


TEE 843 – Sistem Telekomunikasi

---

# Pengkodean (*Coding*)



**Muhammad Daud Nurdin**  
[syechdaud@yahoo.com](mailto:syechdaud@yahoo.com)

Jurusan Teknik Elektro FT-Unimal  
Lhokseumawe, 2015

1

# Pengkodean (*Coding*)

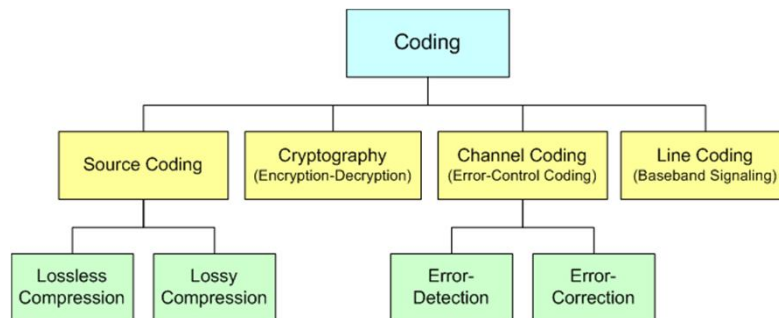
---

- Pengantar Coding
- Sinyal dan Spektrum
- Kanal Transmisi
- *Source Coding*
- *Cryptography*
- *Channel Coding*
- *Line Coding*

2

## Macam-macam Pengkodean (*Coding*)

- Dlm Sistem Telekomunikasi, pengkodean (*coding*) dpt dikelompokkan sbb:



3

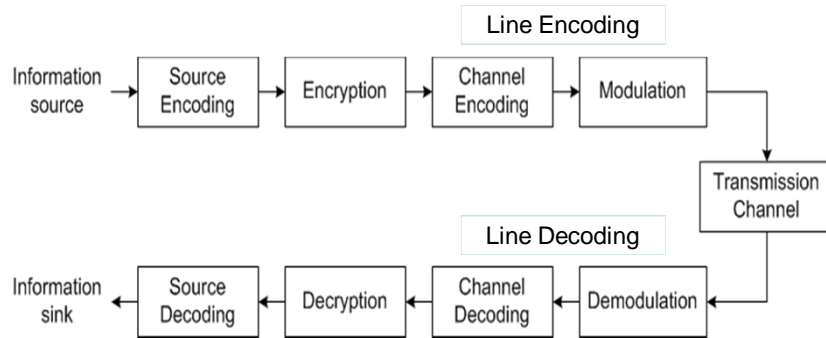
## Tujuan Pengkodean

- Source Coding
  - *Efficiency* (menghemat transmisi dan memori)
- Cryptography
  - *Security* (mengamankan informasi)
- Channel Coding
  - *Reliable* (agar transmisi lbh lebih handal, error sekecil mungkin)
- Line Coding
  - Menyesuaikan spektrum/bandwidth sinyal dgn karakteristik/bandwidth kanal transmisi serta membantu proses sinkronisasi.

4

## Sistem Komunikasi Digital

- Suatu sistem komunikasi digital dpt digambarkan dlm blok diagram sbb:



5

## Pengkodean (Coding)

- Pengantar Coding
- Sinyal dan Spektrum
- Kanal Transmisi
- *Source Coding*
- *Cryptography*
- *Channel Coding*
- *Line Coding*

6

## Sinyal dan Spektrum

- **Sinyal komunikasi** merupakan besaran yang selalu berubah terhadap waktu.
- Setiap sinyal dpt dinyatakan dlm **domain waktu (time domain)** maupun dlm **domain frekuensi (frequency domain)**.
- Ekspresi sinyal di dalam **domain waktu** disebut **gelombang** atau **bentuk gelombang (waveform)**.
- Ekspresi sinyal di dalam **domain frekuensi** disebut **spektrum (spectrum)**.
- Sinyal di dalam domain waktu merupakan penjumlahan dari komponen-komponen spektrum sinusoidal.

7

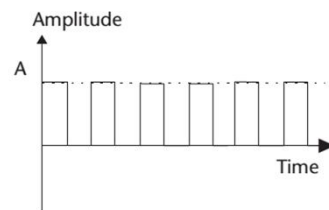
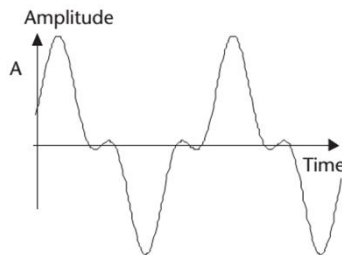
## Sinyal dan Spektrum (2)

- Untuk menghubungkan sinyal dalam domain waktu dengan sinyal di dalam domain frekuensi digunakan **Analisis Fourier**.
  - **Deret Fourier** utk sinyal periodik
  - **Transformasi Fourier** utk sinyal non-periodik (dan bisa juga utk sinyal periodik)
- Spektrum sinyal
  - Sinyal periodik → spektrum diskrit
  - Sinyal non-periodik → spektrum kontinu
- Macam-macam bandwidth
  - Bandwidth sinyal
  - Bandwidth kanal

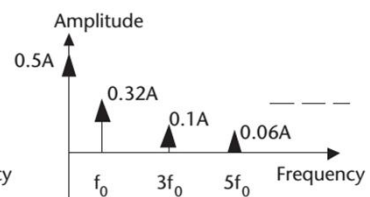
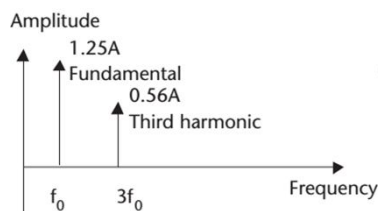
8

## Sinyal dan Spektrum (3)

Waveform  
(time domain)



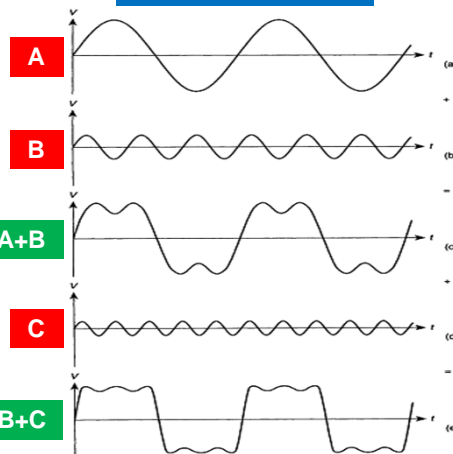
Spectrum  
(frequency domain)



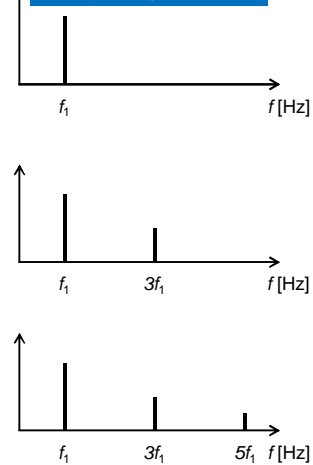
## Pulsa Segiempat Periodik

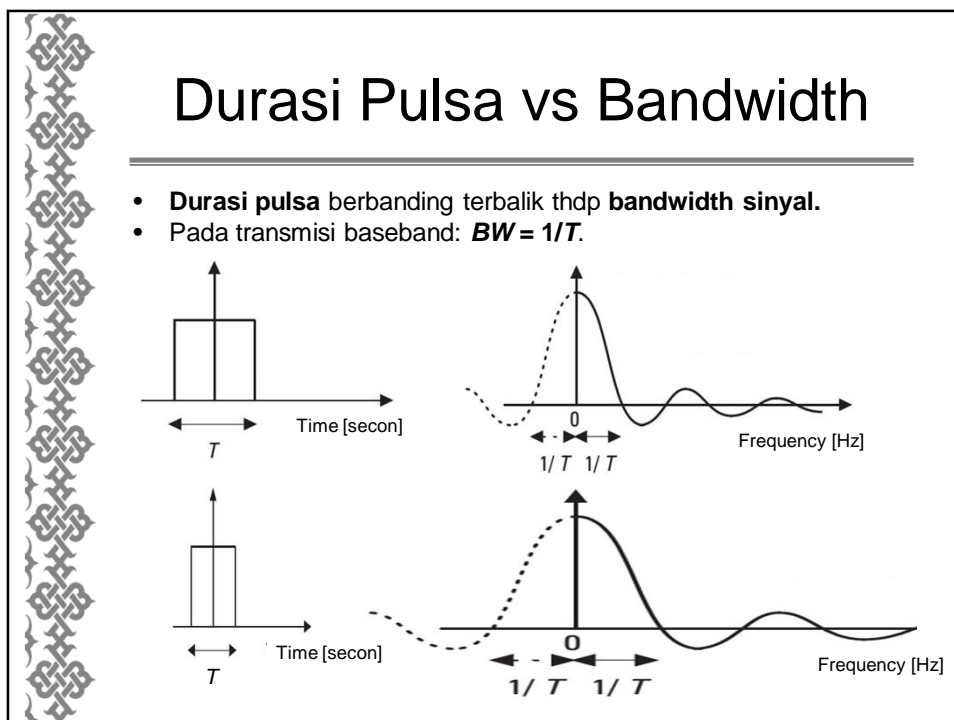
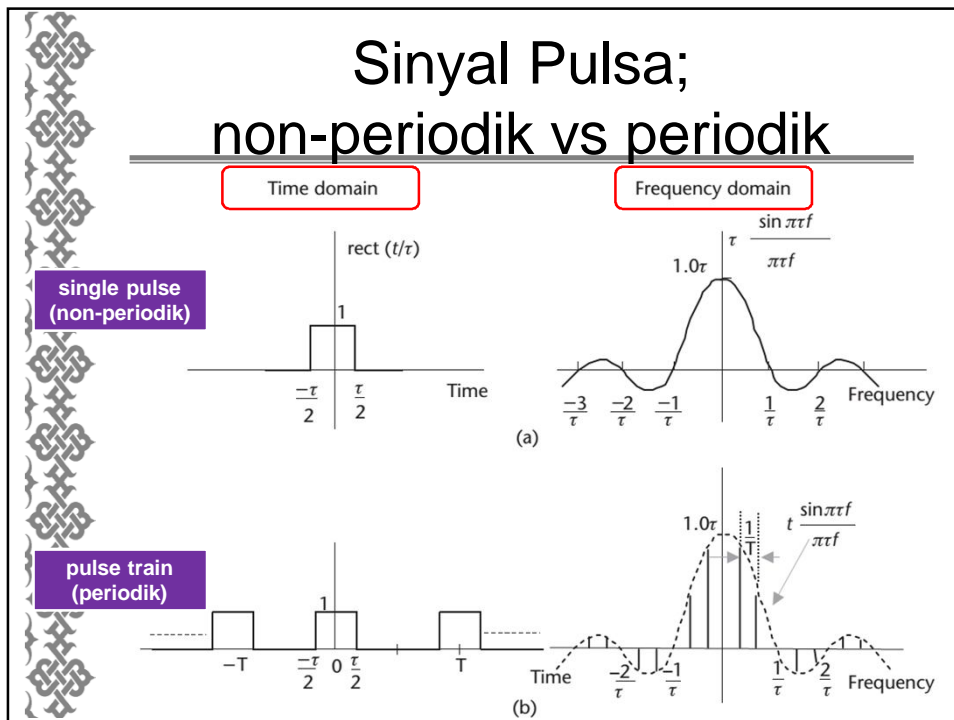
Konstruksi sinyal pulsa segiempat dari sinyal sinusoidal:

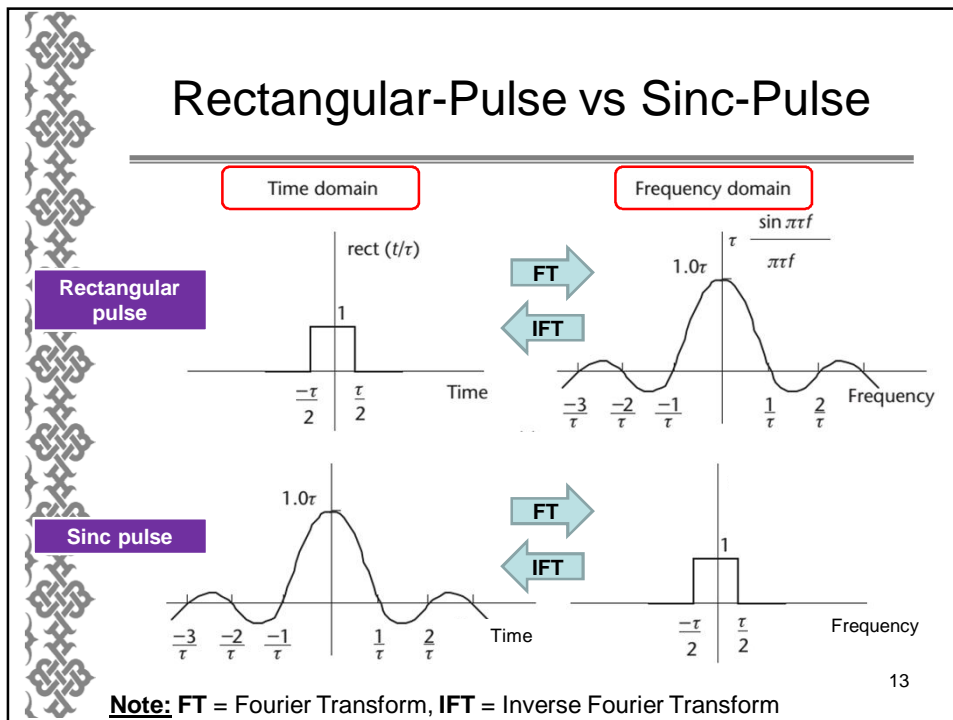
Time domain



Frequency domain







13

## Pengkodean (Coding)

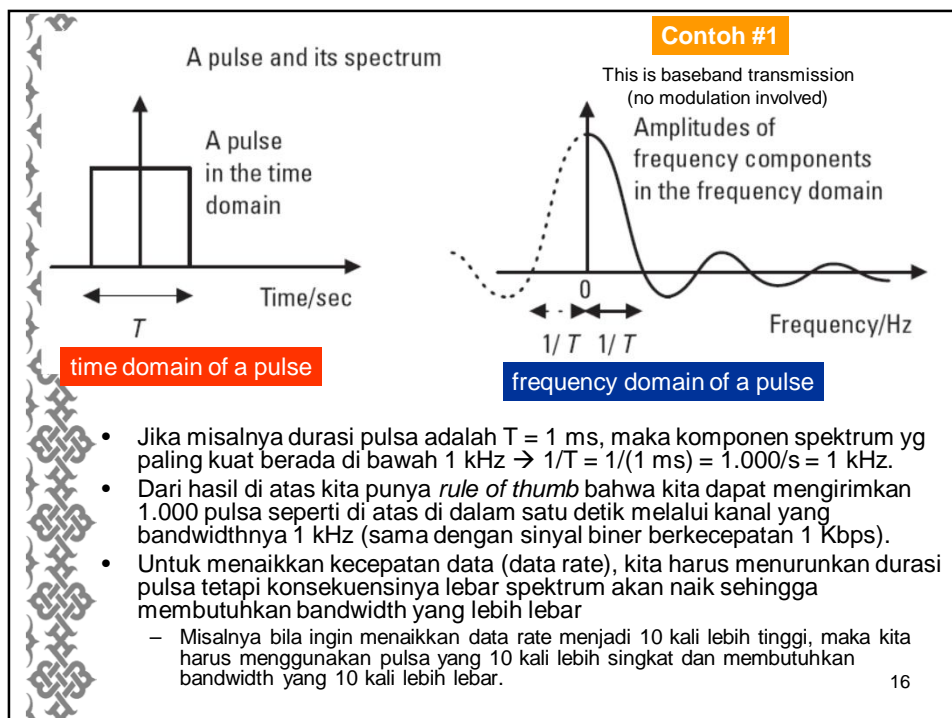
- Pengantar Coding
- Sinyal dan Spektrum
- Kanal Transmisi
- *Source Coding*
- *Cryptography*
- *Channel Coding*
- *Line Coding*

14

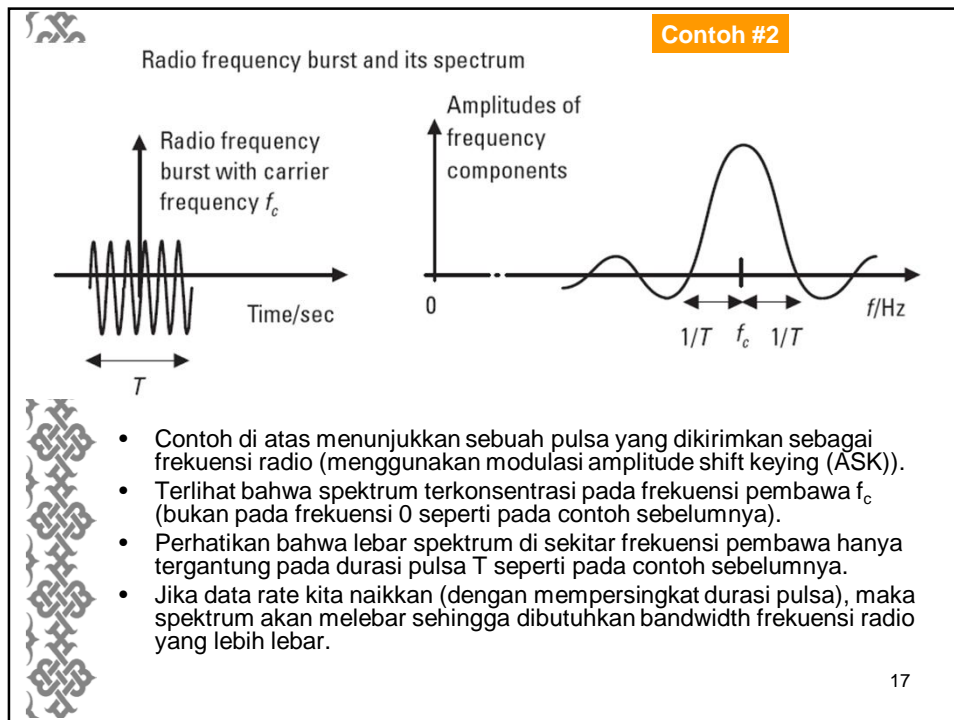
## Kanal Transmisi

- **Kanal transmisi** adalah suatu media elektrikal yang menjembatani sumber dan tujuan, bisa berupa pasangan kabel, kabel coaxial, radio, atau serat optik
- **Faktor pembatas utama** utk **laju data (data rate)** pd semua kanal transmisi:
  - Bandwidth kanal
  - Noise
- Kanal komunikasi membutuhkan **bandwidth transmisi** yg cukup utk mengakomodir spektrum sinyal. Jika tidak demikian, maka akan terjadi **distorsi** yg berat.
- Setiap kanal komunikasi mempunyai bandwidth yg terbatas.
- Semakin tinggi data rate, berarti pulsa digital yg digunakan semakin singkat durasinya, maka semakin lebar spektrumnya. Sehingga membutuhkan bandwidth kanal yg lebih lebar utk transmisi.

15





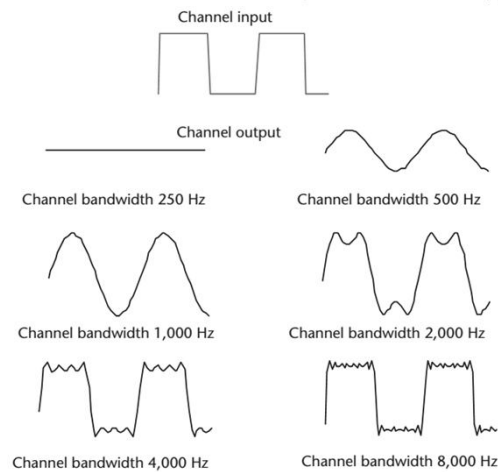


## Esensi dari dua contoh tadi...

- **Bandwidth** merupakan faktor **pembatas utama** untuk transmisi.
- Dari dua contoh tsb kita bisa menyimpulkan adanya **hubungan** antara **data rate** dengan **bandwidth** yang diperlukan.
- Dengan menurunkan data rate kita bisa menaikkan kapasitas jaringan.
  - Sebagai contoh; oleh karena alasan ini maka penggunaan speech-coding yg efisien sangat diperlukan pada sistem komunikasi selular → Tujuannya agar jumlah pembicaraan di dalam jaringan bisa ditingkatkan walaupun kapasitas jaringan tetap.

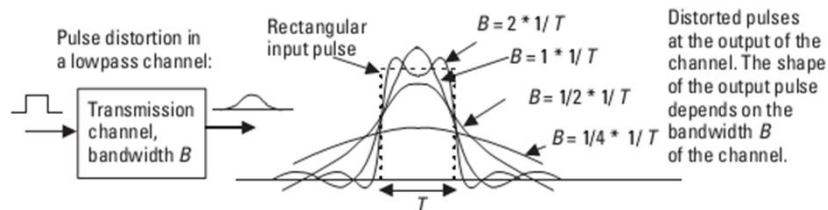
## Bandwidth sinyal vs bandwidth kanal transmisi

- Ilustrasi gelombang pulsa segi-empat 500 Hz ketika ditransmisikan melalui kanal dgn bandwidth yg berbeda:



19

## Bandwidth kanal transmisi



- Misalkan pulsa segi empat (*rectangular pulse*) dgn durasi  $T$  yg dilewatkan pd kanal lowpass ideal dgn bandwidth  $B$ .
- Sbg contoh;  $T = 1$  ms, maka pulsa terdistorsi yg ditunjukkan pd gambar adlh dgn  $B = 2 \cdot 1/T = 2$  kHz,  $B = 1/T = 1$  kHz,  $B = 1/2 \cdot 1/T = 500$  Hz, dan  $B = 1/4 \cdot 1/T = 250$  Hz.
- Distorsi yg berupa pelebaran pulsa ini akan memunculkan *intersymbol interference (ISI)*.

20

## Bandwidth transmisi dan symbol rate

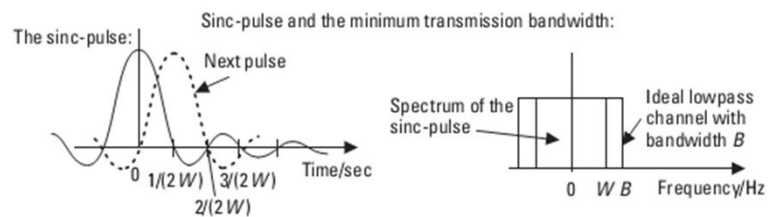
- Pd transmisi *baseband*, suatu sinyal digital dgn laju  $r$  simbol per sekon (*bauds*), membutuhkan bandwidth transmisi  $B$  (dlm Hz):

$$B \geq r/2$$

- Ingat: *symbol rate* tdk harus sama dgn *data rate (bit rate)* karena satu simbol dpt saja membawa lebih dari satu bit.

21

## Maximum Symbol Rate



For a baseband digital signal with  $r$  symbols per second, the bandwidth must be  $B \geq r/2$ .

- Symbol rate  $r$  maksimum utk transmisi sinyal melalui suatu kanal dgn bandwidth  $B$  adlh:

$$r \leq 2B$$

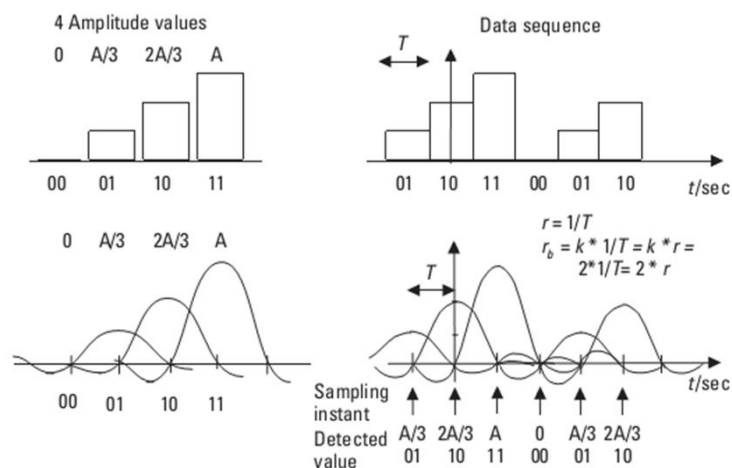
22

## Symbol Rate vs Bit Rate

- Pada komunikasi digital, digunakan simbol-simbol diskrit.
- Sistem biner hanya memiliki dua nilai yg direpresentasikan oleh digit 1 dan 0.
- Utk meningkatkan data rate, kita dpt menggunakan simbol dgn banyak nilai. Misalkan dgn pulsa empat nilai kita dpt mengirimkan ekivalen dari kata-kata biner 2-bit 00, 01, 10, dan 11. Sehingga setiap pulsa akan mengangkut informasi 2 bit, maka 1 baud akan setara 2 bps.

23

## Symbol Rate vs Bit Rate (2)



24

## Symbol Rate vs Bit Rate (3)

- Secara umum, bit rate tergantung pd modulation rate sbb:

$$r_b = k \cdot r \text{ bps}$$

dimana  $r_b$  adlh bit rate,  $k$  adlh jumlah bit dlm setiap simbol, dan  $r$  adlh symbol rate.

- Lalu, banyaknya nilai simbol adlh  $M = 2^k$  maka bit rate dpt juga diberikan oleh

$$r_b = r \cdot \log_2 M \text{ bps}$$

25

## Symbol Rate vs Bit Rate (4)

Bit Rate of a System Using Multiple Symbol Values

Number of Bits, $k$ , Encoded into Each Symbol	Number of Symbol Values, $M$	Bit Rate Compared with Symbol Rate
1	2	Same as symbol rate
2	4	$2 \times$ symbol rate
3	8	$3 \times$ symbol rate
4	16	$4 \times$ symbol rate
5	32	$5 \times$ symbol rate
...		
8	256	$8 \times$ symbol rate
...		

## Contoh 1

- Hitunglah bit rate transmisi jika baud rate (symbol rate) adalah 1200 dan ada dua bit data per simbol!

Jawab:

Symbol rate,  $r = 1200$

Jlh bit per simbol,  $k = 2$

Maka: bit rate,  $r_b = r \cdot k$

$$r_b = 1200 \times 2 = 2400 \text{ bps}$$

27

## Kapasitas Kanal

- Bandwidth suatu kanal merupakan batas utk *symbol rate* (dlm *bauds*) tapi tidak utk *information data rate*.
- Pd thn 1948, Claude Shannon mempublikasikan suatu studi ttg data rate maksimum secara teoritis utk kasus kanal dgn noise acak (thermal).
- Kita mengukur noise relatif thdp sinyal dgn istilah  $S/N$ . Noise menurunkan kebenaran (*fidelity*) pd komunikasi analog dan menghasilkan galat (*error*) pd komunikasi digital.  $S/N$  biasanya dinyatakan dlm decibel

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

28

## Kapasitas Kanal (2)

- Dengan melibatkan bandwidth dan noise dlm perhitungan, Shannon menyatakan bahwa transmisi bebas error melalui suatu kanal dpt dicapai apabila bit rate-nya tidak melebihi kapasitas maksimum  $C$  dari kanal tersebut yg diberikan oleh

$$C = B \log_2(1 + S/N)$$

dimana  $C$  adlh maximum information data rate (disebut juga kapasitas kanal) dlm satuan bps;  $B$  adlh bandwidth dlm Hz;  $S$  adlh daya sinyal;  $N$  adlh daya noise; dan  $S/N$  rasio daya sinyal thdp daya noise (note:  $S/N$  disini adlh rasio daya absolut, bukan dlm dB)

29

## Contoh 2

Bandwidth link telepon dari sentral ke rumah adalah  $B = 3400 \text{ Hz} - 300 \text{ Hz} = 3100 \text{ kHz}$

Asumsi bahwa Signal-to-noise ratio sekitar  $30 \text{ dB} = 10 \log_{10}(S/N)$

Karenanya, kapasitas kanal

$$\begin{aligned} C &= B \log_2(1 + S/N) \rightarrow S/N = 10^{30/10} \\ &= 3100 \cdot \log_2(1001) \\ &= 3100 \cdot 9,97 \\ &= 30898 \text{ bps} \\ &\sim 31 \text{ kbps} \end{aligned}$$

30

## Bandwidth Transmisi utk CW Modulation

- *Continuous wave modulation* atau *carrier wave modulation* biasa disebut *modulation* (modulasi) saja, yaitu menumpangkan sinyal informasi pada sinyal pembawa (*carrier*).
- Dgn demikian pd transmisi digital, modulasi memindahkan spektrum sinyal pulsa dari frekuensi rendah ke frekuensi carrier, dan bandwidth menjadi dua kali lipat dibandingkan dgn sistem baseband.
- Sehingga symbol rate pd sistem radio adalah lebih kecil atau sama dengan bandwidth transmisi

$$r \leq B_T$$

dimana  $r$  adlh symbol rate (bauds) dan  $B_T$  adlh bandwidth transmisi (Hz).

31

## Contoh 3

- Assume that the transmission channel is an ideal lowpass channel with a bandwidth of 4 kHz. The maximum symbol rate via this channel is  $r \leq 2 \cdot B = 8$  kbauds; that is, we can transmit up to 8,000 independent signals, symbols, in a second. [To transmit the same symbol rate through a bandpass channel, we would need a bandwidth of 8 kHz according to (4.12); see also Figure 4.2].

Catatan:

- ✓ Bandpass channel maksudnya kanal pada sinyal carrier.
- ✓ Formula (4.12) ada di halaman 150 buku Anttalainen.
- ✓ Figure 4.2 ada di halaman 128 buku Anttalainen.

32



## Pengkodean (Coding)

- Pengantar Coding
- Sinyal dan Spektrum
- Kanal Transmisi
- *Source Coding*
- *Cryptography*
- *Channel Coding*
- *Line Coding*

33

## Pengkodean Sumber (Source Coding)



- **Lossless** Compression:  $X' = X$ 
  - Example: WinZip
  - Low compression ratio
- **Lossy** Compression:  $X' \neq X$ 
  - Many applications do not require lossless compression
  - Our eyes and ears cannot identify some details
  - High compression ratio
  - Examples: MP3, JPEG, MPEG, WMV

## Lossless Compression

- Kompresi ini ditujukan utk mencapai nilai **entropy** dari suatu sumber informasi, karenanya disebut juga **entropy coding**.
- **Entropy** adalah rata-rata nilai informasi dari simbol-simbol yg dikeluarkan oleh sumber.
- Entropy menyatakan nilai minimum dari banyaknya bit rata-rata utk merepresentasikan simbol-simbol dari sumber, atau merupakan batas kompresi yg mungkin dicapai tanpa kehilangan informasi.
- Di antara **algoritma-algoritma lossless coding**, adalah Huffman coding, Fano coding, Shannon-Fano coding, Arithmetic coding, dan Lempel-Ziv coding.

35

## Contoh Huffman Codes

Symbol	Probability	Codeword
A	0.5	1
B	0.25	01
C	0.125	001
D	0.125	000

Entropy = **1.75**

A representing probabilities input stream : **AAAABBCD**

Code: **11110101001000**

BPS = (14 bits/8 symbols) = **1.75**

36

## Lossy Compression

---

- Kompresi jenis ini mentoleransi sedikit kehilangan informasi.
- Umumnya dipakai pd pengkodean **suara, citra, dan video**.
- Beberapa contoh metode kompresi ini adalah: PCM, DPCM, ADPCM, DCT, Wavelet, Fractal, dll.

37

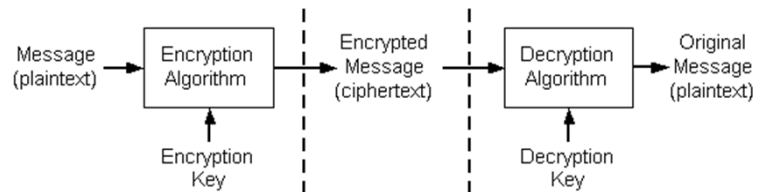
## Pengkodean (*Coding*)

---

- Pengantar Coding
- Sinyal dan Spektrum
- Kanal Transmisi
- *Source Coding*
- *Cryptography*
- *Channel Coding*
- *Line Coding*

38

## Cryptography

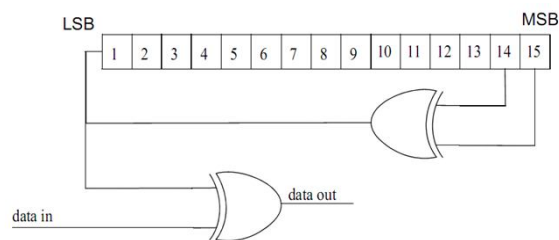


- **Cryptography** adlh mekanisme pengamanan data/informasi agar tdk dpt dibaca oleh pihak ketiga (yg tdk berwenang) selama proses transmisi ataupun penyimpanan.
- Pd **pengirim** dilakukan proses **encryption** sdgkn pd **penerima** dilakukan proses **decryption**.

39

## Cryptography (2)

- Cryptography dpt dilakukan berlapis (berkali-kali), biasanya pada presentasion layer dan physical layer.
- Pd physical layer, Encyption – Decryption dpt dilakukan berbasis blok yaitu blok per blok data ataupun dpt jg berbasis aliran data (*stream*).
- Berikut ini adlh contoh Encyption – Decryption berbasis aliran data pd layer fisik:



40

## Pengkodean (Coding)

- Pengantar Coding
- Sinyal dan Spektrum
- Kanal Transmisi
- *Source Coding*
- *Cryptography*
- *Channel Coding*
- *Line Coding*

41

## Pengkodean Kanal (Channel Coding)

- **Pengkodean kanal (*channel coding*)** adalah pengkodean yg bertujuan agar **transmisi** informasi menjadi lbh **lebih handal**, atau BER menjadi sekecil mungkin.
- Jika pd ***source coding*** batas capaiannya adlh **entropy**, maka pd ***channel coding*** batas capaiannya adlh **kapasitas kanal**.
- Secara teknis, *channel coding* dilakukan dgn penambahan bit-bit redundant pd deretan bit informasi (message) di sisi pengirim dgn algoritma tertentu, kemudian di penerima dgn memanfaatkan bit-bit redundant ini dan juga bit-bit informasi akan dilakukan deteksi atau koreksi pada bit-bit informasi yg error.

42

## Channel Coding (2)

---

- Ada dua jenis channel coding
  - Error detection
  - Error correction
- Pd *error detection coding*, sistem hanya mendeteksi apakah telah terjadi error (adanya bit yg salah)?  
Jika YA maka penerima akan meminta pengirim utk mengirim ulang suatu blok/paket data (retransmisi).
- Pd *error correction coding*, penerima dgn algoritma decoding tertentu melakukan sendiri koreksi error bila ada bit data yg salah.

43

## Channel Coding (3)

---

- Beberapa contoh *error detection codes* adlh:
  - Parity Checking
  - Longitudinal Redundancy Check (LRC)
  - Cyclic Redundancy Check (CRC)
- Beberapa contoh *error correction codes* adlh:
  - Hamming Codes
  - Cyclic Codes
  - Convolutional Codes
  - Turbo Codes
  - LDPC Codes

44

## Parity Checking Coding

### Contoh (*Error Detection*):

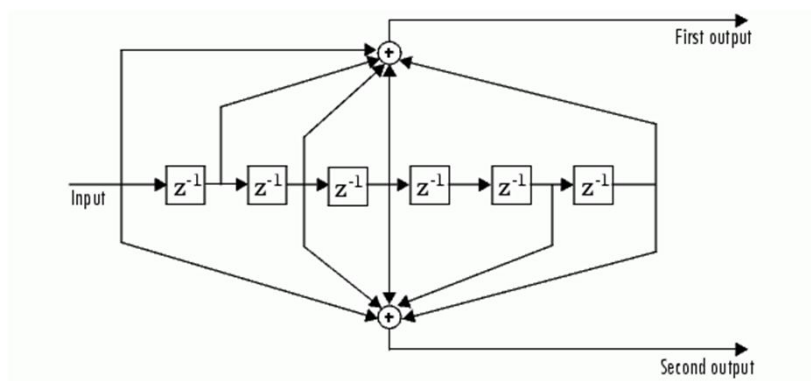
Even Parity pada Karakter ASCII

- A  $\rightarrow$  1000001 menjadi 01000001
- D  $\rightarrow$  1000100 menjadi 01000100
- L  $\rightarrow$  1001100 menjadi 11001100
- 8  $\rightarrow$  0111000 menjadi 10111000

45

## Convolutional Codes

### • Contoh (*Error Correction*):



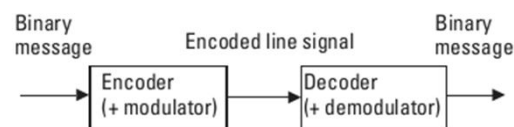
46

## Pengkodean (Coding)

- Pengantar Coding
- Sinyal dan Spektrum
- Kanal Transmisi
- *Source Coding*
- *Cryptography*
- *Channel Coding*
- *Line Coding*

47

## Line Coding



Line coding:

Extracts the dc-content from the message;  
 Adds synchronization information into the line signal;  
 Increases information data rate through the channel;  
 Changes the spectral shape of the message so that  
 it suits the channel better

- *Line coding* adalah mengubah simbol-simbol dari suatu sumber informasi ke bentuk lain utk ditransmisikan.
- Operasi *encoding* pada sisi pengirim berupa transformasi message digital ke deretan simbol baru. Sedangkan operasi *decoding* pada sisi penerima berupa proses sebaliknya yaitu mengkonversikan kembali deretan terkode ke message aslinya.

48

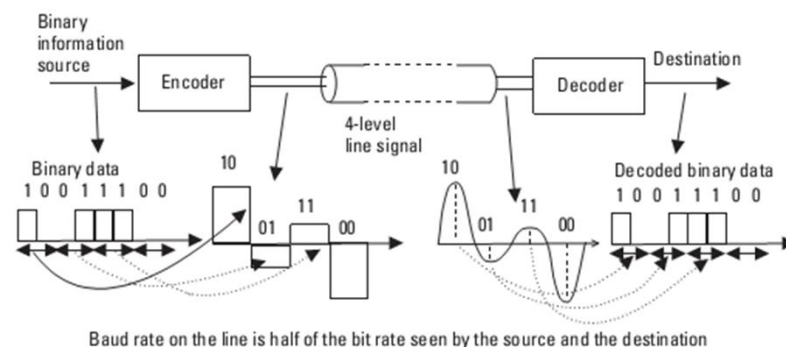


## Line Coding (2)

- Tujuan *line coding* adlh:
  - membuat bentuk spektrum sinyal digital sesuai utk suatu media komunikasi (transmisi) tertentu.
  - membantu sinkronisasi pd receiver.
  - dpt juga utk meningkatkan data rate.
- Sistem yg hanya menggunakan *line coding* tapi tdk menggunakan modulasi disebut sistem transmisi pita dasar (*baseband transmission systems*).
- Tetapi pada sistem transmisi *bandpass* misalnya sistem radio, digunakan keduanya (coding dan modulasi).

49

## Contoh Line Coding



50

## Terminologi Line Code

---

- Unipolar
  - Semua elemen sinyal mempunyai tanda yg sama
- Polar
  - Satu state logic direpresentasikan dg tegangan positif dan yg lainnya dg tegangan negatif
- Bipolar
  - Salah satu state logic direpresentasikan dg dua tegangan (positif dan negatif) dan state lainnya dgn tanpa sinyal.
- NRZ (Non-Return-to-Zero)
  - Durasi sinyal utuh sepanjang periode simbol
- RZ (Return-to-Zero)
  - Durasi sinyal adlh setengah dr periode simbol, dan setengah lagi adlh nol

51

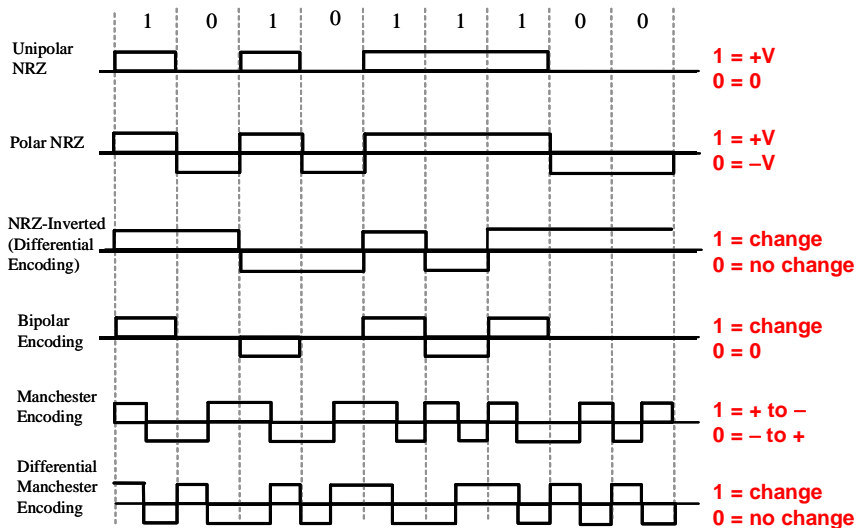
## Terminologi Line Code (2)

---

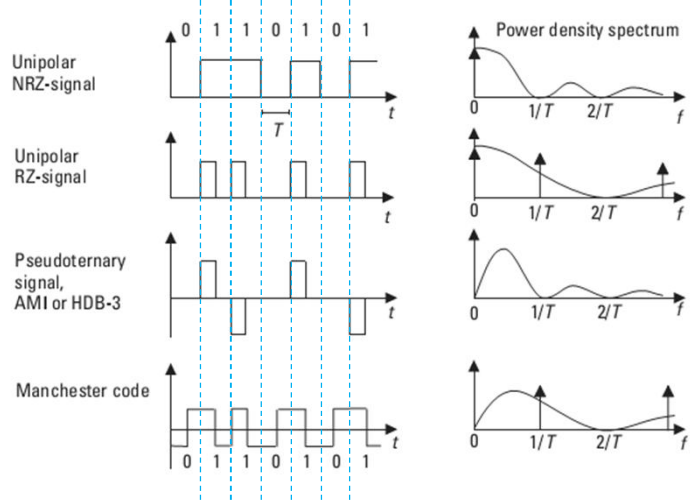
- Data rate
  - Laju transmisi data dalam bits per second (bps)
- Durasi atau panjang satu bit
  - Waktu yg diperlukan transmitter utk emisi bit
- Modulation rate
  - Laju (rate) dimana level sinyal berubah
  - Diukur dalam baud = elemen sinyal per second
- Mark and Space
  - Biner 1 dan Biner 0

52

## Line Coding (Summary)



## Spektrum beberapa line code



## PR-5

---

### Soal 1

Show that the equation for radio wave attenuation in decibels,  $L_{\text{dB}} = 92.4 + 20 \log_{10} f/\text{GHz} + 20 \log_{10} l/\text{km}$  dB, follows from the equation of attenuation  $L = [4f\pi l/c]^2$ . Note that, for example,  $f = f/\text{GHz} \times 10^9$ .

### Soal 2

What is the received power level (dBm) and power (W) when transmitted power is 1W, frequency 1 GHz, distance 1 km, and transmitter and receiver antenna gains are 14 and 2 dB, respectively? Assume a free-space loss approximation for link loss.

55

## PR-5; Soal 3

---

Bandingkan nilai informasi yg dikandung oleh tulisan berbahasa Indonesia dgn tulisan berbahasa Inggris.

Caranya:

- Ambil satu lembar (dua halaman) buku berbahasa Indonesia dan satu lembar buku berbahasa Inggris.
- Hitung jumlah seluruh huruf yg ada dan hitung peluang  $p$  dari masing-masing huruf.
- Hitung nilai informasi  $I$  dari masing-masing huruf dgn rumus berikut ini

$$I(p) = \log_2(1/p)$$

56

## PR-5; Soal 4

Ubahlah NIM Anda masing-masing menjadi bilangan biner. Ambillah 10 bit terakhir dari NIM biner tersebut sebagai 10 bit pertama deretan bit data. Ambil kembali 10 bit terakhir dari NIM biner, baliklah urutannya dan jadikan sebagai 10 bit kedua deretan bit data. Sebagai contoh NIM  $100170100_{\text{dec}} = 101111110000111100101110100_{\text{bin}}$ , maka deretan bit datanya adalah 01011101000010111010.

Lalu, gambarkan sinyal *line coding*: (i) Unipolar NRZ, (ii) Unipolar RZ, (iii) Polar NRZ, (iv) Differential Code, (v) Bipolar Code, (vi) AMI RZ Code, (vii) Manchester Code, dan (viii) Differential Manchester Code.


Catatan: apabila bit pertama data adalah 0, gantilah menjadi 1.

57

## Ujian Tengah Semester (UTS)

- **UTS** insya ALLAH akan dilaksanakan pd:
  - Kamis 9-Apr-2015 jam 08.00-09.40 WIB → A4
  - Kamis 9-Apr-2015 jam 10.30-12.10 WIB → A1
  - Senin 6-Apr-2015 jam 10.30-12.10 WIB → A3
- Seluruh **bahan/slide kuliah** wajib di-print dan dijilid/di-hecter bersama dgn catatan tangan (jika ada), serta **dibawa pd saat UTS** utk **dinilai**.
- **Materi ujian** adalah **semua** bahan kuliah (dari kuliah pertama s.d. kuliah hari ini).

58



---

Sekian, terima kasih.  
Semoga berkah

Semua softcopy bahan kuliah tersedia di  
<http://adf.ly/173i2d>

59