

# DASAR SISTEM KOMUNIKASI

## Materi Perkuliahan :

- I. Pengantar Sistem Komunikasi
- II. Media Transmisi
- III. Besaran-Besaran Sistem Komunikasi
- IV. Noise dalam Sistem Komunikasi
- V. Modulasi/Demodulasi, Multiplexing/Demultiplexing dan Multiple Access

Q1

- VI. Teknik Modulasi Analog
- VII. Teknik Modulasi Digital
- VIII. Konversi Analog ke Digital
- IX. Konsep Perhubungan Radio
- X. Teknik Telephony

Q2

- XI. Teknik Televisi
- XII. Sistem Komunikasi Gelombang Mikro
- XIII. Sistem Komunikasi Satelit
- XIV. Sistem Komunikasi Data

UAS

## Buku Referensi :

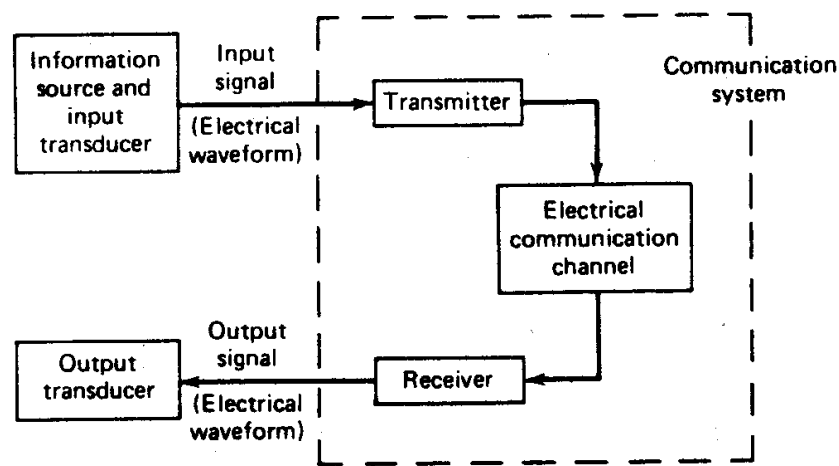
- **Communication Systems**, Bruce A. Carlson, McGraw-Hill, 3<sup>rd</sup> Edition, 1986.
- **Digital and Analog Communication Systems**, K.S. Shanmugam, John Wiley and Sons Ltd., 1979.
- **Digital Communications**, I.A. Glover & P.M. Grant, Prentice Hall, 1998.

## Komponen Penilaian Akhir :

- **UJIAN AKHIR SEMESTER (UAS)** = 35%
- **QUIZ 1 & 2** = 25%
- **PRAKTIKUM** = 25%
- **TUGAS-TUGAS** = 15%

- **Informasi** *adalah* entitas yang disampaikan dan memiliki makna/arti.
- **Pesan (Message)** *adalah* bentuk fisik dari informasi.
- **Komunikasi** *adalah* proses penyampaian informasi dari pengirim ke penerima.
- **Telekomunikasi** *adalah* komunikasi jarak jauh dimana harus dipergunakan alat-alat bantu.
- **Sistem Komunikasi** *adalah* perpaduan prosedur dan peralatan dalam proses penyampaian informasi dari pengirim ke penerima.

## MODEL SISTEM KOMUNIKASI



**Figure 1.1** Model of an electrical communication system.

- Dalam gambar di atas diperlihatkan elemen-elemen dari sebuah sistem komunikasi.
- **Tujuan utama** dari dari sistem tersebut adalah :  
Untuk mentransfer informasi dari satu titik, dalam suatu waktu dan tempat, yang disebut juga **Sumber Informasi (Source)** ke suatu titik lain yakni titik **Tujuan (Destination)**.
- **Transducer** digunakan untuk mengkonversi informasi/pesan ke dalam bentuk sinyal listrik, dan sebaliknya.  
Contohnya : .....

- **Kanal Transmisi (Transmission Channel)** menyediakan hubungan listrik antara **Sumber** dan **Tujuan**, contohnya : gelombang elektromagnetik, kabel tembaga dan kabel serat optik
- **Pengirim (Transmitter)** berfungsi mempersiapkan sinyal informasi untuk dapat dikirim melalui kanal transmisi melalui proses penyaringan (*filtering*), penguatan (*amplification*) dan modulasi.
- **Penerima (Receiver)** berfungsi menerima sinyal pembawa dari kanal transmisi untuk kemudian melakukan fungsi mendapatkan kembali sinyal informasi melalui proses demodulasi.
- **Beberapa contoh Sistem Komunikasi :**
  - S.K. Satelit, S.K. Serat Optik, S.K. Bergerak, dan lain-lain.

## PERKEMBANGAN SISTEM KOMUNIKASI ELEKTRONIS

Table 1.1 Important events in the history of electronic communications.

Year	Event	Originator	Information
1837	Line telegraphy perfected	Morse	Digital
1875	Telephone invented	Bell	Analogue
1897	Automatic exchange step by step switch	Strowger	
1901	Wireless telegraphy	Marconi	Digital
1905	Wireless telephony demonstrated	Fessenden	Analogue
1907	First regular radio broadcasts	USA	Analogue
1918	Superheterodyne radio receiver invented	Armstrong	Analogue
1921	First use of land based PMR	Detroit police	Analogue
1928	All electronic television demonstrated	Farnsworth	Analogue
1928	Telegraphy signal transmission theory	Nyquist	Digital
1928	Information transmission	Hartley	Digital
1931	Teletype		Digital
1933	FM demonstrated	Armstrong	Analogue
1934	Radar demonstrated	Kuhnold	
1937	PCM proposed	Reeves	Digital
1939	Commercial TV broadcasting	BBC	Analogue
1943	Matched filtering proposed	North	Digital
1945	Geostationary satellite proposed	Clarke	
1946	ARQ systems developed	Duuren	Digital
1948	Mathematical theory of communications	Shannon	
1955	Terrestrial microwave relay	RCA	Analogue
1960	First laser demonstrated	Maiman	
1962	Satellite communications implemented	TELSTAR 1	Analogue
1963	Geostationary satellite communications	SYNCOM II	Analogue
1966	Optical fibres proposed	Kao & Hockman	
1966	Packet switching		Digital
1970	Medium scale data networks	ARPA/TYMNET	Digital
1970	LANs, WANs and MANs		Digital
1971	The term ISDN coined	CCITT	Digital
1974	Internet concept	Cerf & Kahn	Digital
1978	Cellular radio		Analogue
1978	Navstar GPS launched	Global	Digital
1980	OSI 7 layer reference model adopted	ISO	Digital
1981	HDTV demonstrated	NHK, Japan	Digital
1985	ISDN basic rate access in UK	BT	Digital
1986	SONET/SDH introduced	USA	Digital
1991	GSM cellular system	Europe	Digital
1993	PCN concept launched	Worldwide	Digital
1994	IS-95 CDMA specification	Qualcom	Digital

## FREKWENSI, SPEKTRUM DAN BANDWIDTH

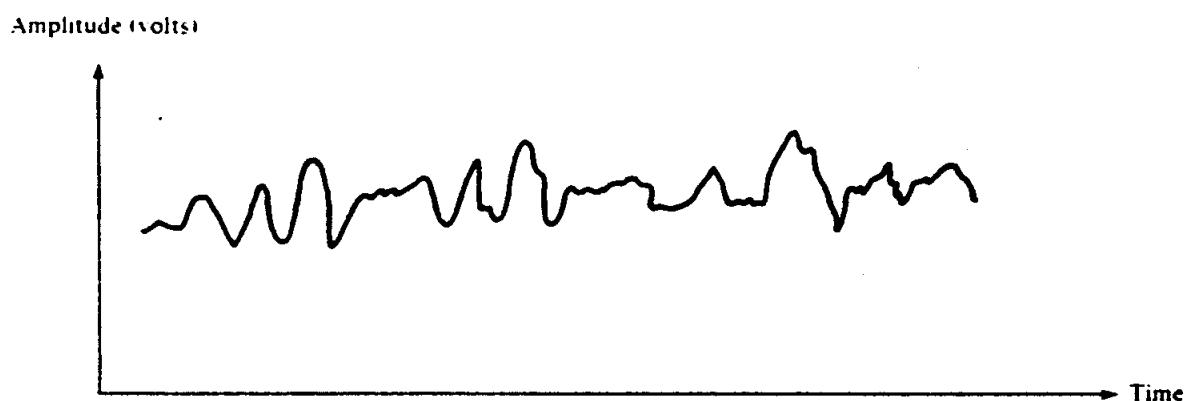
- Sinyal dapat diperlihatkan sebagai fungsi *Waktu (Time-Domain)* dan juga *Frekwensi (Frequency Domain)*.

### Konsep Time-Domain

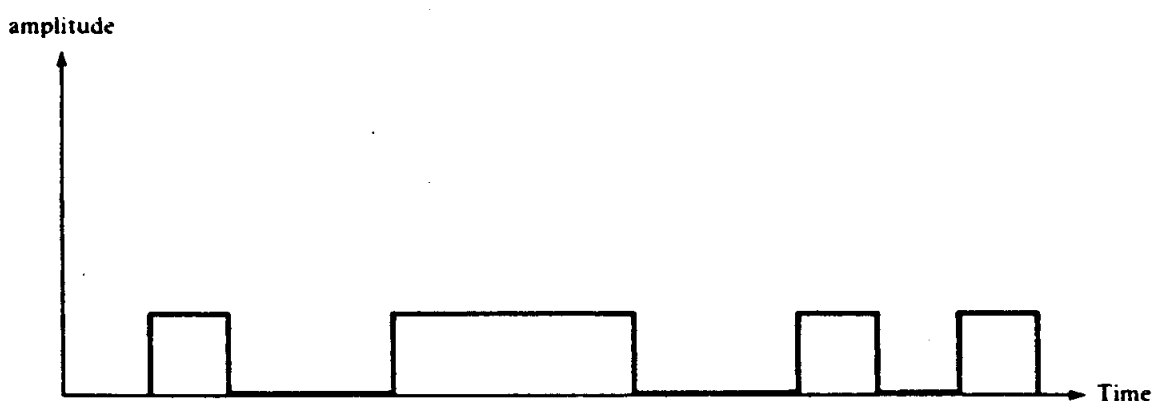
- Sinyal  $s(t)$  dapat disebut sebagai *sinyal kontinyu (continuous signal)*, jika untuk setiap  $a$  berlaku :

$$\lim_{t \rightarrow a} s(t) = s(a)$$

- Sinyal dapat disebut sebagai *sinyal diskrit (discrete signal)*, jika hanya memiliki beberapa nilai tertentu (*finite values*).



(a) Continuous



(b) Discrete

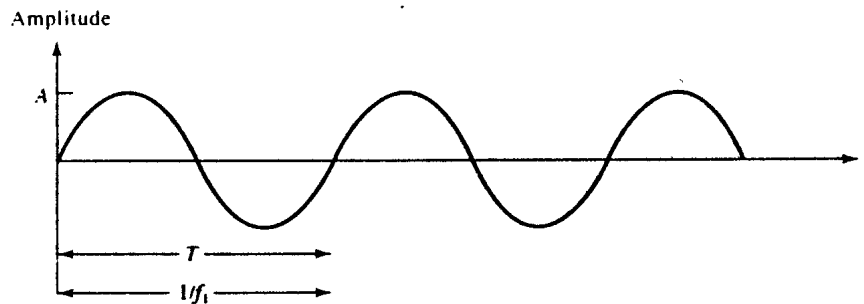
**FIGURE 2.2. Continuous and discrete signals.**

- Sinyal kontinyu diatas bisa jadi merupakan sebuah sinyal pembicaraan (*Speech*), sementara sinyal diskrit dibawahnya bisa jadi mewakili data-data biner 0 dan 1.

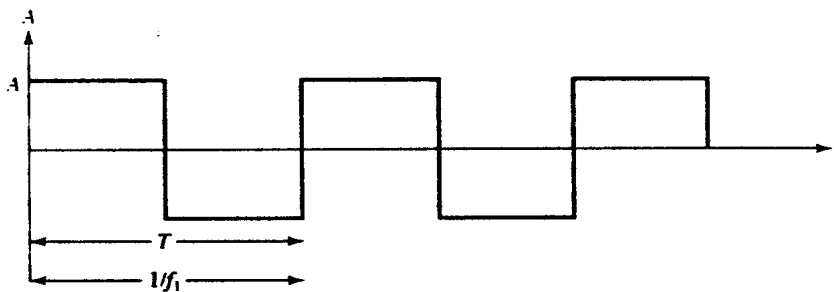
- Sinyal  $s(t)$  dikatakan periodik jika dan hanya jika :

$$s(t + T) = s(t) \quad \text{untuk } -\infty < t < \infty$$

dimana konstanta  $T$  adalah periode dari sinyal tersebut ( $T$  haruslah nilai terkecil yang memenuhi persamaan).  
 Jika tidak memenuhi, maka sinyal dikatakan aperiodik.



(a) Sine wave



(b) Square wave

FIGURE 2.3. Example of periodic signals.

- Tiga karakteristik penting dari Sinyal Periodik adalah :
  - Amplitude
  - Frekwensi
  - Phase
- **Amplitude** adalah besar sinyal pada saat tertentu, dimana untuk sinyal listrik atau elektromagnetik satuannya adalah Volt.
- **Frekwensi** adalah jumlah pengulangan dari **Periode** per detik dengan satuannya Hertz (Hz). **Frekwensi** adalah juga invers dari **periode** sehingga :

$$f = \frac{1}{T}(\text{Hz})$$

- **Phase** adalah ukuran posisi relatif dalam waktu selama satu periode sinyal.

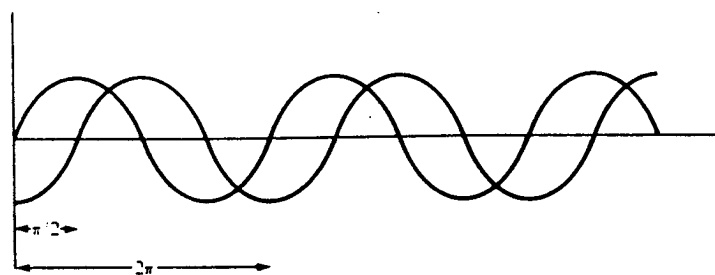


FIGURE 2.4. Example of a phase difference.

sebagai contoh, kedua sinyal di atas berbeda phase  $\pi/2$  radian.  
 catatan : ( $2\pi$  radian =  $360^\circ$  = 1 periode)

- Secara umum sinyal sinusoidal dapat dinyatakan sebagai :

$$s(t) = A \cdot \text{Sin}(2\pi ft + \theta)$$

dimana,  $A$  = amplitude maksimum

$f$  = frekwensi

$\theta$  = phase

- Sebuah sinyal :  $s(t) = \sin(2\pi f_1 t) + \frac{1}{3} \sin(6\pi f_1 t)$

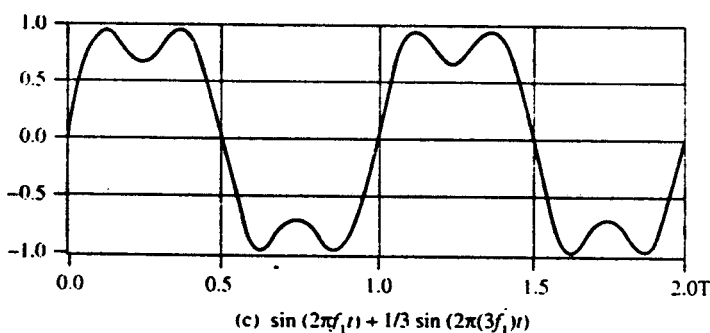
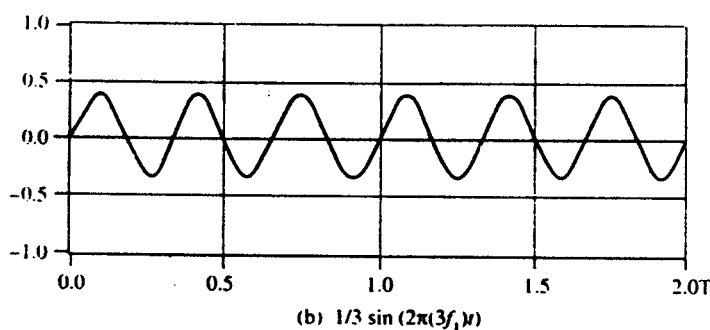
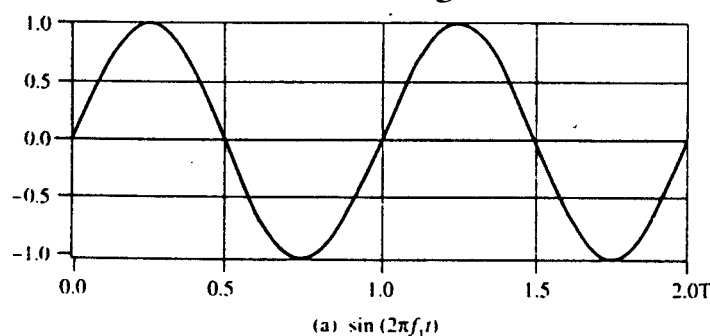
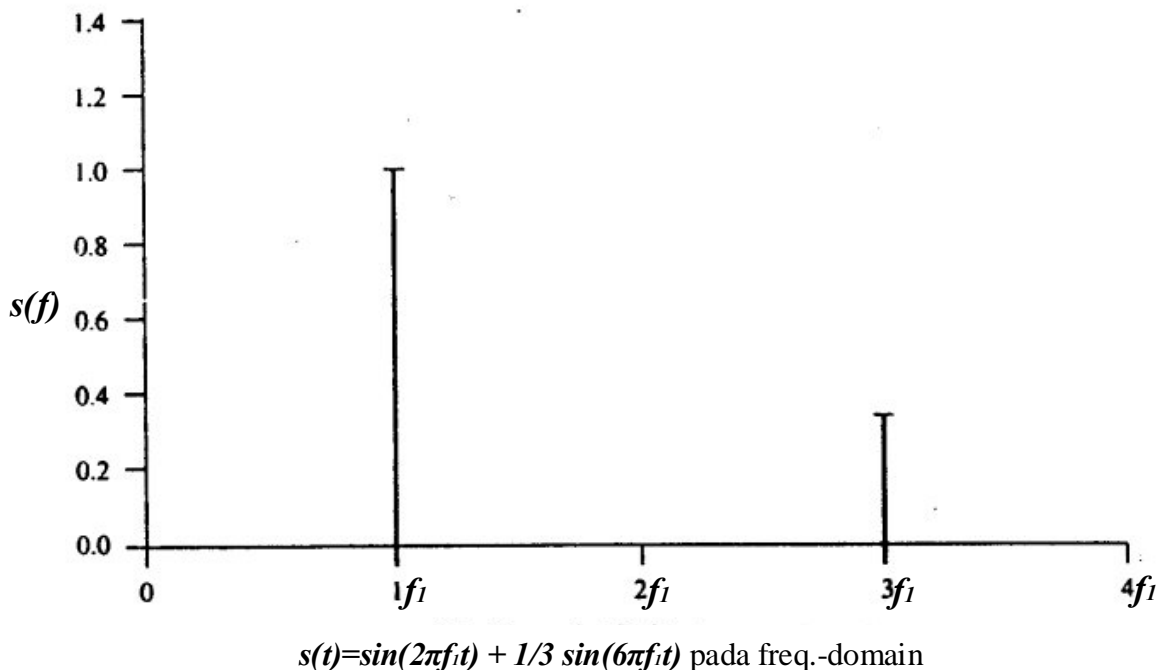


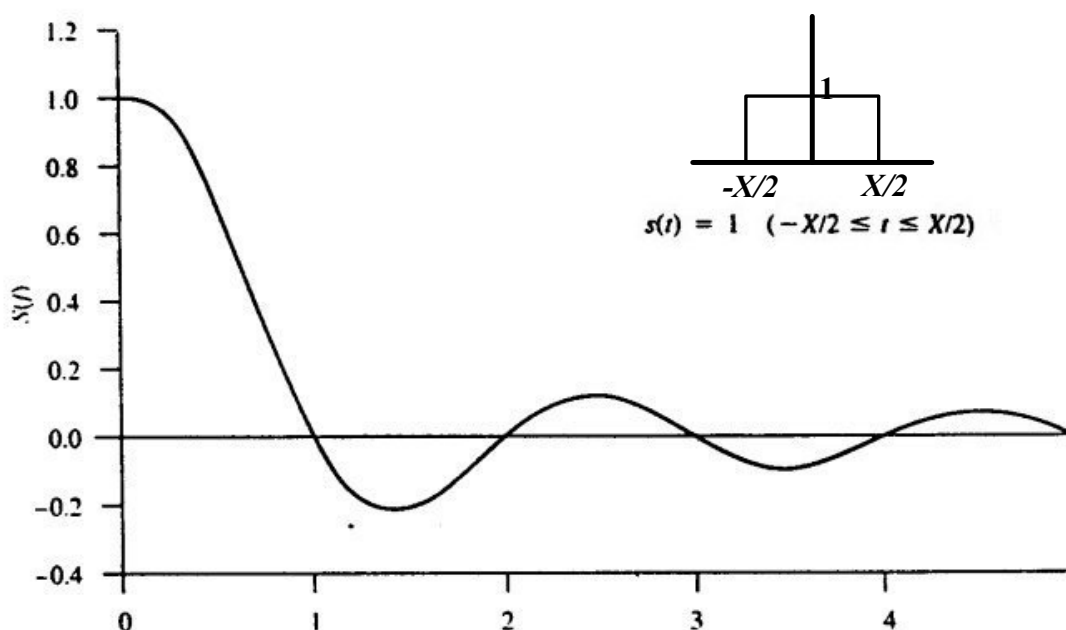
FIGURE 2.5. Addition of frequency components ( $T = 1/f_1$ ).

**Konsep Frequency-Domain**

- Dengan menggunakan *Analisis Fourier*, dapat diperlihatkan komponen-komponen dari setiap sinyal dengan frekwensinya masing-masing.



- *Spektrum* dari sinyal adalah rentang frekwensi dimana komponen-komponen sinyal tersebut muncul. Pada gambar di atas spektrum dari sinyal tersebut adalah :  $f_1$  sampai dengan  $3f_1$ .
- *Bandwidth Absolut* adalah lebar dari spektrum sinyal tersebut. Pada gambar di atas Bandwidth Absolut dari sinyal tsb. adalah :  $2f_1$ .



- Pada gambar di atas dapat dilihat sebuah sinyal kotak pada *frequency-domain*. **Bandwidth Absolut** dari sinyal seperti ini adalah *tak terhingga*, namun sebagian besar kekuatan sinyal tersebut berada pada *bandwidth yang sempit*.
- **Bandwidth Efektif** atau sering hanya disebut **Bandwidth** adalah lebar spektrum dimana sebagian besar kekuatan sinyal terkonsentrasi.
- **Komponen dc** adalah komponen sinyal yang memiliki frekwensi nol atau sering disebut juga **Komponen Konstan**.

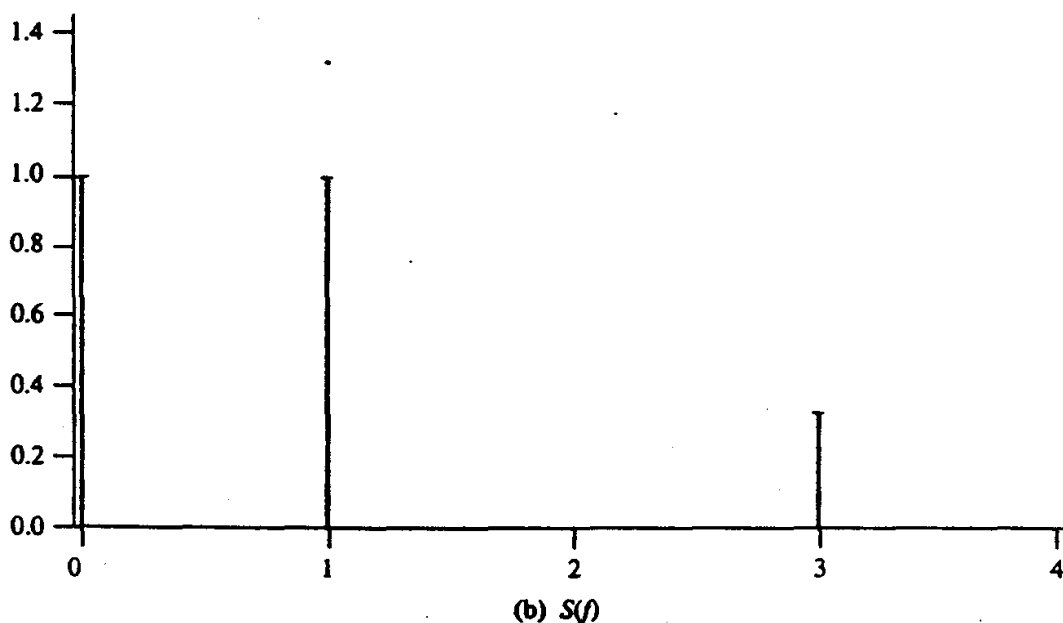
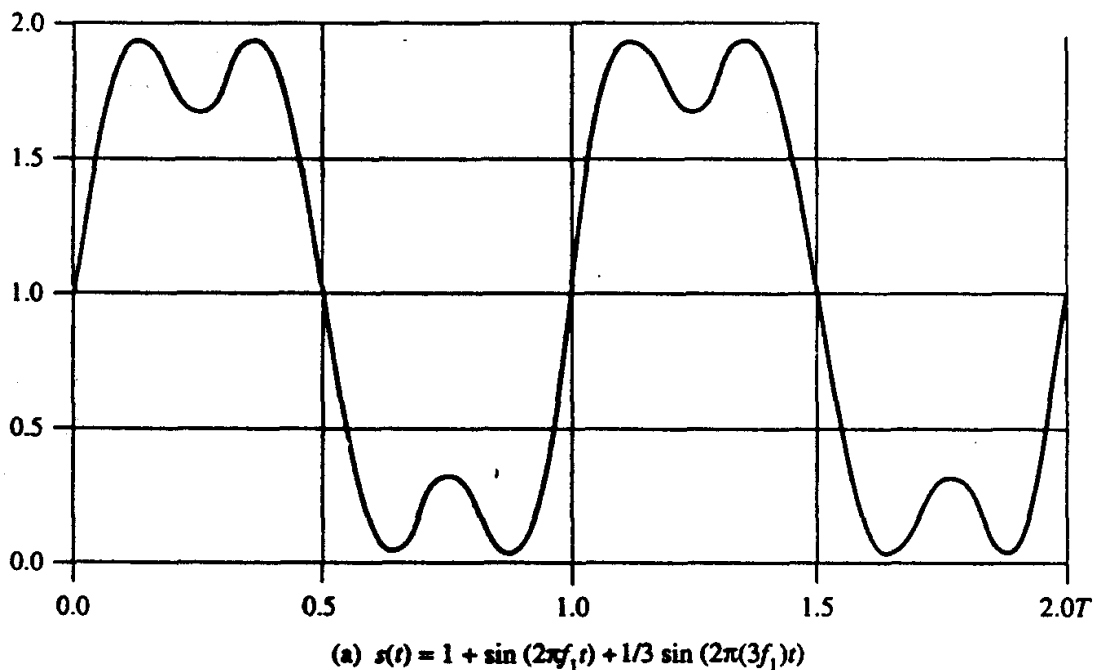


FIGURE 2.7. Signal with dc component.



**Hubungan antara Bandwidth dan Data Rate**

- Sinyal yang ditransmisikan dapat saja memiliki spektrum yang sangat lebar, namun pada kenyataannya *Media Transmisi hanya mampu melewati sinyal pada spektrum frekwensi yang terbatas.*
- Keterbatasan ini pada akhirnya juga mengakibatkan keterbatasan besarnya Data Rate yang mampu dilewatkan.
- Sebuah rumusan umum untuk Sinyal Kotak (*Square Wave*) adalah:

$$s(t) = A \times \sum_{k=1}^{\infty} \frac{1}{k} \sin(2\pi k f_1 t)$$

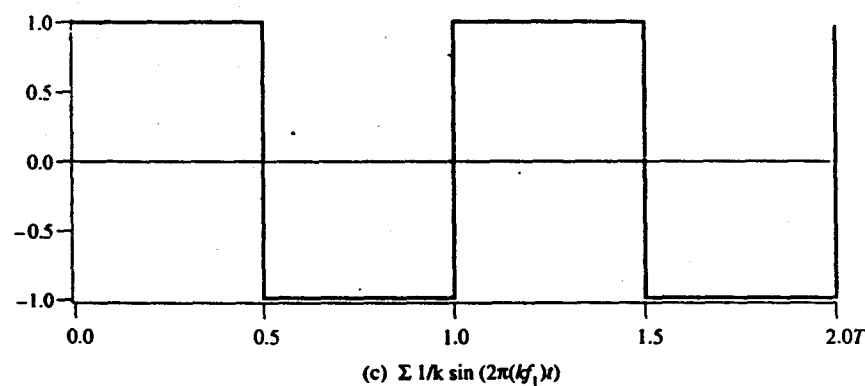
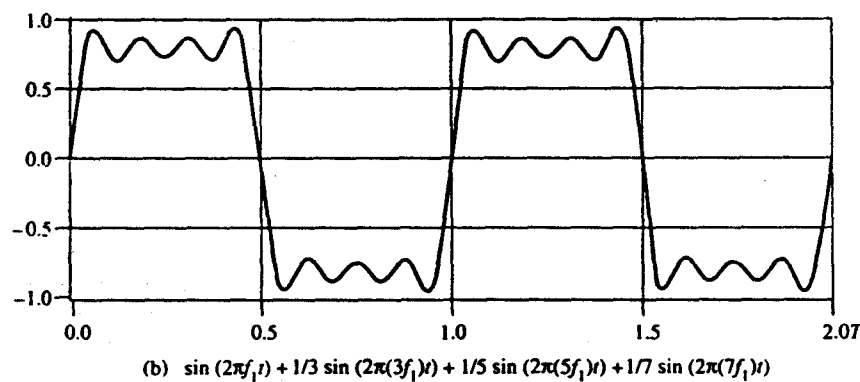
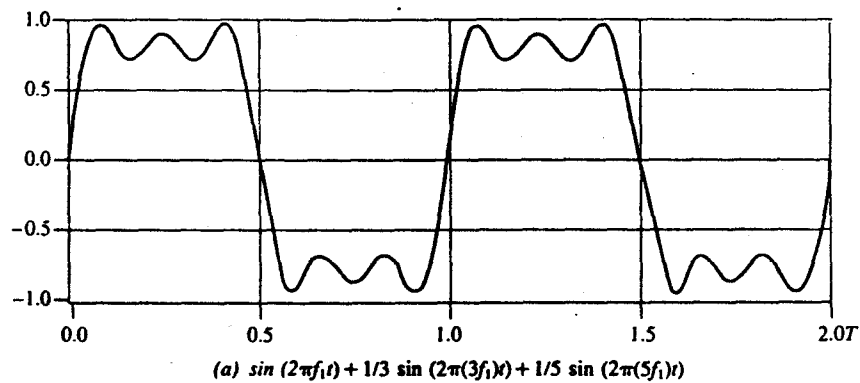


FIGURE 2.8. Frequency components of a square wave ( $T = 1/f_1$ ).

- Contoh, mengacu pada **Figure 2.8a** dan **Figure 2.5c** :

1. Jika sebuah sistem transmisi digital yang mampu membangkitkan sinyal (Figure 2.8a) dengan *Bandwidth 4 MHz* (yg berarti pula tersedia media transmisi yang mampu melewati sinyal dengan karakteristik tsb.), digunakan untuk mengirimkan data 1 dan 0 yang berurutan. Berapakah *Data Rate* terbesar yang mampu dicapai?

Diketahui :  $s(t) = \sin(2\pi(f_1)t) + \frac{1}{3}\sin(2\pi(3f_1)t) + \frac{1}{5}\sin(2\pi(5f_1)t)$

Bandwidth sinyal : 4 MHz

Ditanyakan : Data Rate terbesar ?

- Jawaban :
- a. Tentukan frekwensi sinyal
  - b. Dapatkan Periode dari sinyal
  - c. Dapatkan Data Rate

2. Berapa Data Rate terbesar yang mampu dicapai, jika sistem di atas mampu membangkitkan sinyal dengan *Bandwidth 8 MHz*?
3. Jika sistem yang lain membangkitkan sinyal seperti pada **Figure 2.5c** dengan *Bandwidth 4 MHz*, berapa pula Data Rate terbesar yang mampu dicapai?

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

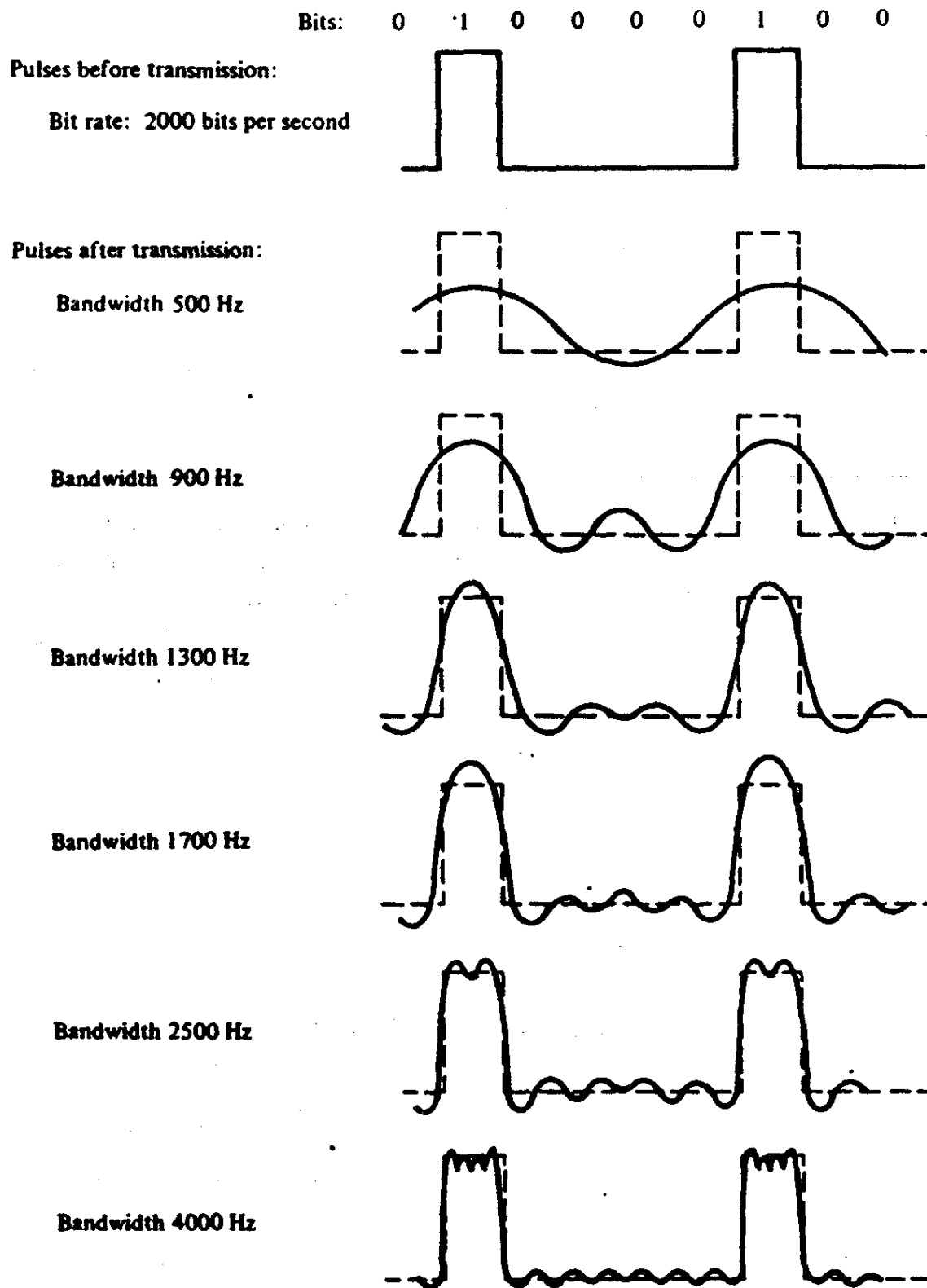
Bandwidth sinyal : 4 MHz

Ditanyakan : Data Rate terbesar ?

- Jawaban :
- a. Tentukan frekwensi sinyal
  - b. Dapatkan Periode dari sinyal
  - c. Dapatkan Data Rate

**Kesimpulan 1 :** Semakin besar *Bandwidth* yang tersedia, maka semakin besar pula *Data Rate* yang mampu dicapai.

**Kesimpulan 2 :** Pada *Bandwidth* tertentu dapat dicapai beberapa besaran *Data Rate* yang pemilihannya disesuaikan dengan keperluan dari sistem transmisi yang digunakan.



**FIGURE 2.9. Effect of bandwidth on a digital signal.**

## Kuat Sinyal

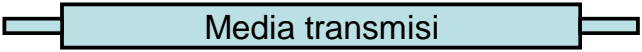
- Salah satu parameter penting dalam sistem transmisi adalah *Kuat Sinyal* dari sinyal yang ditransmisikan.
- Sinyal yang merambat melalui media transmisi akan mengalami pengurangan kekuatan (*Loss* atau *Attenuation*).
- Untuk mengkompensasi pengurangan ini biasanya dipasang *amplifier* pada beberapa titik transmisi untuk menambahkan penguatan (*Gain*) pada sinyal yang ditransmisikan.
- *Gain*, *Loss* dan *Kuat Sinyal Relatif (Relative Signal Strength)* biasa dinyatakan dalam *Desibel (dB)*, dengan alasan :
  - Kuat Sinyal biasanya berkurang secara logaritmis, jadi *Loss* lebih mudah dinyatakan dalam *dB* yang merupakan unit logaritmis.
  - *Gain* dan *Loss* dalam jalur transmisi yang berjejer (*cascade*) dapat dihitung dengan penambahan dan pengurangan yang sederhana.
- **Desibel** adalah ukuran dari selisih/beda dua besaran *Daya* :

$$N_{db} = 10 \log_{10} \frac{P_1}{P_2}$$

dimana,  $N_{dB}$  = ukuran dalam desibel

$P_{1,2}$  = besar daya

$\log_{10}$  = logaritma basis 10

contoh, Tx = 10 mW Rx = 5 mW  
 berapa *Loss* ? 


- **Desibel** adalah *ukuran perbedaan relatif* bukan ukuran perbedaan absolut.

- **Desibel** juga merupakan ukuran perbedaan dalam Tegangan (voltage), dimana daya adalah ukuran proporsional dari pangkat tegangan :

$$P = \frac{V^2}{R}$$

dimana,  $P$  = Daya yang diserap sepanjang hambatan  $R$

$V$  = Tegangan sepanjang hambatan  $R$

sehingga,

$$N_{db} = 10 \log \frac{P_1}{P_2} = \dots\dots? \quad (\text{nyatakan dalam bentuk tegangan})$$

- **Desibel-Watt (dBW)** adalah ukuran yang sering digunakan pada aplikasi sistem microwave. Besaran 1 Watt digunakan sebagai referensi dan didefinisikan sebagai 0 dBW.

- Ukuran absolut dari Daya dalam Desibel dapat dinyatakan dalam :

$$Power(dBW) = 10 \log \frac{Power(W)}{1W}$$

- Ukuran absolut dari Daya dalam Desibel dapat juga dinyatakan :

$$Power(dBm) = 10 \log \frac{Power(mW)}{1mW}$$

- Ukuran absolut dari Tegangan dalam Desibel dapat dinyatakan dalam :

$$Power(dBV) = 20 \log \frac{Voltage(V)}{1V}$$

- Ukuran absolut dari Daya dalam Desibel dapat juga dinyatakan :

$$Power(dBmV) = 20 \log \frac{Voltage(V)}{1mV}$$

TUTORIAL 1	
1.	Sebuah <i>Sistem Transmisi Analog</i> memiliki konfigurasi sebagai berikut:
	Bila parameter yang diketahui adalah sebagai berikut :
	-Kuat sinyal yang dikirim (Tx1) = 10 mW
	-Kuat sinyal yang diterima pada <i>Amplifier 1</i> (Rx1) = 7 mW
	-Penguatan oleh <i>Amplifier 1</i> (G1) = 3 dB
	-Kuat sinyal yang diterima pada <i>Amplifier 2</i> (Rx2) = 1,4 mW
	-Penguatan oleh <i>Amplifier 2</i> (G2) = 3 dB
	- <u>Loss</u> pada <i>Media Transmisi 3</i> (L3) = 10 dB
	Berapakah?
a.	<u>Loss</u> pada <i>Media Transmisi 1</i> (L1) dalam <u>dB</u> .
b.	Kuat sinyal yang dikirim dari <i>Amplifier 1</i> (Tx2) dalam <u>dBm</u> .
c.	<u>Loss</u> pada <i>Media Transmisi 2</i> (L2) dalam <u>dB</u> .
d.	Kuat sinyal yang dikirim dari <i>Amplifier 2</i> (Tx3) dalam <u>dBm</u> .
e.	Kuat sinyal yang diterima (Rx3) dalam <u>W</u> .
2.	Sinyal informasi pada sebuah <i>Sistem Transmisi Analog</i> harus menempuh jarak 2 km dari Pengirim ke Penerima. Media transmisi yang dipakai adalah Kabel Coaxial dengan Loss 2 dB/100m. Jika Peralatan Penerima memiliki Sensitivitas Minimum sebesar -80 dBm, berapa Kuat Sinyal Minimum yang harus dihasilkan oleh Peralatan Pengirim ? (nyatakan dalam Watt)

**Jawaban TUTORIAL 1**

- 1 a.  $Tx1(\text{dBm}) = 10 \log (10 \text{ mW}/1 \text{ mW}) = 10 \log (10) = 10 \text{ dBm}$   
 $Rx1(\text{dBm}) = 10 \log (7 \text{ mW}/1 \text{ mW}) = 10 \log (7) = 8,45 \text{ dBm}$   
 $L1 = Rx1 - Tx1 = \underline{-1,55 \text{ dBm}}$
- b.  $Tx2 = Rx1 + G1 = 8,45 + 3 = \underline{11,45 \text{ dBm}}$
- c.  $Rx2(\text{dBm}) = 10 \log (1,4 \text{ mW}/1 \text{ mW}) = 10 \log (1,4) = 1,46 \text{ dBm}$   
 $L2 = Rx2 - Tx2 = 1,46 - 11,45 = \underline{10,01 \text{ dB}}$
- d.  $Tx3 = Rx2 + G2 = 1,46 + 3 = \underline{4,46 \text{ dBm}}$
- e.  $Rx3 = Tx3 + L3 = 4,46 - 10 = -5,54 \text{ dBm}$   
 $-5,54 = 10 \log (Rx3 \text{ mW}/1 \text{ mW})$   
 $= 10 \log Rx3$   
 $Rx3 = 10^{(-5,54/10)}$   
 $= 0,279254 \text{ mW}$   
 $Rx3 = \underline{0,279254 \times 10^{-3} \text{ Watt}}$

- 2 Diketahui :  $d = 2 \text{ Km}$   
 $L = 2 \text{ dB}/100 \text{ m}$   
 $Rx \text{ minimum} = -80 \text{ dBm}$

Ditanyakan :  $Tx \text{ minimum (Watt)}$

Jawab :  $Rx \text{ minimum (dBm)} = Tx \text{ minimum} - (d \times L)$   
 $-80 = Tx \text{ minimum} - (2000 \text{ m} \times 2 \text{ dB}/100 \text{ m})$   
 $-80 = Tx \text{ minimum} - (20 \times 2 \text{ dB})$   
 $Tx \text{ minimum} = -80 \text{ dBm} + 40 \text{ dB}$   
 $= -40 \text{ dBm}$

$$Tx \text{ minimum (dBm)} = 10 \log \left[ \frac{Tx \text{ Minimum (mW)}}{1 \text{ mW}} \right]$$

$$-40 = 10 \log \left[ \frac{Tx \text{ Minimum (mW)}}{1 \text{ mW}} \right]$$

$$Tx \text{ minimum} = 10^{-4} \text{ mW}$$

$$= \underline{10^{-7} \text{ Watt}}$$

- Noise atau Derau adalah sinyal listrik yang tidak diinginkan.
- Dapat dikelompokkan menjadi empat, yakni :
  - a. Thermal Noise / White Noise
  - b. Intermodulation Noise
  - c. Crosstalk
  - d. Impulse Noise

a. Thermal Noise / White Noise

- Sering disebut juga background noise.
- Terjadi karena gangguan thermal pada elektron-elektron di dalam penghantar (konduktor).
- Selalu ada pada setiap peralatan elektronik serta media transmisi.
- Merupakan fungsi dari temperatur.
- Bukan merupakan fungsi frekwensi, sehingga noise jenis ini terdistribusi secara merata sepanjang spektrum frekwensi.
- Besarnya thermal noise pada bandwidth 1 Hz untuk setiap peralatan atau penghantar adalah :

$$N_0 = k \cdot T$$

dimana,  $N_0$  = Densitas daya noise (Watt/Hertz)

$k$  = Konstanta Boltzmann ( $1,3803 \times 10^{-23}$  J/K)

$T$  = Temperatur (K), suhu ruangan adalah 290 K

- Pada bandwidth sebesar  $B$ , thermal noise dapat dinyatakan :

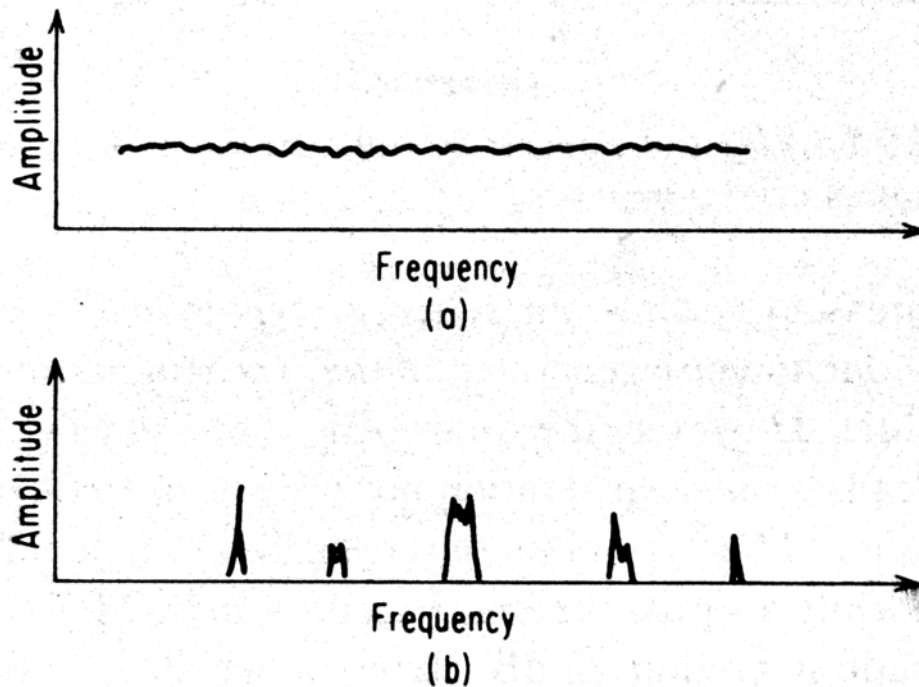
$$N = k \cdot T \cdot B$$

atau dalam desibel-Watt (dBW)

$$N = 10 \log k + 10 \log T + 10 \log B$$

$$N = -228,6 + 10 \log T + 10 \log B$$





**Fig. 2-19** (a) White noise and (b) impulse noise.

### b. Intermodulation Noise

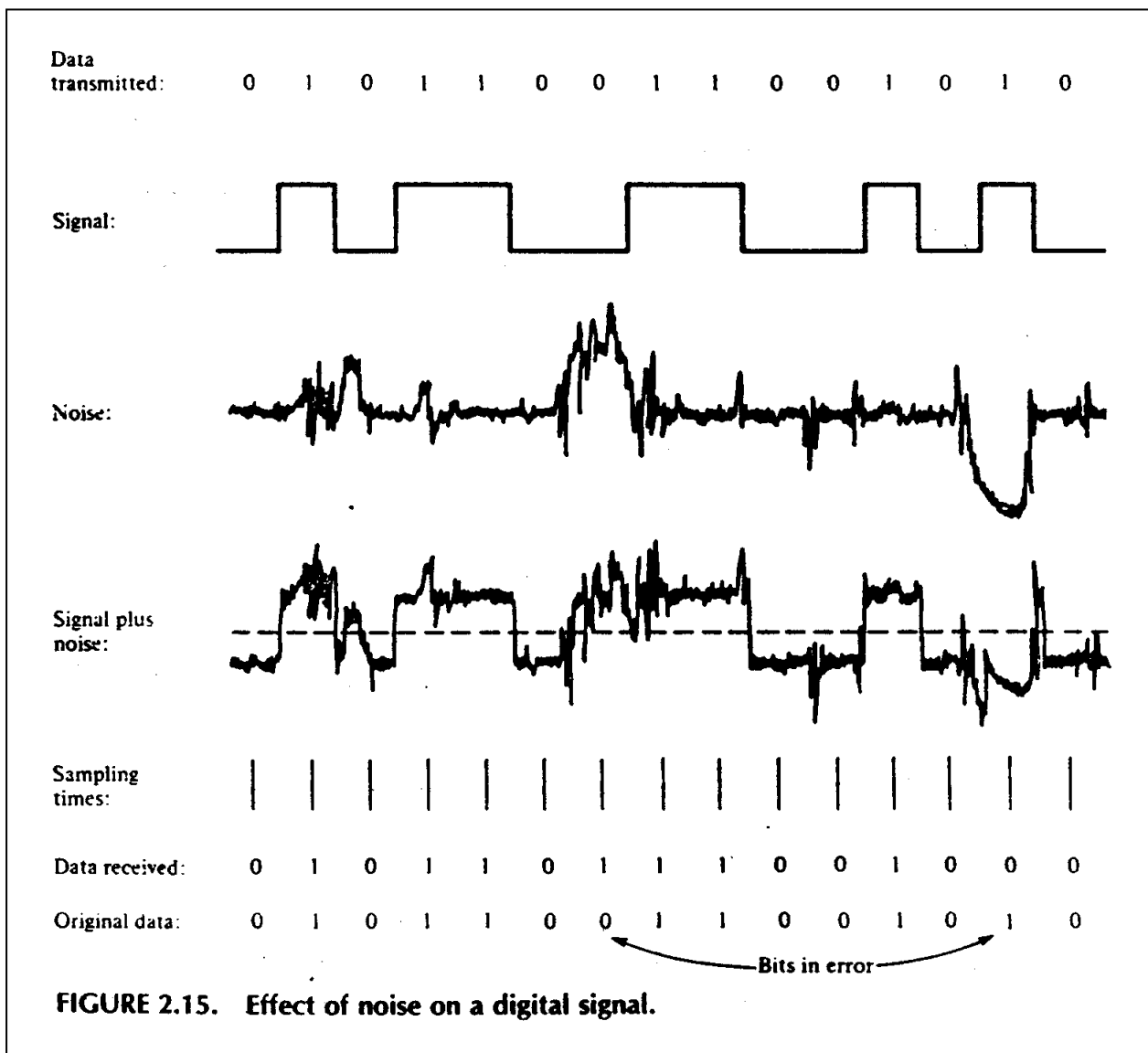
- Terjadi karena adanya sinyal yang tidak diinginkan yang memiliki frekwensi hasil penjumlahan, pengurangan, ataupun kelipatan dari dua buah frekwensi sinyal aslinya.
- Dapat disebabkan oleh ketidaksempurnaan peralatan serta penguatan sinyal yang berlebihan. (*non-linearity*)
- Sistem yang linier ----->  $output = input \times konstanta$
- Sistem yang tak linier -----> menghasilkan output yang lebih kompleks.

### c. Crosstalk

- Adalah pencampuran sinyal antara jalur-jalur sinyal yang berbeda. (*electrical coupling*)
- Salah satu contohnya adalah tercampurnya pembicaraan pada komunikasi lewat telepon. (*menggunakan kabel twisted-pair*)
- Biasanya memiliki besar dalam orde yang sama, atau lebih kecil dari Thermal Noise.

#### d. Impulse Noise

- Merupakan noise yang tidak kontinyu, berupa lonjakan sinyal dalam durasi yang pendek, tetapi memiliki amplitudo yang besar.
- Diakibatkan oleh berbagai mekanisme, diantaranya gangguan elektromagnetik dari luar, seperti sambaran kilat, serta ketidaksempurnaan pada sistem komunikasi.
- Tidak terlalu mempengaruhi data analog, namun menjadi faktor pengganggu yang sangat besar untuk data digital.



### Signal to Noise Ratio (S/N)

- Adalah parameter yang dipakai sebagai acuan kualitas sebuah Sistem Komunikasi.
- Merupakan perbandingan kuat daya sinyal yang diterima ( $S$ ) dengan kuat daya noise ( $N$ ).
- Lebih sering dinyatakan dalam decibel (dB).

**contoh,** Jika diketahui kuat daya rata-rata sinyal yang diterima adalah sebesar 1 W, sementara level noise rata-rata yang terukur adalah 5 mW, maka :

$$S/N = (1000/5) = 200$$

atau,

$$S/N = 10 \log_{10} \left( \frac{1000}{5} \right) = 10 \log_{10} (200) = 23 \text{ dB}$$

### Kapasitas Kanal Maksimum (Maximum Channel Capacity)

- *Signal-to-noise ratio* dapat dipergunakan untuk memperkirakan kapasitas maksimum (data rate maksimum) dari sebuah sistem komunikasi.
- **Formula Teoritis Shannon-Hartley** adalah :

$$C = B \cdot \log_2 \left( 1 + \frac{S}{N} \right)$$

dimana,  $B$  = Bandwidth dari sistem komunikasi (Hz).

$\frac{S}{N}$  = Signal to noise ratio.

$C$  = Data rate dari sistem komunikasi dalam bit per second (bps)

**contoh 1**, Sebuah jaringan telepon memiliki bandwidth sebesar 3000 Hz dengan S/N 20 dB. Tentukan data rate maksimum yang dapat dicapai oleh jaringan telepon ini.

**Jawaban :**

$$S/N_{(dB)} = 10 \log_{10}(S/N)$$

$$20 = 10 \log_{10}(S/N)$$

$$S/N = 10^2 = 100$$

sehingga,

$$\begin{aligned} C &= B \cdot \log_2 \left( 1 + \frac{S}{N} \right) \\ &= 3000 \cdot \log_2(1 + 100) \\ &= \underline{\underline{19963 \text{ bps}}} \end{aligned}$$

**contoh 2**, Diketahui level noise rata-rata pada sebuah jaringan telex adalah 3 mW. S/N minimum yang dibutuhkan oleh sistem telex ini adalah 30 dB. Hitunglah **kuat sinyal minimum** yang dibutuhkan dan **bandwidth** yang harus disediakan agar data rate sebesar 20 Kbps dapat dicapai pada jaringan telex ini.

**Jawaban :**

... ?