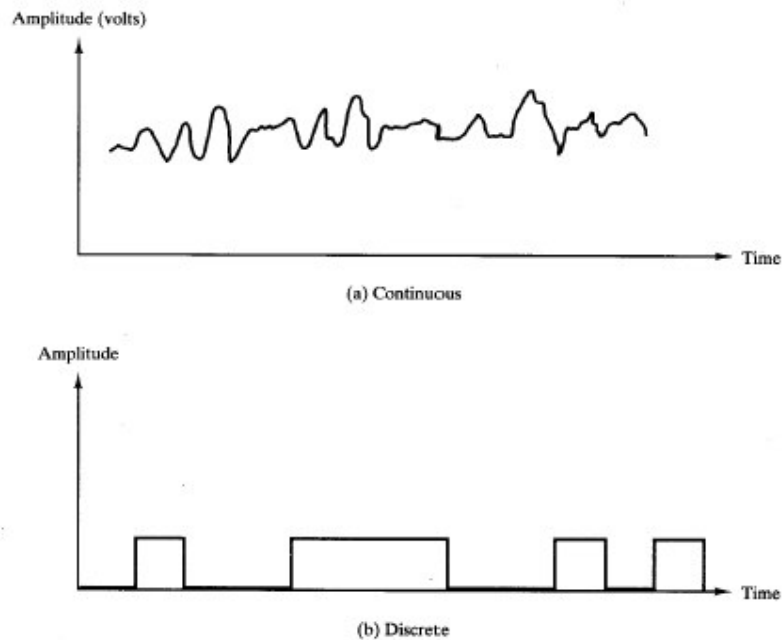


B A B III

SINYAL DAN MODULASI

4.1. Komponen Sinyal

Untuk memperdalam komponen sinyal, maka dilihat dari fungsi waktu, sinyal elektromagnetik dapat dibedakan menjadi sinyal kontinyu dan diskrit. Sinyal kontinyu mengalami perubahan intensitas sedikit demi sedikit sehingga tidak mengalami putus atau berhenti, sedangkan sinyal diskrit memiliki intensitas yang konstan pada harga tertentu dan pada saat yang lain berada pada harga konstan yang lain. Sinyal kontinyu dapat dipakai untuk mewakili speech dan sinyal diskrit dapat dipakai untuk mewakili biner 1 dan 0.



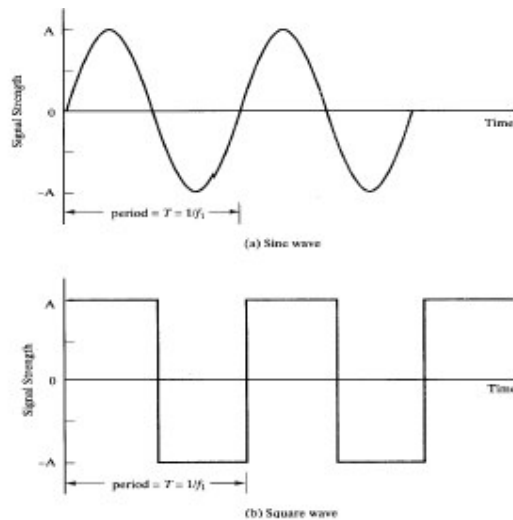
Gambar 4.1 Sinyal Kontinyu dan Diskrit

Sinyal periodik adalah sinyal yang mengalami pengulangan bentuk yang sama pada selang waktu tertentu. Secara matematis sinyal $s(t)$ dapat dikatakan sinyal periodik jika :

$$s(t + T) = s(t) \quad -\infty < t < +\infty$$

Dimana konstanta T adalah periode pengulangan sinyal, dengan T harganya jauh lebih kecil dari batas waktu sinyal tersebut. Gelombang sinus dapat disusun oleh tiga parameter, yaitu amplitudo (A), frekuensi (f) dan phase (ϕ) seperti pada persamaan berikut :

$$s(t) = A \sin(2\pi ft) + \phi$$

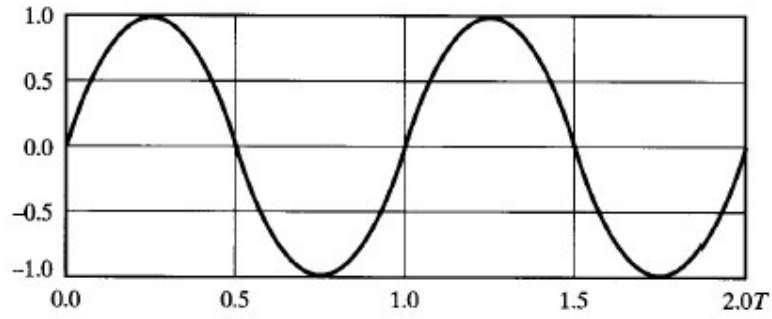


Gambar 4.2 Sinyal Periodik

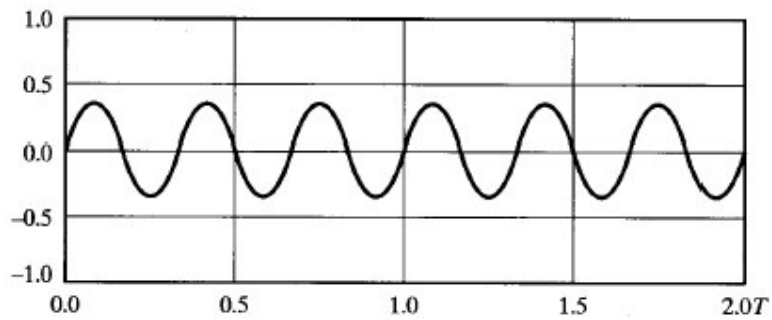
Pada kenyataannya suatu sinyal elektromagnetik terdiri atas berbagai frekuensi, sehingga spektrumnya akan melebar sebanyak frekuensi yang terdapat pada sinyal tersebut. Dengan menjumlah dua buah sinyal sinus dengan frekuensi f_1 dan $3f_1$ sesuai dengan persamaan :

$$s(t) = \sin(2\pi f_1 t) + \frac{1}{3} \sin(2\pi (3f_1) t)$$

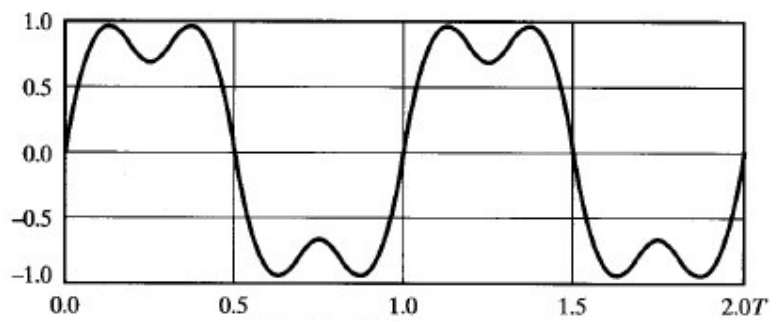
Maka akan diperoleh sinyal gabungan seperti pada gambar 4.3, dimana gambar 4.3c komponen sinyalnya berasal dari sinyal individual pada gambar 4.3a dan 4.3b. Besarnya frekuensi pada sinyal kedua merupakan kelipatan bilangan integer dari sinyal pertama, sehingga frekuensi sinyal pertama disebut sebagai frekuensi fundamental. Periode sinyal keseluruhan sama dengan periode sinyal fundamental. Spektrum sinyal akan terdiri dari beberapa frekuensi yang menyusun sinyal tersebut, yaitu pada daerah antara f_1 dan $3f_1$. Jika sinyal juga mengandung komponen frekuensi 0, yang dapat berupa komponen *direct-current* (dc), atau komponen sinyal yang konstant, maka tanpa komponen dc sinyal akan memiliki amplitudo rata-rata yang nilainya nol seperti sinyal pada gambar 4.3, maka spektrumnya dapat dilihat pada gambar 4.4.



(a) $\sin(2\pi f_1 t)$

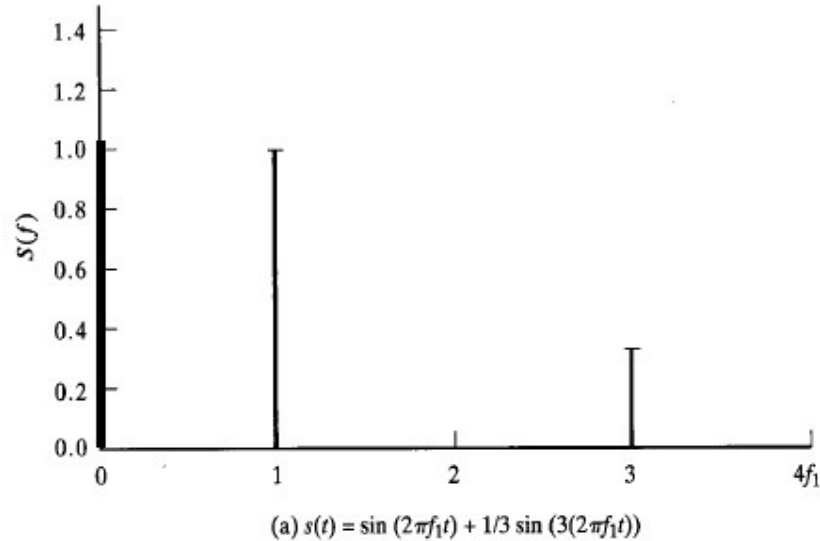


(b) $1/3 \sin(2\pi(3f_1)t)$



(c) $\sin(2\pi f_1 t) + 1/3 \sin(2\pi(3f_1)t)$

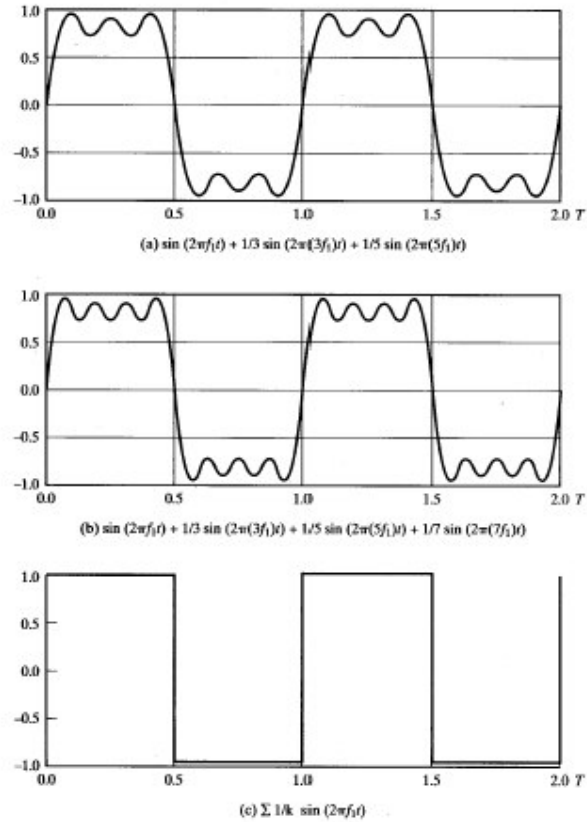
Gambar 4.3 Penjumlahan Dua Komponen Frekuensi



Gambar 4.4 Sinyal Dengan Komponen DC

Untuk memberikan gambaran tentang sinyal persegi (digital) maka dianggap pulsa positif mewakili biner 1 dan pulsa negatif mewakili pulsa 0, selanjutnya pada gambar 4.5 diperlihatkan sinyal dengan deretan kode biner 1010... dengan durasi $1/2f_1$, sehingga kecepatan bit adalah $2f_1$ bit per detik (bps). Dengan melihat kembali gambar 4.5 maka akan terlihat bentuk gelombang sinus yang dapat membentuk gelombang persegi.

Dengan cara menjumlah gelombang sinus yang terdiri dari frekuensi $f_1 + 3f_1 + 5f_1$ maka akan didapat bentuk gelombang seperti terlihat pada gambar 4.5a. Bila selanjutnya ditambah dengan $7f_1$ akan terlihat pada gambar 4.5b, dimana sudah mulai terlihat gambaran kasar tentang gelombang persegi. Bila terus dilakukan penjumlahan kelipatan ganjil dari f_1 , maka secara berangsur-angsur bentuk gelombang persegi akan kelihatan semakin halus, seperti terlihat pada gambar 4.5c.

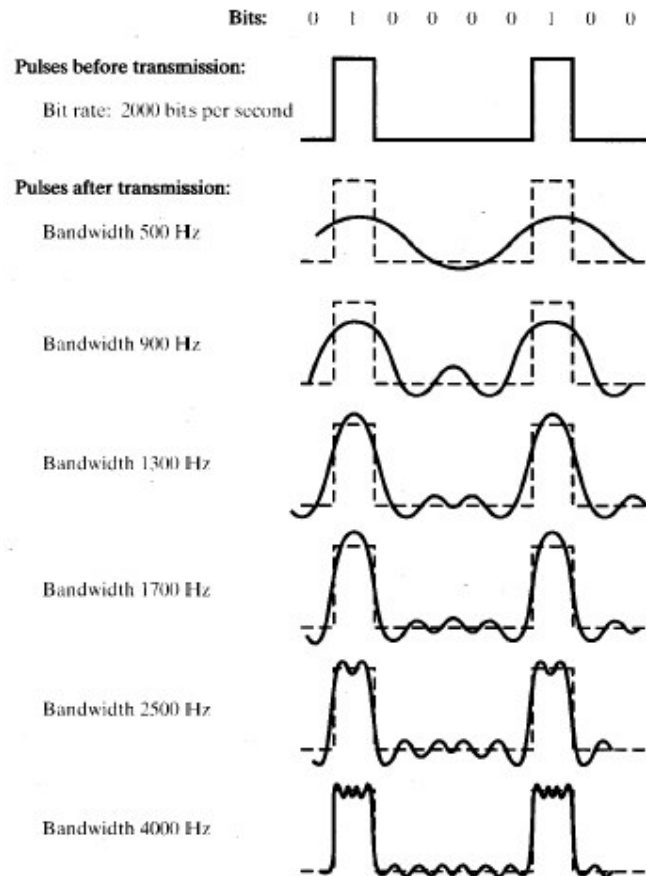


Gambar 4.5 Komponen Gelombang Persegi

Sehingga secara matematis komponen frekuensi dari gelombang persegi dapat disusun dari penjumlahan beberapa frekuensi kelipatan ganjil dari frekuensi fundamental, seperti pada persamaan berikut :

$$s(t) = Ax \sum_{k \text{ ganjil}, k=1}^{\infty} \frac{1}{k} \sin(2\pi k f_1 t)$$

Dari persamaan diatas dapat dilihat bahwa gelombang persegi terdiri dari berbagai komponen frekuensi kelipatan ganjil yang tidak terbatas yang akibatnya akan memiliki *bandwidth* yang tidak terbatas pula. Akan tetapi amplitudo pada komponen frekuensi ke k ($k f_1$) adalah $1/k$, sehingga energi pada bentuk gelombang ini hanya berada pada beberapa frekuensi awal.



Gambar 4.6 Pengaruh Bandwidth terhadap Sinyal Digital

Dari uraian diatas dapat diambil suatu kesimpulan bahwa secara umum gelombang digital memiliki *bandwidth* yang tidak terbatas, sehingga pada praktisnya maka media transmisi akan membatasi *bandwidth* sinyal yang dapat dikirimkan, dengan membatasi *bandwidth* maka menyebabkan sinyal terdistorsi, yang dapat mengakibatkan receiver kesulitan untuk menerjemahkan sinyal yang diterima. Pada gambar 4.6 menunjukkan deretan bit yang dikirimkan dengan kecepatan 2000 bps, dengan *bandwidth* antara 1700 samapai 2500 Hz maka gambaran bentuk sinyal sudah cukup baik, selanjutnya hasil ini dapat dipakai sebagai acuan, jika kecepatan sinyal digital adalah W bps, maka gambaran bentuk sinyal yang baik dapat diperoleh pada *bandwidth* $2W$ Hz, walaupun masih ada beberapa noise dibandingkan dengan *bandwidth* yang lebih kecil. Pada saat transmisi, maka sinyal yang diterima oleh receiver selalu berisi sinyal yang dikirim oleh transmitter, perubahan akibat rugi-rugi dan distorsi pada saluran transmisi, plus sinyal liar (noise) yang masuk pada rangkaian elektronik antara transmitter dan receiver, noise dapat dibedakan dalam 4 katagori :

- *Thermal-noise*
- *Intermodulation-noise*
- *Crosstalk*
- *Impulse-noise*

Thermal-noise terjadi karena pengaruh pergerakan elektron dalam rangkaian, noise ini selalu muncul pada setiap peralatan elektronik dan saluran transmisi yang dapat diformulasikan sebagai :

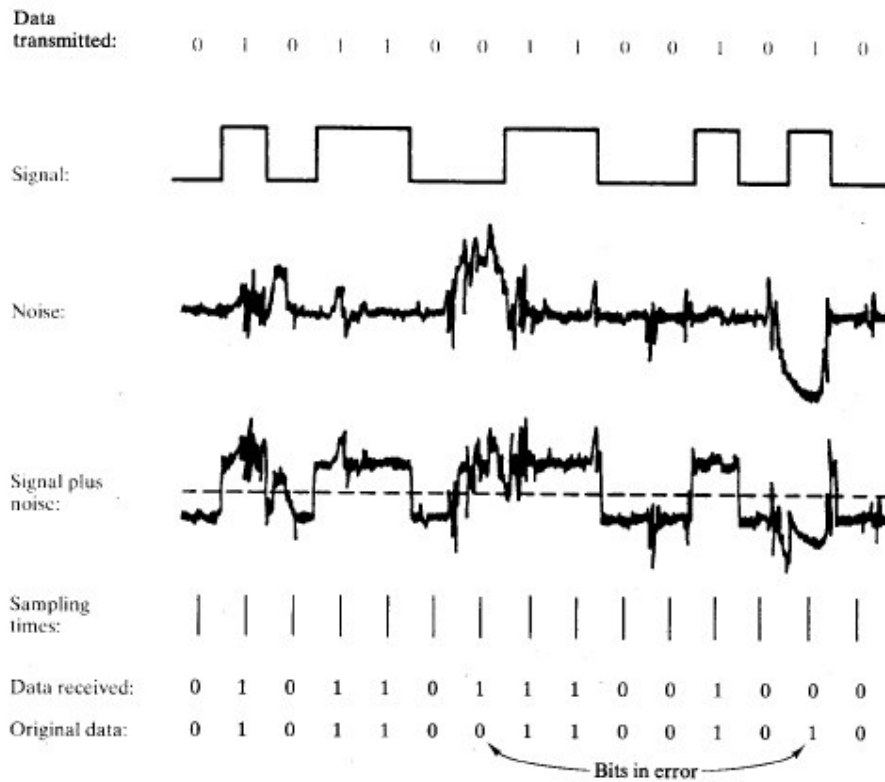
$$N = kTW$$

Dimana : N = Kerapatan daya noise (Watt/Hz)
 k = Konstanta Boltzman's ($1,3803 \cdot 10^{-23}$ J/Ko)
 T = Temperatur (derajat Kelvin)
 W = Bandwidth (Hz)

Dalam *decibel-watts* menjadi :

$$\begin{aligned} N &= 10 \log k + 10 \log T + 10 \log W \\ &= -228,6 \text{ dBW} + 10 \log T + 10 \log W \end{aligned}$$

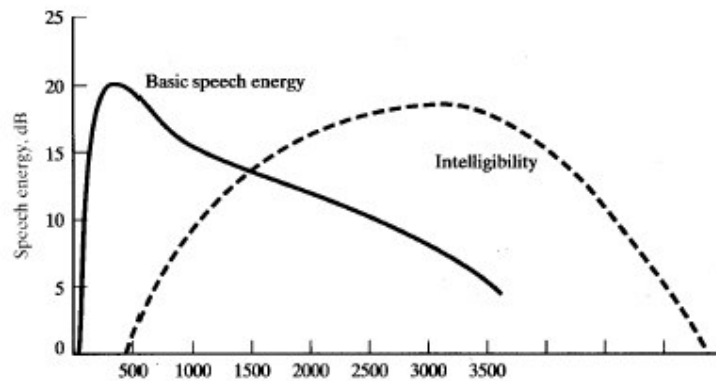
Intermodulation-noise timbul karena antara sistem pada transmitter dan receiver yang tidak linear, misalnya akibat perbedaan konstanta waktu, kekuatan sinyal yang cukup ekstrim, kerusakan komponen, dll. Keadaan ini menyebabkan sinyal akan saling mengurangi atau menjumlah. Crosstalk diakibatkan oleh saluran yang saling berdekatan menyebabkan gelombang elektromagnetik yang saling berhubungan dan tercampur. Biasanya terjadi pada kabel UTP, kabel coaxial yang melewati banyak sinyal, atau pada antena sistem transmisi microwave. Noise ini biasanya memiliki magnitudo yang sama dengan *thermal-noise*. *Impulse-noise* dapat diakibatkan oleh berbagai sebab tetapi umumnya karena adanya gangguan peralatan elektromagnetik eksternal seperti pensaklaran, mesin listrik, lampu pijar, dll. *Impulse-noise* umumnya tidak mengganggu pada sinyal analog, misalnya transmisi suara yang terganggu adanya bunyi liar tetapi masih dapat didengar. Noise ini dapat menyebabkan error pada transmisi digital, contohnya bila ada noise impulse sebesar 0.01 detik yang mengganggu transmisi data 4800 bps, maka akan menyapu data sebanyak 50 bit. Pada gambar dibawah menampilkan pengaruh noise kepada sinyal digital, Sinyal noise diambil dari contoh model thermal-noise dan impulse-noise.



Gambar 4.7 Pengaruh Noise terhadap Sinyal Digital

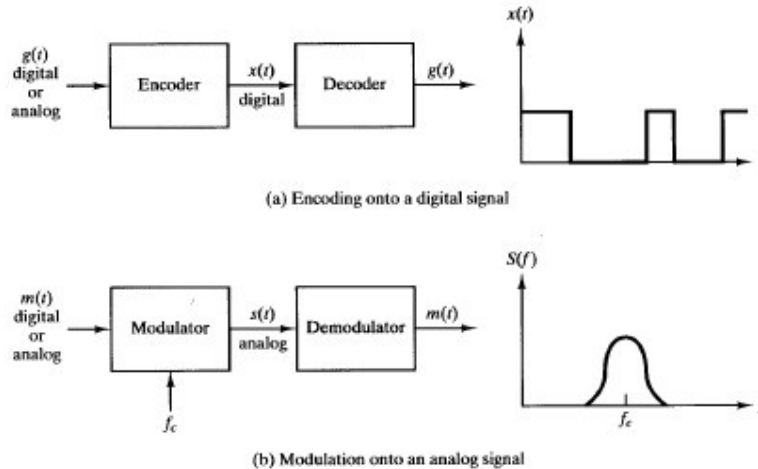
4.2. Encoding dan Modulasi

Secara alamiah sinyal pada umumnya didapatkan dari berbagai sensor seperti sensor suhu, sensor tekanan, microphone, dll. Contoh sinyal yang paling banyak dikenal adalah sinyal audio atau data akustik yang berbentuk gelombang bunyi dan dapat didengar langsung oleh manusia. Sinyal yang dihasilkan oleh pembangkit suara manusia disebut speech yang memiliki komponen frekuensi antara 20 Hz sampai 20m kHz, akan tetapi sebagian besar spektrum energi terkonsentrasi pada frekuensi rendah seperti terlihat pada gambar 4.8. Beberapa pengukuran yang telah dilakukan didapatkan frekuensi 600 sampai 700 Hz tingkat kejelasannya sedikit bertambah, sesuai dengan karakteristik sensitivitas telinga manusia.



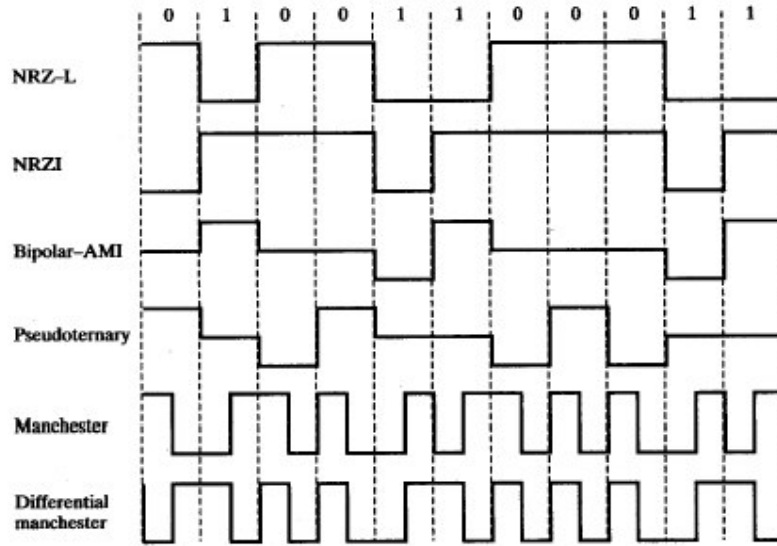
Gambar 4.8 Spektrum Suara Manusia

Pada gambar 4.9 untuk menghasilkan sinyal digital, maka suatu sumber $g(x)$ yang dapat berupa sumber analog atau digital di encoding menjadi sinyal digital $x(t)$. bentuk sinyal $x(t)$ tergantung kepada teknik encoding yang dipilih sesuai dengan media transmisi yang dipakai. Basis untuk menghasilkan sinyal analog adalah sinyal kontinyu dengan frekuensi tertentu yang disebut sinyal *carrier*. Frekuensi sinyal *carrier* yang dipilih sesuai dengan saluran transmisi yang dipakai. Data dapat dikirimkan menggunakan sinyal *carrier* dengan cara memodulasi, yaitu proses *encoding* data sesuai parameter sinyal *carrier* yang berfrekuensi f_c . Sinyal input $m(t)$ dapat berupa sinyal analog atau digital dan disebut sebagai sinyal pemodulasi, setelah proses *encoding* menghasilkan sinyal *carrier* $s(t)$ yang disebut sinyal termodulasi.

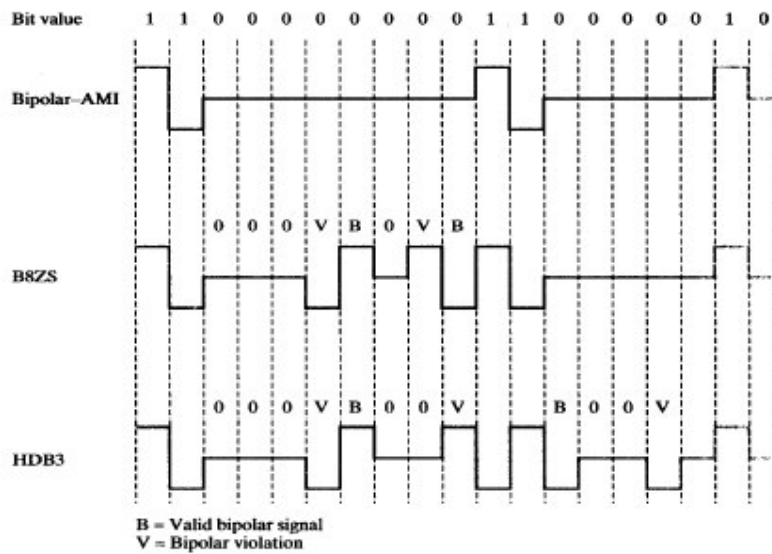


Gambar 4.9 Teknik Encoding dan Modulasi

Pada saluran transmisi biasa yang berarti bandwidthnya terbatas jika sinyal digital akan ditambah unjuk kerjanya dengan cara meningkatkan S/N akan mengurangi bit-rate, dan bila menambah *bit-rate* akan memperbesar terjadinya error, maka ada beberapa teknik yang dipakai untuk menambah unjuk kerja agar data yang dikirimkan dapat diterjemahkan dengan baik, yaitu dengan memformat bit-bit data kedalam elemen sinyal seperti pada gambar 4.10 dan gambar 4.11.



Gambar 4.10 Format Encoding



Gambar 4.11 Aturan Encoding

Keterangan untuk masing-masing format encoding pada kedua gambar diatas adalah sbb :

Format Encoding	Keterangan
<i>Nonreturn-to-Zero-Level (NRZ-L)</i>	0 = high level 1 = low level
<i>Nonreturn-to-Zero-Inverted (NRZI)</i>	0 = tidak ada transisi pada awal interval 1 = transisi pada awal interval
<i>Bipolar-AMI</i>	0 = tidak ada lintasan sinyal (0) 1 = level positif atau negatif, bergantian secara berturut-turut
<i>Pseudoternary</i>	0 = level positif atau negatif, bergantian secara berturut-turut 1 = tidak ada lintasan sinyal (0)
<i>Manchester</i>	0 = transisi high ke low pada tengah interval 1 = transisi low ke high pada tengah interval
<i>Differential Manchester</i>	Transisi selalu pada tengah interval 0 = transisi pada awal interval 1 = tidak ada transisi pada awal interval
<i>B8ZS</i>	Sama dengan Bipolar-AMI, kecuali setiap 8 kali biner 0 diganti oleh 2 kode pengganggu
<i>HDB3</i>	Sama dengan Bipolar-AMI, kecuali setiap 4 kali biner 0 diganti oleh 1 kode pengganggu

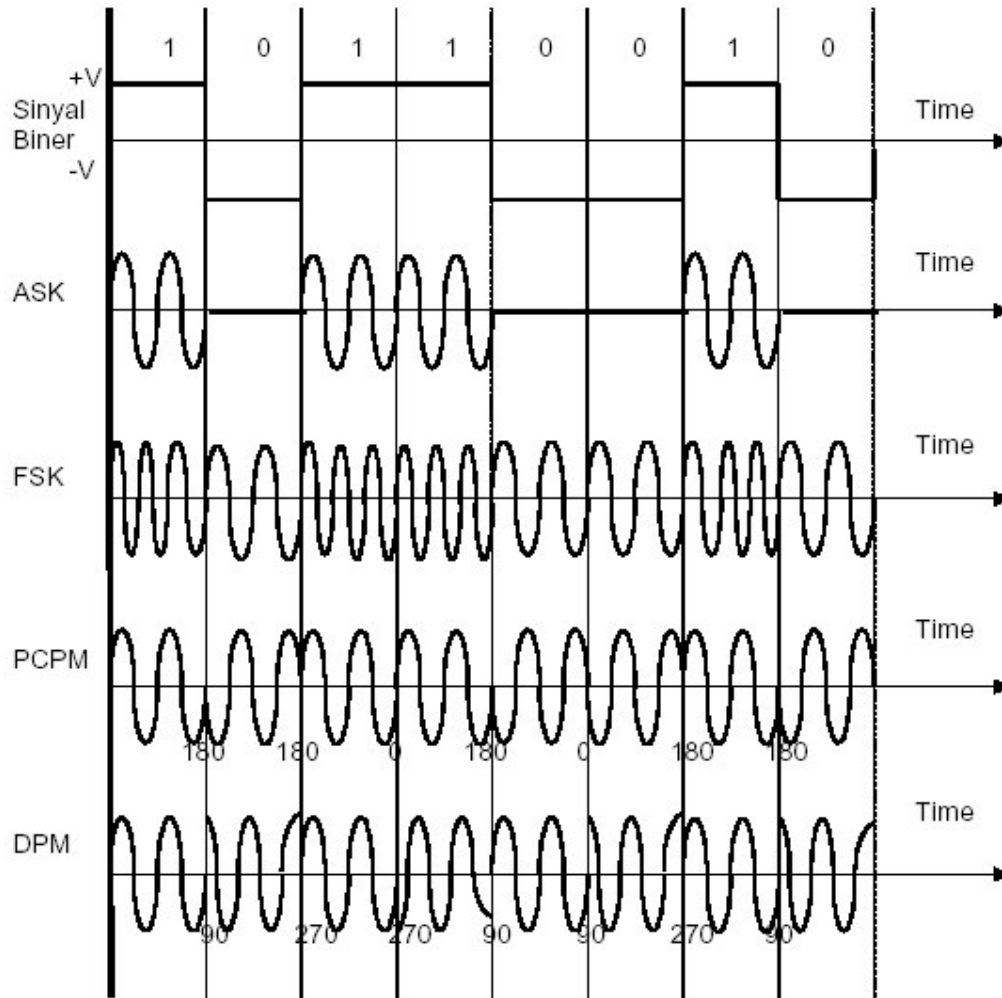
Ada tiga jenis teknik modulasi yang dapat diterapkan untuk mentransformasi data yang berupa sinyal digital menjadi sinyal analog, yaitu :

- Amplitudo-shift keying (ASK)
- Frequency-shift keying (FSK)
- Phase-shift keying (PSK)

Pada ASK dua nilai biner diwakili oleh dua amplitudo sinyal carrier, pada umumnya salah satu amplitudo adalah nol untuk mewakili biner 0, sedangkan biner 1 diwakili oleh adanya sinyal carrier dengan amplitudo yang konstan.

$$s(t) = \begin{cases} A \cos(2\pi f_c t) & \text{biner 1} \\ 0 & \text{biner 0} \end{cases}$$

ASK tidak diterapkan secara luas untuk mengkonversi data biner pada PSTN, karena sinyalnya mudah terpengaruh oleh redaman, noise dan distorsi. Tetapi pada beberapa hal ASK masih digunakan terutama pada pada modulasi hybrid (misalnya ASK digabung dengan PSK). ASK umumnya digunakan untuk mentransmisikan sinyal digital pada serat optik, adanya cahaya menandakan adanya 1 elemen sinyal atau biner 1 dan bila tidak cahaya berarti biner 0. Transmitter laser pada umumnya memiliki arus bias yang tetap yang menyebabkan memancarkan cahaya dengan level yang rendah, oleh karena itu level yang rendah dapat dipakai untuk mewakili elemen sinyal 1 dan sedangkan untuk level yang tinggi mewakili elemen sinyal 0.



Gambar 4.12 Jenis Modulasi

FSK mewakili dua nilai biner dengan dua buah frekuensi yang letaknya berdekatan dengan frekuensi tengah, seperti persamaan berikut :

$$s(t) = \begin{cases} A\cos(2\pi f_1 t) & \text{biner 1} \\ A\cos(2\pi f_2 t) & \text{biner 0} \end{cases}$$

dimana f_1 dan f_2 biasanya diperoleh dari pengurangan dan penjumlahan f_c dengan suatu jarak frekuensi tertentu.

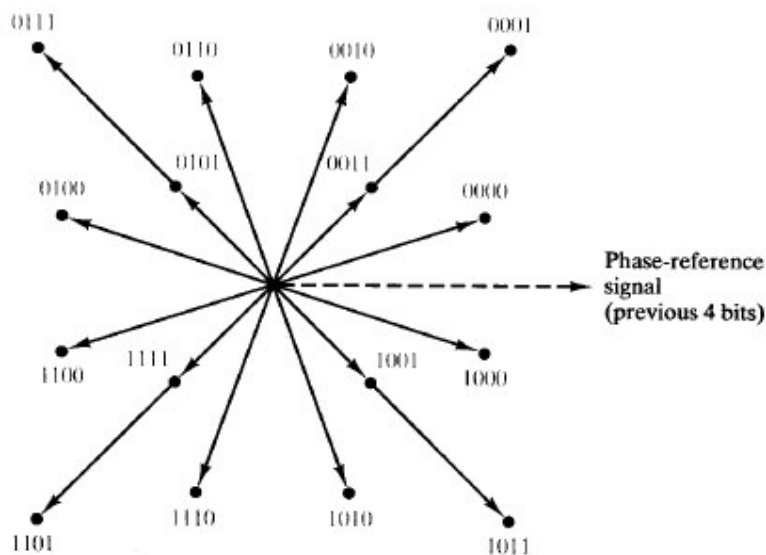
FSK dipergunakan pada PSTN yang memiliki rangkaian switching yang sederhana dan memiliki bandwidth yang rendah, sehingga modem yang sesuai adalah dengan kecepatan transfer (*bit-rate*) yang rendah. Karena menggunakan dua frekuensi sesuai dengan dua kode biner yang dipakai (0 dan 1) maka modulasi ini sering disebut *Digital-FSK*. Modem yang menggunakan modulasi FSK memiliki kecepatan antara 300 sampai 1200 baud (bps). Pada FSK fase sinyal carrier akan berubah untuk mewakili data, sesuai dengan persamaan :

$$s(t) = \begin{cases} A \cos(2\pi fct + \pi) & \text{biner 1} \\ A \cos(2\pi fct) & \text{biner 0} \end{cases}$$

Modulasi phase memiliki dua jenis yaitu *Phase-coherent PM* atau yang umum disebut dengan *phase-shift-keying* (PSK), dipergunakan untuk memodulasi data biner 1 dan 0 dengan perbedaan phase sebesar 180°, pada setiap perubahan data biner. Sedangkan yang yang lain disebut *differential-PM* yang dipergunakan untuk memodulasi dengan perbedaan phase sebesar 90o untuk kode biner 0 dan perbedaan phase sebesar 270° untuk biner 1. Untuk melihat perbedaan bentuk sinyal dari ketiga teknik modulasi seperti diuraikan diatas, pada gambar 4.12 diberikan beberapa contoh sinyal carrier yang dimodulasi oleh sinyal biner menggunakan ASK, FSK, *phase-coherent-PM*, dan *differential-PM*. Secara alamiah pada PSK memiliki kelebihan untuk manambah efisiensi dalam *bandwidth* yang terbatas, maka setiap perubahan phase dapat digunakan untuk mewakili lebih dari satu elemen sinyal, karena pergeseran phase yang lebih kecil dari 180° dapat dilakukan, seperti pada persamaan berikut :

$$s(t) = \begin{cases} A \cos(2\pi fct + 45^\circ) & 11 \\ A \cos(2\pi fct + 135^\circ) & 10 \\ A \cos(2\pi fct + 225^\circ) & 00 \\ A \cos(2\pi fct + 315^\circ) & 01 \end{cases}$$

Pada persamaan diatas setiap elemen sinyal dapat mewakili 2 bit, sehingga bila dikembangkan dapat dipakai untuk mewakili 3 bit untuk setiap elemen sinyal berarti ada 8 buah perbedaan phase, dst. Modulasi phase banyak digunakan pada PSTN terutama untuk modem yang memiliki kecepatan antara 2400 sampai 9600 bps, tetapi untuk kecepatan 14400 bps keatas terjadi penggabungan teknik modulasi. Pada gambar dibawah diberikan ilustrasi tentang standart modem 9600 bps menggunakan 12 sudut pahse 4 buah phase yang memiliki 2 amplitudo berbeda.



Gambar 4.13 Sudut Phase Untuk 9600 bps

Diumpamakan sinyal NRZ-L sebagai sinyal input, data-rate adalah $R=1/tB$ dimana tB adalah lebar setiap bit NRZ-L. Jika 1 sinyal *encoding* berisi 4 bit maka setiap elemen menggunakan $L=16$ kombinasi phase dan amplitudo yang berbeda. Kecepatan modulasi dapat dilihat sebagai $R/4$, yang artinya setiap satu elemen sinyal berisi 4 bit, maka dihasilkan kecepatan sinyal sebesar 2400 *baud*, tetapi kecepatan transfer data adalah 9600 bps.

$$D = \frac{R}{b} = \frac{R}{\log_2 L}$$

D = modulation-rate (baud)

R = data-rate (bps)

L = jumlah perbedaan elemen sinyal

B = jumlah bit pada setiap elemen sinyal