius yang terbatas, di luar itu, cahaya tidak bisa sampai di ujung lainnya, atau bahkan patah. Kabel serat optik juga sangat sulit untuk disambung, getaran mekanik dapat menimbulkan sinyal derau.

Kabel fiber optik modern dapat membawa sinyal digital dengan jarak kurang lebih 60 mil (sekitar 100 Km). Pada jalur distribusi jarak jauh biasanya terdapat peralatan tambahan (equipment hut) setiap 40-60 mil, yang berfungsi pick-up equipment yang akan menampung, menguatkan sinyal, dan kemudian me-retransmit-kan sinyal ke equipment selanjutnya.

3.3.2 Media Non-Kawat

Pemanfaatan kawat/kabel sebagai media transmisi hanya dapat menjangkau jarak yang terbatas. Perawatan dan juga perbaikannya jika terjadi kerusakan sangat sulit. Media ini juga sulit untuk pengembangan/perubahan jaringan, karena berarti harus ada pemasangan kabel-kabel baru.

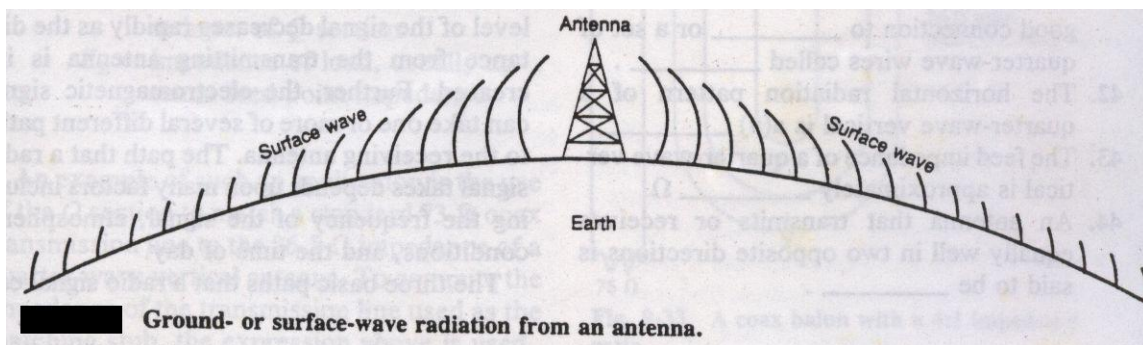
Sejak ditemukannya radio, komunikasi melalui media non-kawat berkembang pesat karena kemampuannya yang dapat menjangkau jarak yang sangat jauh, tanpa terlalu dipengaruhi oleh kondisi medan yang dilalui.

Transmisi sinyal dengan media non-kawat memerlukan antenna untuk meradiasikan sinyal radio ke udara bebas dalam bentuk gelombang elektromagnetik (em). Gelombang ini akan merambat melalui udara bebas menuju antenna penerima dengan mengalami peredaman sepanjang lintasannya, sehingga ketika sampai di antenna penerima, energy sinyal sudah sangat lemah.

Gelombang em dalam perambatannya menuju antenna penerima dapat melalui berbagai macam lintasan. Jenis lintasan yang diambil tergantung dari frekuensi sinyal, kondisi atmosfer dan waktu transmisi. Ada 3 jenis lintasan dasar yang dapat dilalui, yakni melalui permukaan tanah (gelombang tanah), melalui pantulan dari lapisan ionosfir di langit (gelombang langit), dan perambatan langsung dari antenna pemancar ke antenna penerima tanpa ada pemantulan (gelombang langsung).

1. Propagasi Gelombang Tanah

Gelombang tanah merambat dekat permukaan tanah dan mengikuti lengkungan bumi, sehingga dapat menempuh jarak melampaui horizon. Perambatan melalui lintasan ini sangat kuat pada daerah frekuensi 30 kHz – 3 MHz. Di atas frekuensi tersebut permukaan bumi akan meredam sinyal radio, karena benda-benda di bumi menjadi satu ukuran dengan panjang gelombang sinyal. Sinyal dari pemancar AM utamanya merambat melalui lintasan ini.

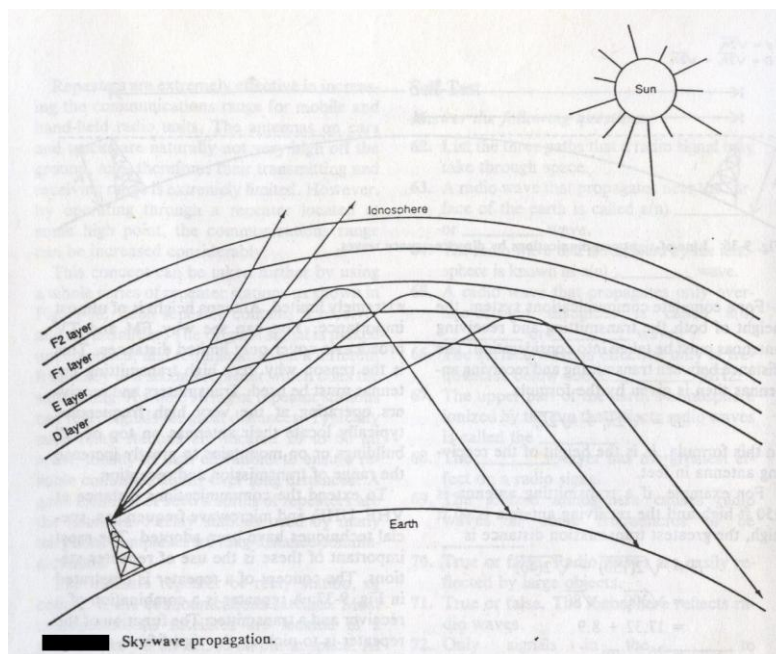


Gambar 29. Propagasi Gelombang Tanah

2. Propagasi Gelombang Langit

Gelombang langit diradiasikan oleh antenna ke lapisan ionosfir yang terletak di atmosfer bagian atas dan dibelokkan kembali ke bumi. Ada beberapa lapisan ionosfir yakni lapisan D, E, F₁ dan F₂, dimana keberadaannya di langit berubah-ubah menurut waktu, dan sangat mempengaruhi perambatan sinyal.

Lapisan D dan E adalah lapisan yang paling jauh dari matahari sehingga kadar ionisasinya rendah. Lapisan ini hanya ada pada siang hari, dan cenderung menyerap sinyal pada daerah frekuensi 300 kHz – 3 MHz.



Gambar 30. Propagasi Gelombang Langit

Lapisan F terdiri dari lapisan F₁ dan F₂, mempunyai kadar ionisasi yang paling tinggi karena dekat dengan matahari, sehingga ada pada baik pada siang maupun malam hari. Lapisan ini yang paling mempengaruhi sinyal radio, dimana pada daerah frekuensi 3 – 30 MHz, sinyal yang sampai ke lapisan ini pada sudut tertentu, akan dibelokkan kembali ke bumi, ke tempat yang sangat jauh dari antenna pemancarnya dengan redaman yang kecil, sehingga sangat bermanfaat untuk transmisi sinyal. Sinyal yang sampai ke lapisan tersebut pada sudut yang besar terhadap bumi, akan dilewatkan ke ruang angkasa.

3. Propagasi Gelombang Langsung

Pada propagasi ini, sinyal yang dipancarkan oleh antenna pemancar langsung diterima oleh antenna penerima tanpa mengalami pantulan, disebut Line Of Sight (LOS). Karena perambatannya harus secara langsung, maka di lokasi- lokasi yang antenna penerimanya terhalang, tidak akan menerima sinyal (blocked spot).

Jarak transmisi yang dapat dijangkau pada propagasi LOS relative pendek dan dibatasi oleh tinggi antenna pemancar dan penerimanya, direpresentasikan melalui rumus berikut:

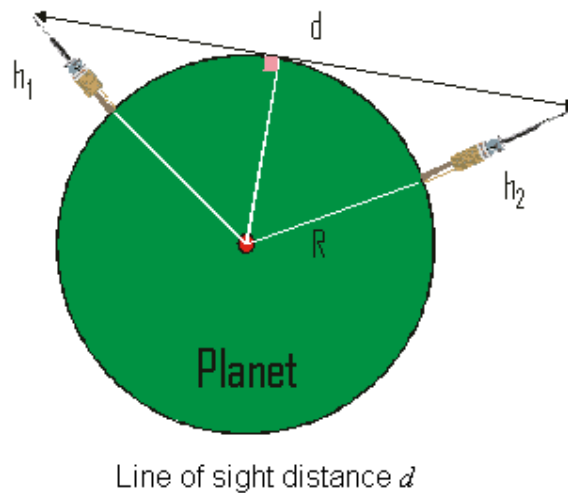
$$d = 4\sqrt{h_t} + 4\sqrt{h_r}$$

Dimana,

d : jarak antenna pemancar dan penerima, km

h_t : tinggi antenna pemancar, m

h_r : tinggi antenna penerima, m



Gambar 31. Propagasi Line Of Sight

Komunikasi LOS paling banyak digunakan pada transmisi sinyal radio di atas 30 MHz yakni pada daerah VHF, UHF, dan microwave. Pemancar FM dan TV, menggunakan propagasi ini. Untuk mengatasi jarak jangkauan yang pendek, digunakan repeater, yang terdiri dari receiver

8. Fungsi antena pada pemancar yaitu
 - a. mengubah sinyal listrik menjadi magnet
 - b. menerima gelombang elektromagnetik
 - c. sebagai matching impedance
 - d. mengubah sinyal listrik menjadi gelombang elektromagnetik
9. Proses modulasi dilakukan pada
 - a. Mixer
 - b. Detektor
 - c. Modulator
 - d. IF Amplifier
10. Proses pemindahan frekuensi sinyal-sinyal suara ke wilayah frekuensi yang jauh lebih tinggi, sehingga dapat ditempatkan pada daerah-daerah frekuensi yang berbeda-beda disebut
 - a. TDM
 - b. FDM
 - c. ATM
 - d. Mixer
11. Jenis modulasi digital untuk data biner yang menghasilkan 2 jenis sinyal dengan Amplituda sama, namun frekuensi berbeda adalah:
 - a. BPSK
 - b. QPSK
 - c. BASK
 - d. BFSK
12. Faktor yang tidak mempengaruhi jenis lintasan yang diambil oleh gelombang radio pada perambatannya adalah:
 - a. Waktu perambatan
 - b. Jenis modulasi
 - c. Kondisi atmosfer
 - d. Frekuensi sinyal
13. Jenis media transmisi yang memberikan ketersediaan bandwidth paling besar adalah:
 - a. Kabel koaksial
 - b. Serat Optik
 - c. Kabel UTP
 - d. Kabel STP
14. Jenis media transmisi yang paling rentan terhadap gangguan crosstalk adalah:
 - a. Kabel koaksial
 - b. Serat Optik
 - c. Kabel UTP
 - d. Kabel STP
15. Lapisan ionosfir yang hanya ada pada siang hari adalah:
 - a. Lapisan D dan F_1
 - b. Lapisan D dan E
 - c. Lapisan E dan F_2
 - d. Lapisan F_1 dan F_2
16. Jenis media transmisi dengan jarak jangkauan terjauh adalah:
 - a. Kabel koaksial
 - b. Serat Optik
 - c. Kabel UTP
 - d. Media udara

17. Jenis media transmisi yang memerlukan antena dalam proses transmisinya adalah:

- a. Media udara
- b. Serat Optik
- c. Kabel UTP
- d. Kabel koaksial

18. Jenis propagasi yang perambatannya mengikuti kontur permukaan bumi adalah:

- a. Gelombang tanah
- b. Gelombang Langit
- c. Gelombang langsung
- d. Gelombang laut

19. Istilah 'Line of Sight' digunakan pada propagasi melalui lintasan:

- a. Gelombang tanah
- b. Gelombang Langit
- c. Gelombang langsung
- d. Gelombang laut

20. Repeater pada komunikasi 'Line of Sight' digunakan untuk:

- a. Mengubah lintasan perambatan
- b. Meningkatkan frekuensi sinyal
- c. Memperbesar jarak jangkauan penerimaan sinyal
- d. Memantulkan sinyal

4.2 Kunci Jawaban

- 1. c
- 2. a
- 3. c
- 4. c
- 5. a
- 6. c
- 7. a
- 8. d
- 9. c
- 10. b
- 11. d
- 12. b
- 13. b
- 14. c
- 15. b
- 16. d
- 17. a
- 18. a
- 19. c
- 20. c

DAFTAR PUSTAKA

1. Simon Haykin, “An Introduction to analog & Digital Communications”, John Wiley & Sons
2. Kennedy, George & Bernard Davis, “ Electronics Communication Systems”, McGraw Hill
3. Lapatine, Sol, “Electronics In Communication”, John Wiley & Sons
4. Frenzel, Louis E., “Communication Electronics”, McGraw Hill
5. ewijaya.wordpress.com, ”Komunikasi Serat Optik”
6. Telecommunication Club, “Elektromagnetic Wave Propagation”, Teknik Elektro UII
7. www.ryszard.struzak.com, “Radio Wave Propagation Basics”
8. Kharagpur ,” Quartenary Phase Shift Keying”, Version 2 ECE IIT Course