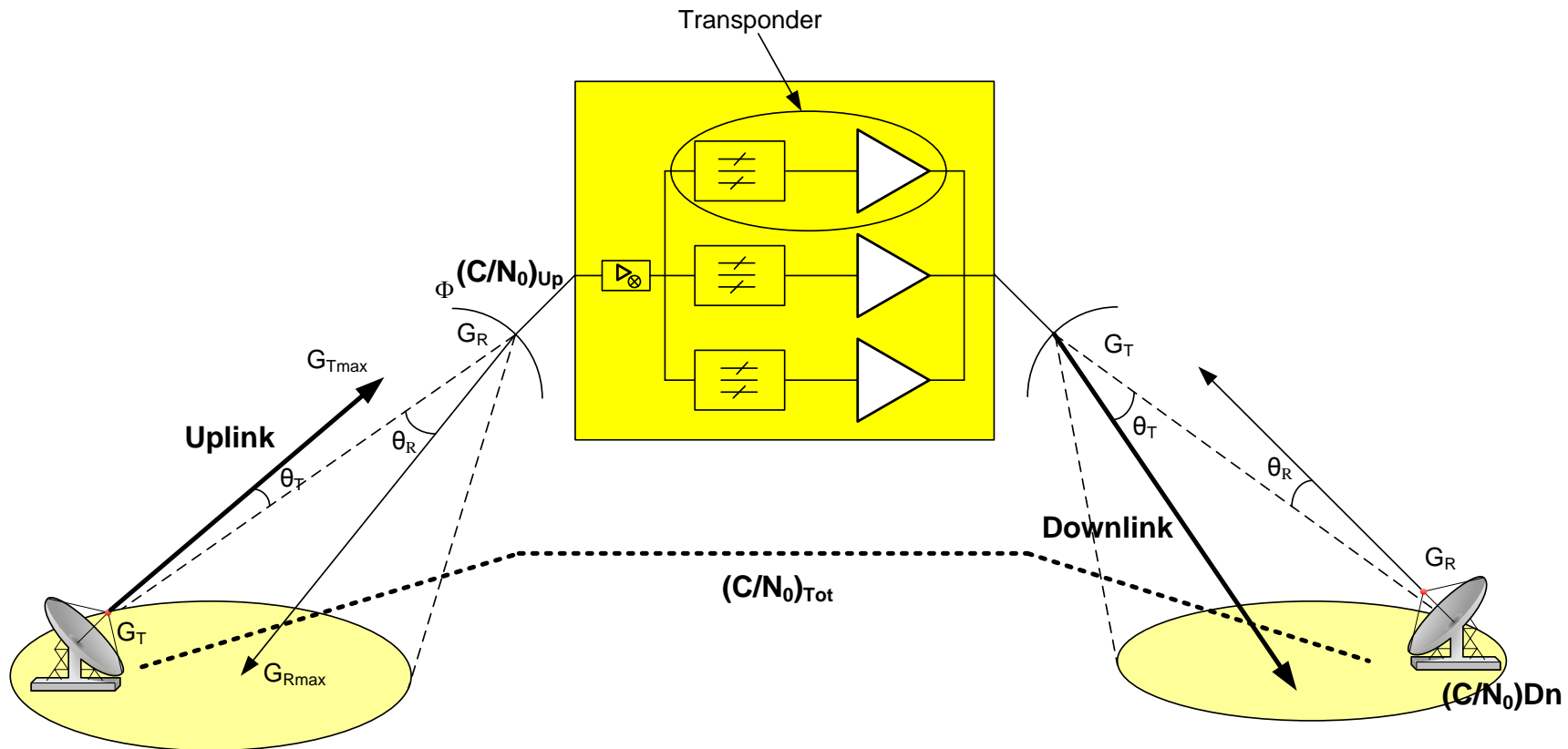


TEKNIK TRANSMISI DIGITAL

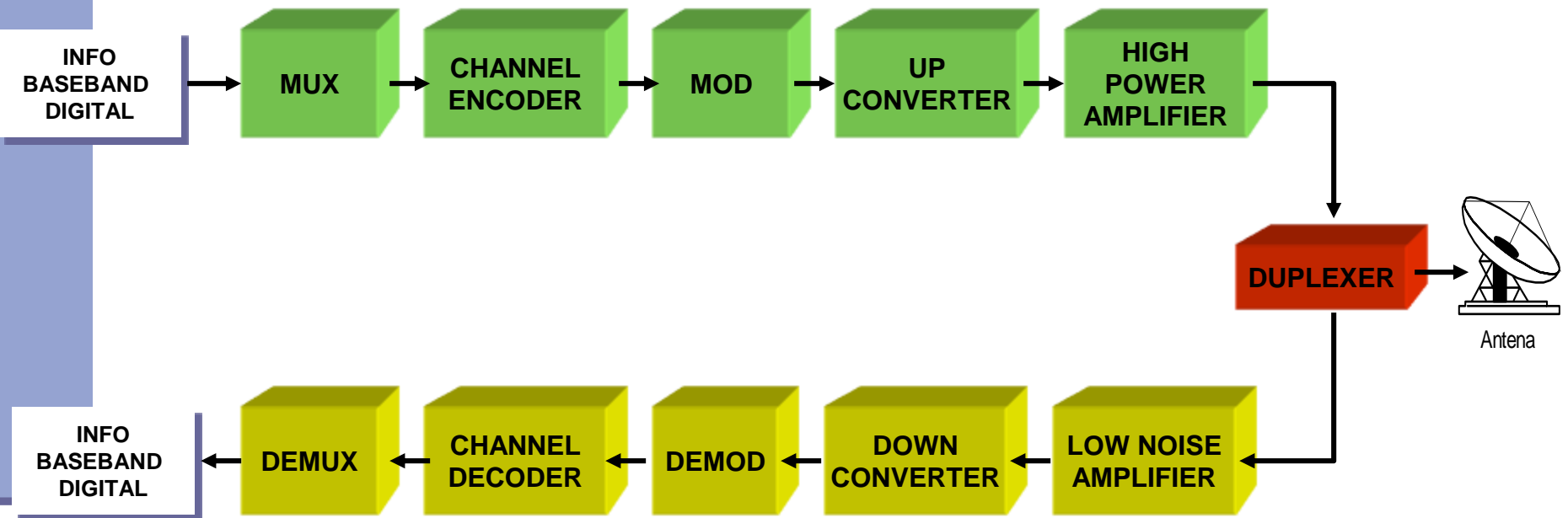
Agenda

- Konfigurasi Sistem Komunikasi Digital pada satelit
- Sinyal Baseband dan Formatnya
- Jenis – jenis modulasi
- Pengkodean Kanal dan pengaruhnya pada Siskomsat

KONFIGURASI SISKOMSAT

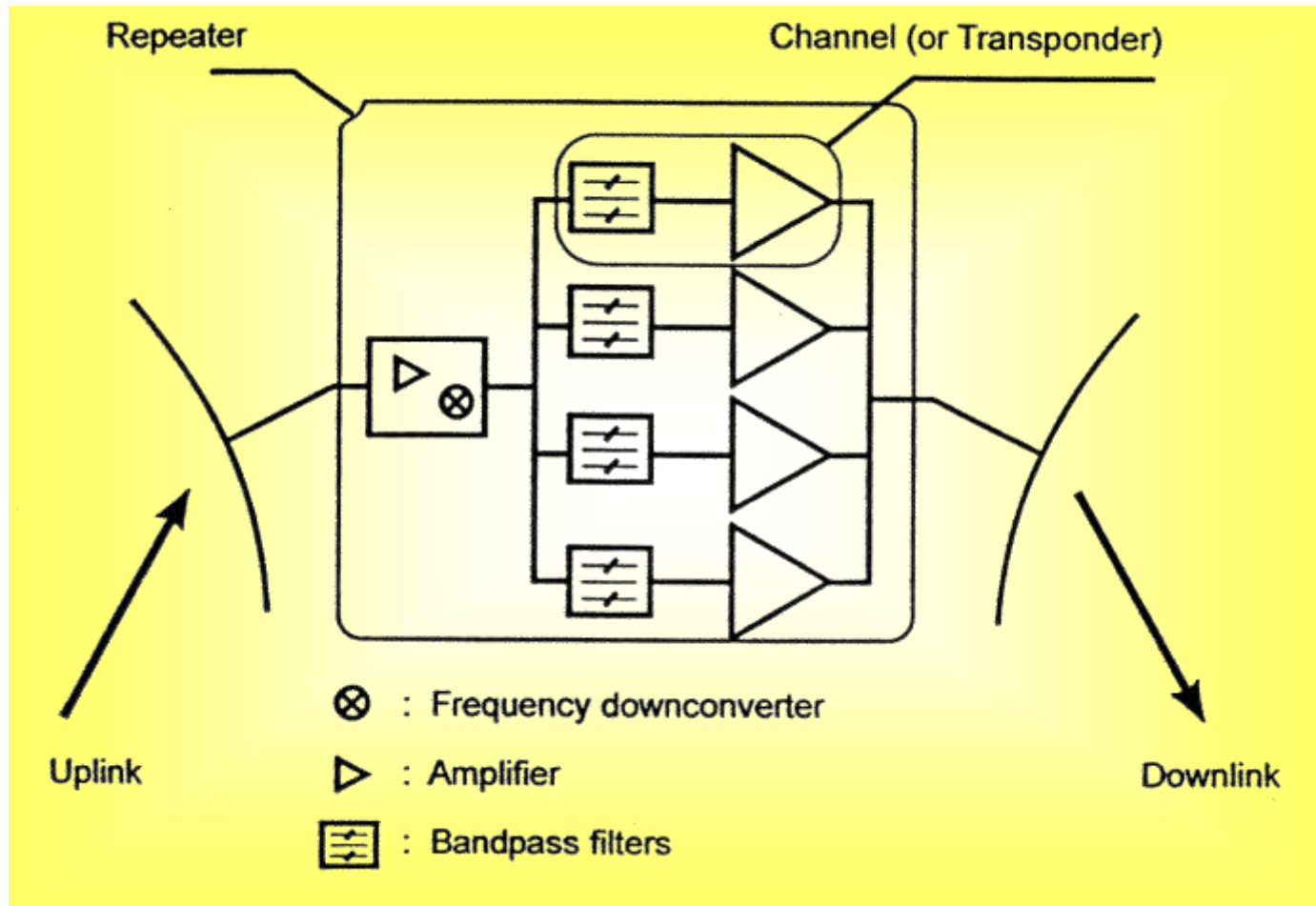


Konfigurasi Stasiun Bumi



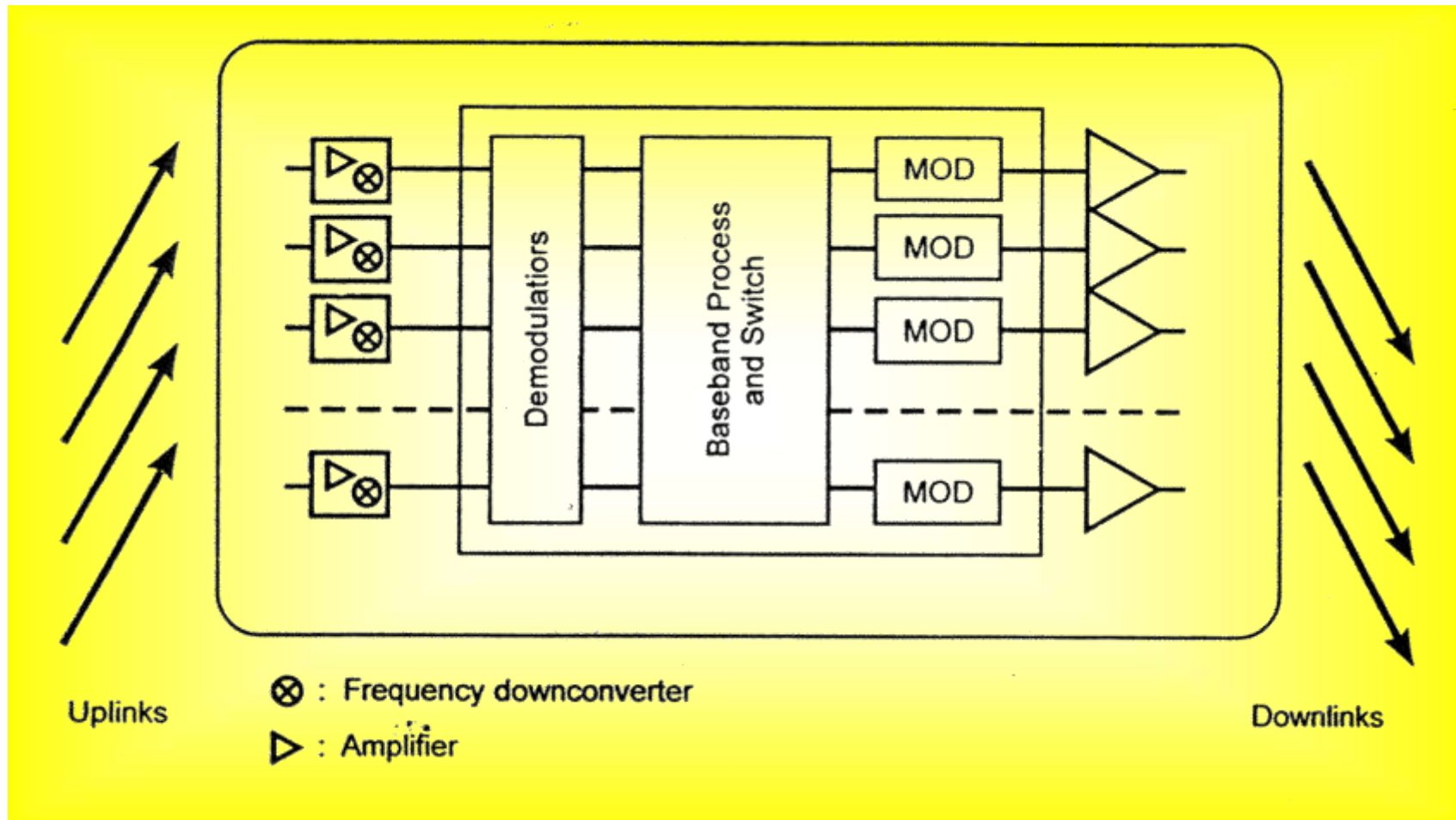
Konfigurasi Transponder

■ Tipe Transparent



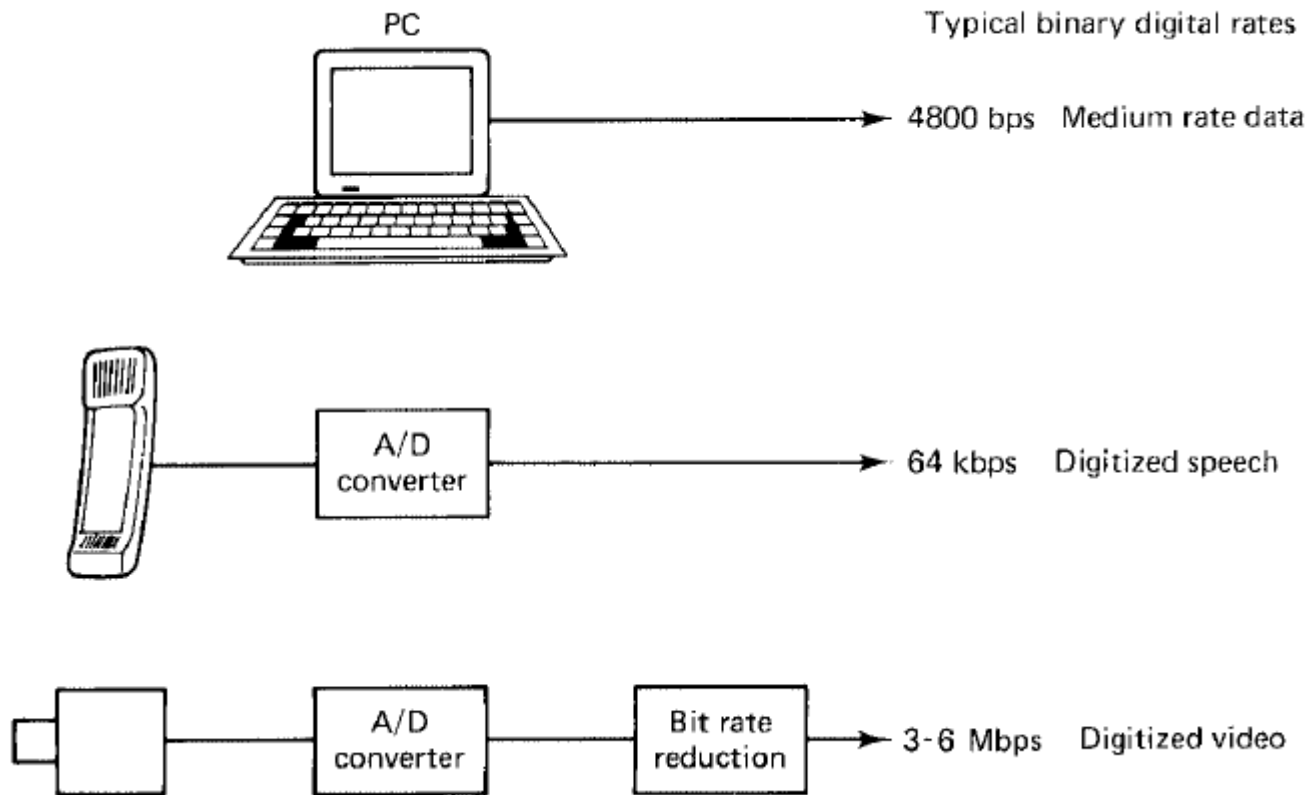
Konfigurasi Transponder

Tipe Regenerative



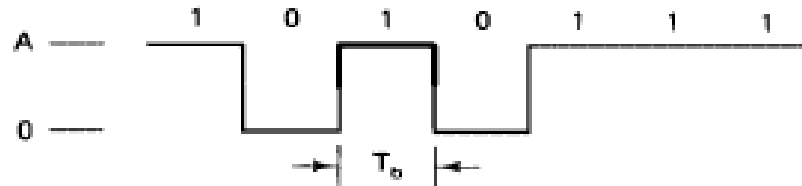
Sinyal Baseband Digital

- Contoh – contoh sinyal baseband digital :

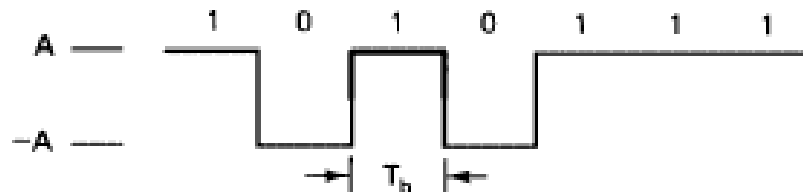


Format Sinyal Baseband Digital

- Format ini berfungsi untuk merepresentasikan sinyal baseband digital :
 - NRZ (Non Return to Zero) unipolar

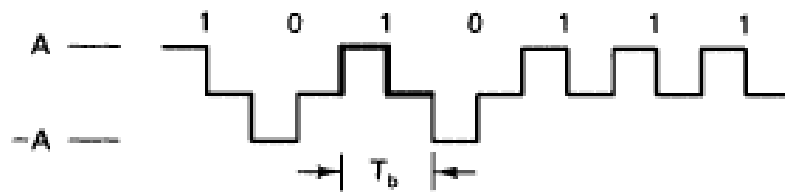


- NRZ polar

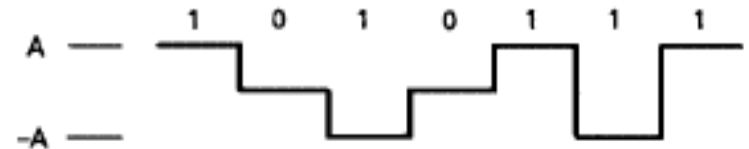


Format Sinyal Baseband Digital

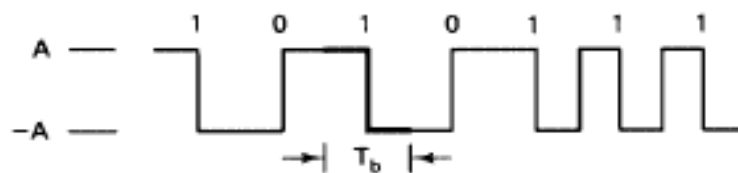
- RZ (Return to Zero) Polar



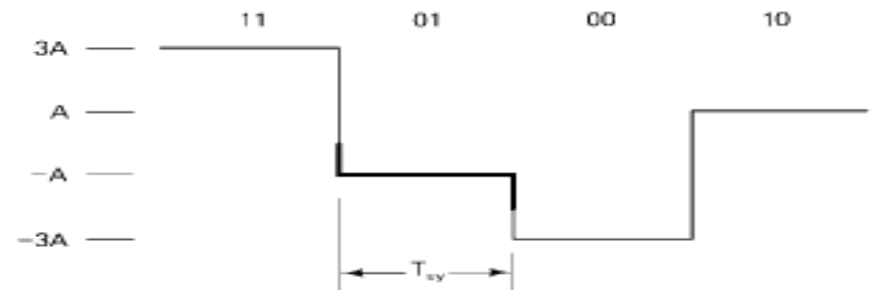
- AMI (Alternate Mark Inversion)



- Manchester



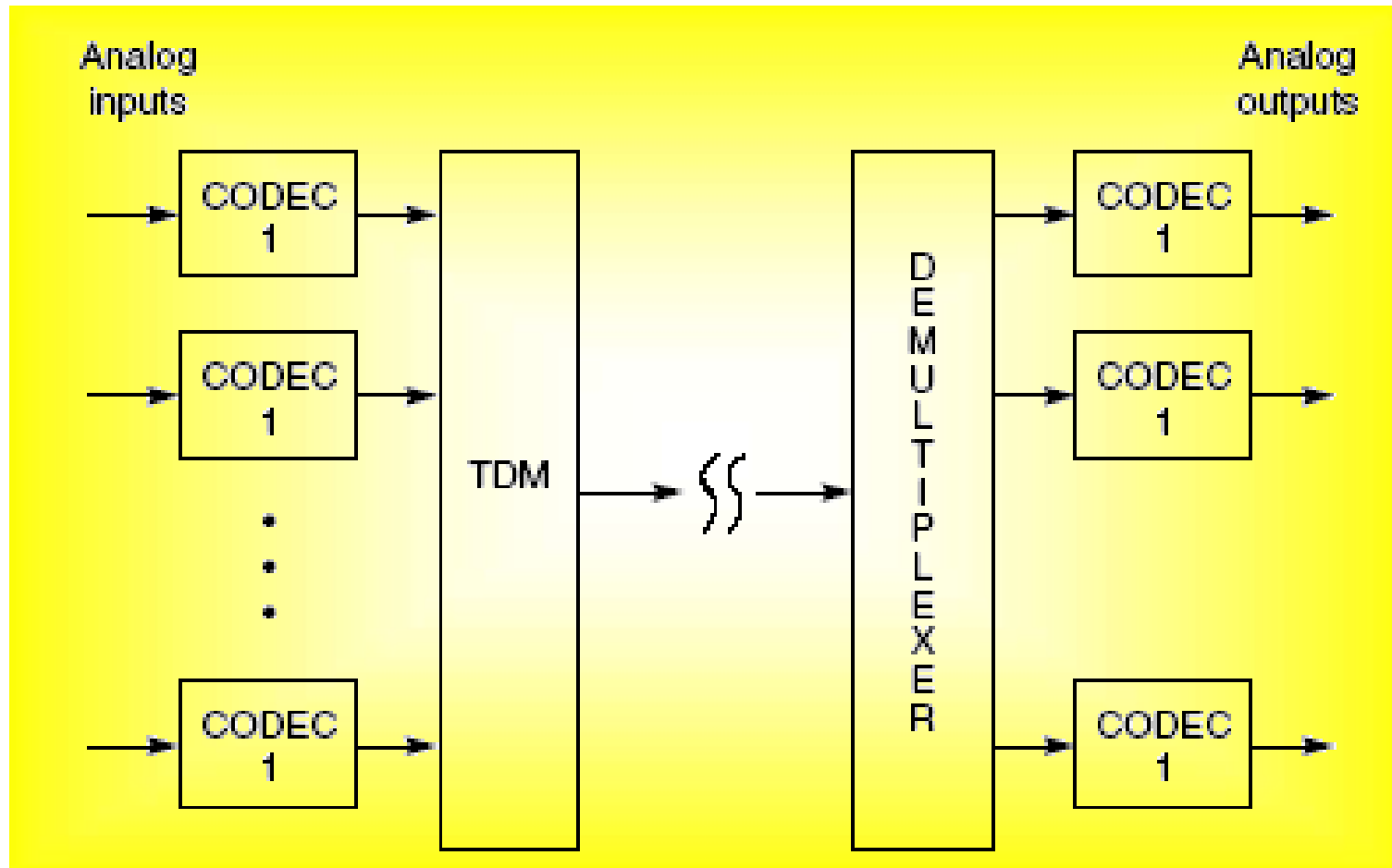
- Quaternary Polar NRZ



Mux / Multiplexing

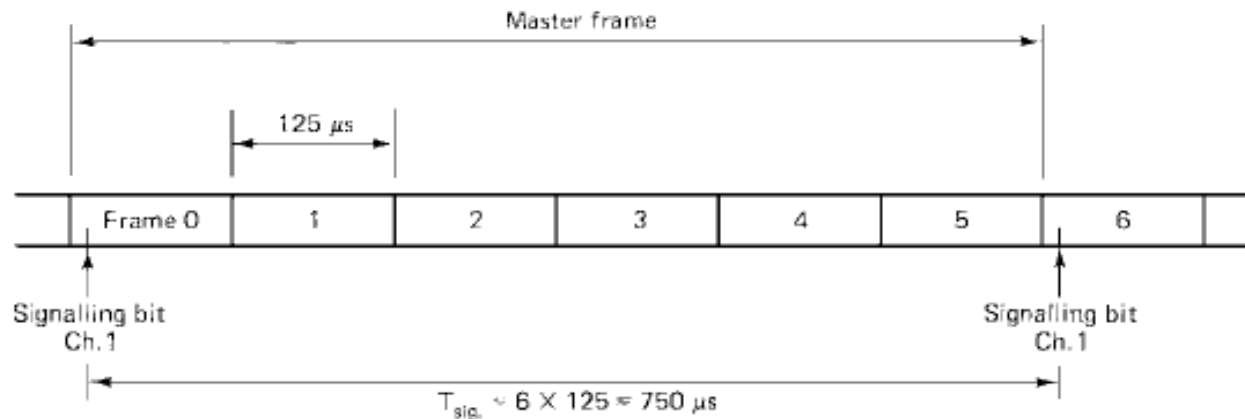
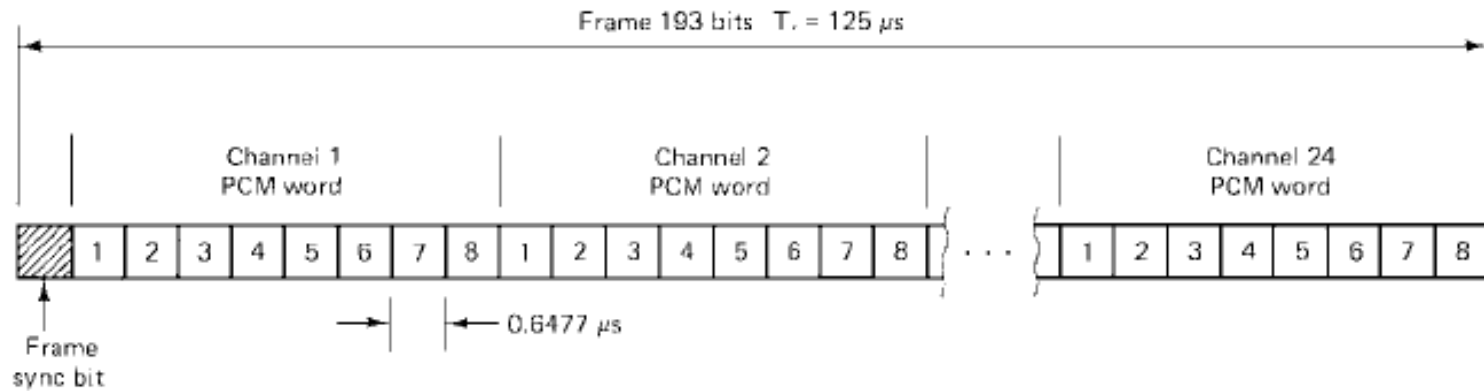
- Berfungsi untuk menggabungkan beberapa kanal informasi menjadi 1 kanal secara simultan
- Untuk Sistem Radio Digital yang digunakan adalah **TDM (Time Division Multiplexing)**
- Pada TDM : Total waktu dibagi menjadi slot - slot waktu dimana 1 slot waktu ditempati oleh 1 kanal informasi
 - **PCM 30 : Standar Eropa**
 - **PCM 24 : Standar Amerika**

Time Division Multiplexing (Tdm)



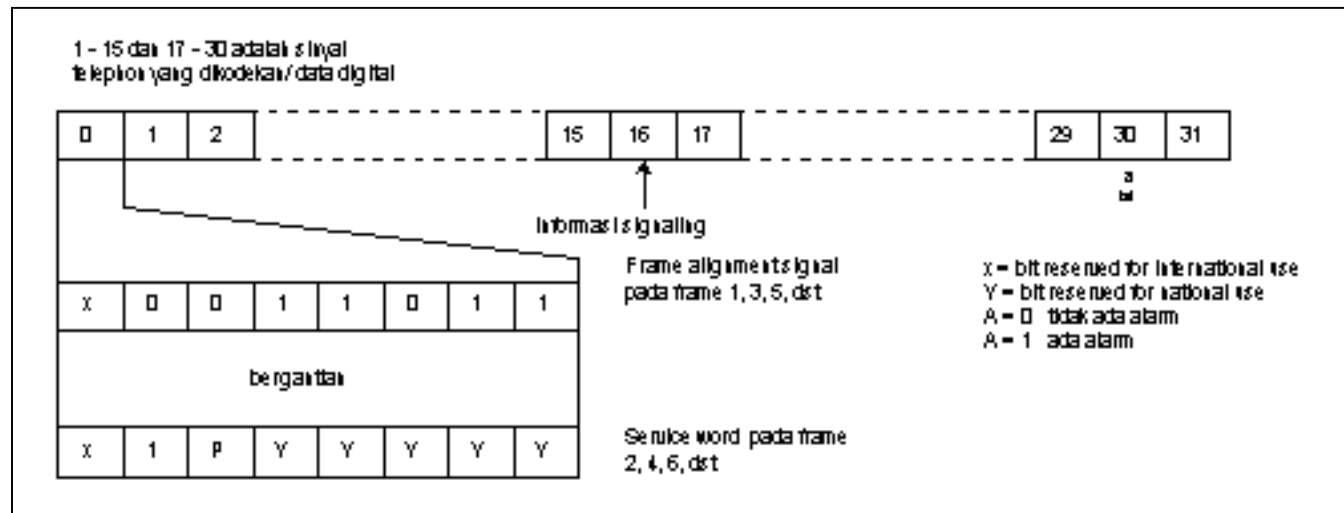
Format Frame Tdm

- Contoh format frame PCM – 24, standar T1 = 1,544 Mbps



FORMAT FRAME TDM

Contoh format frame PCM – 30, standar E1 = 2,048 Mbps



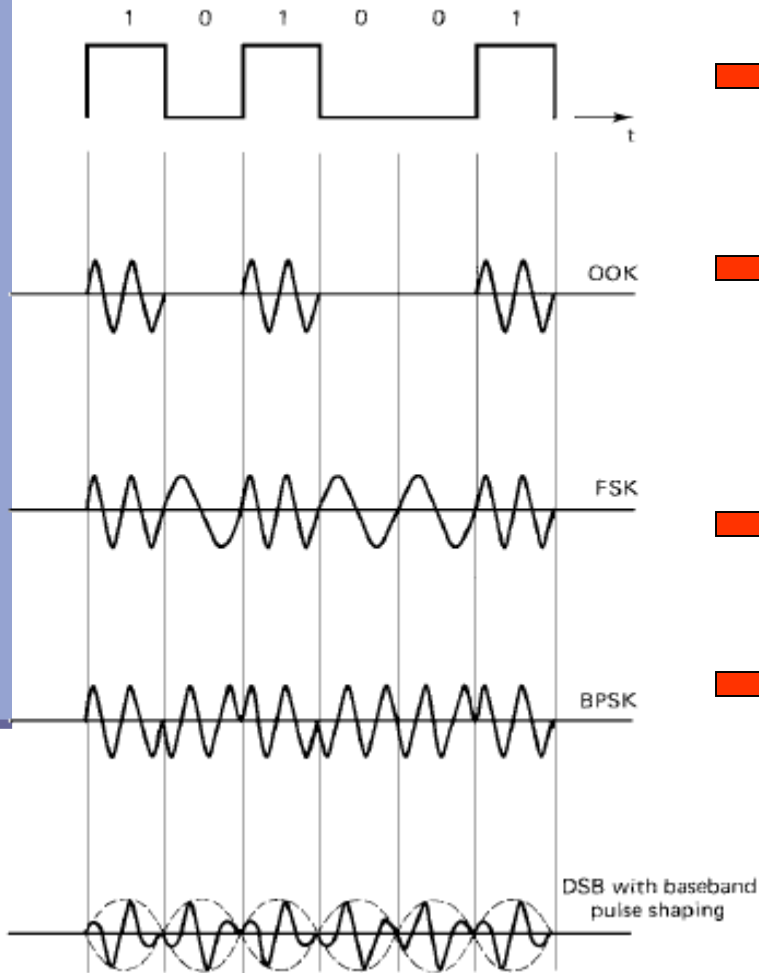
- 1 Time Slot (TS) = 8 bit
- Terdiri dari 32 TS = 30 kanal suara + 1 sinkronisasi + 1 signaling
 - Sinkronisasi : TS 0
 - Signaling : TS 16
 - Voice : TS 1 – 15 + TS 17 – 31
- Dalam 1 detik terdapat 8000 sampel sehingga :
 - Bit rate = $(8 \times 8000) \times 32 = 2048$ kbps

Hirarki TDM

CEPT (European Conference of Postal and Telecommunications Administrations)

Hierarchy level	CEPT		USA/Canada		Japan	
	Throughput (Mbit/s)	Capacity (channels)	Throughput (Mbit/s)	Capacity (channels)	Throughput (Mbit/s)	Capacity (channels)
1	2 048	30	1 544	24	1 544	24
2	8 448	120	6 312	96	6 312	96
3	34 368	480	44 736	672	32 064	480
4	139 264	1 920	274 176	4032	97 728	1 440
5	557 056	7 680			400 352	5 760

MODULASI DIGITAL



Format data

ASK (Amplitude Shift Keying) - OOK
(On Off Keying)

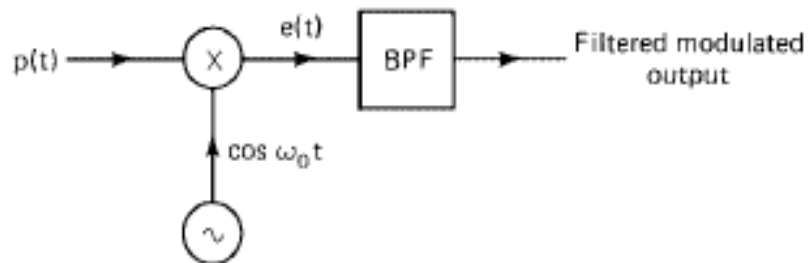
FSK (Frequency Shift Keying)

BPSK (Binary Phase Shift Keying)

DSB (Double Side Band)

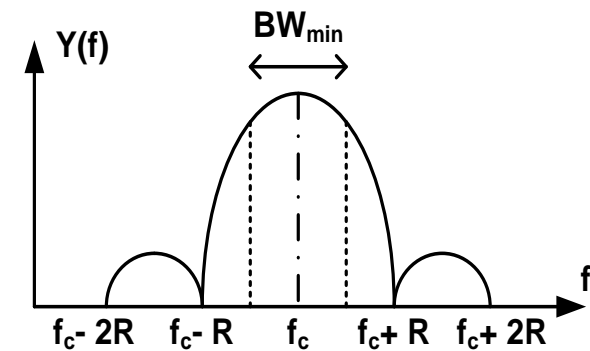
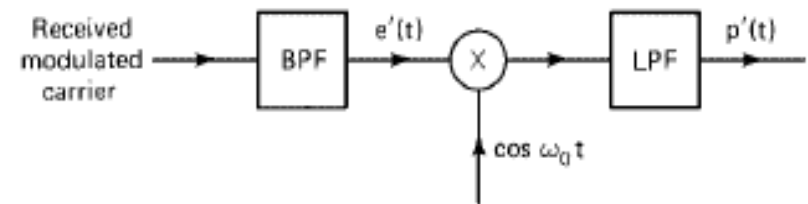
BPSK

■ Modulator :

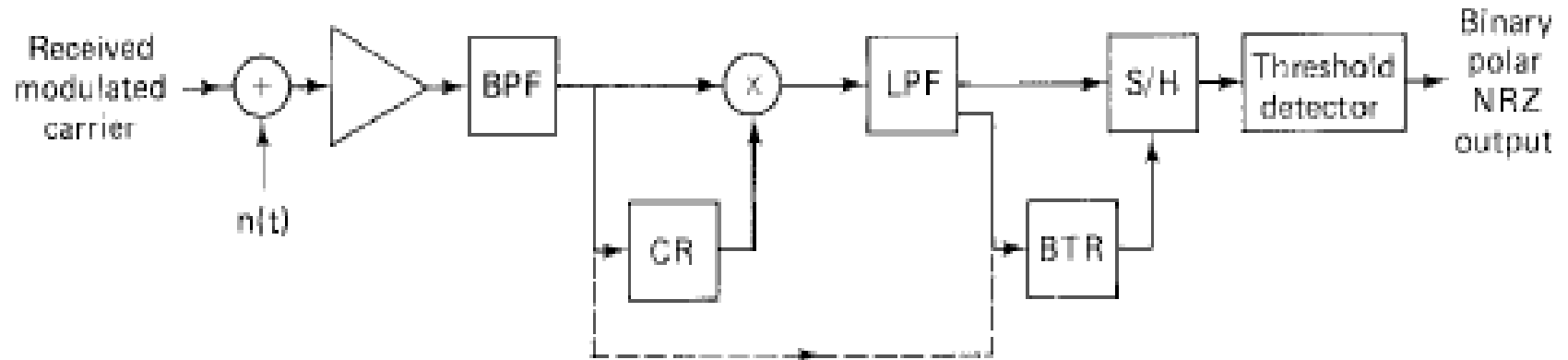


- $e(t) = +\cos \omega_0 t$ untuk bit 1
- $e(t) = -\cos \omega_0 t$ untuk bit 0

■ Demodulator :



DETEKSI KOHEREN MENGGUNAKAN CARRIER RECOVERY



BPF – Band Pass Filter.

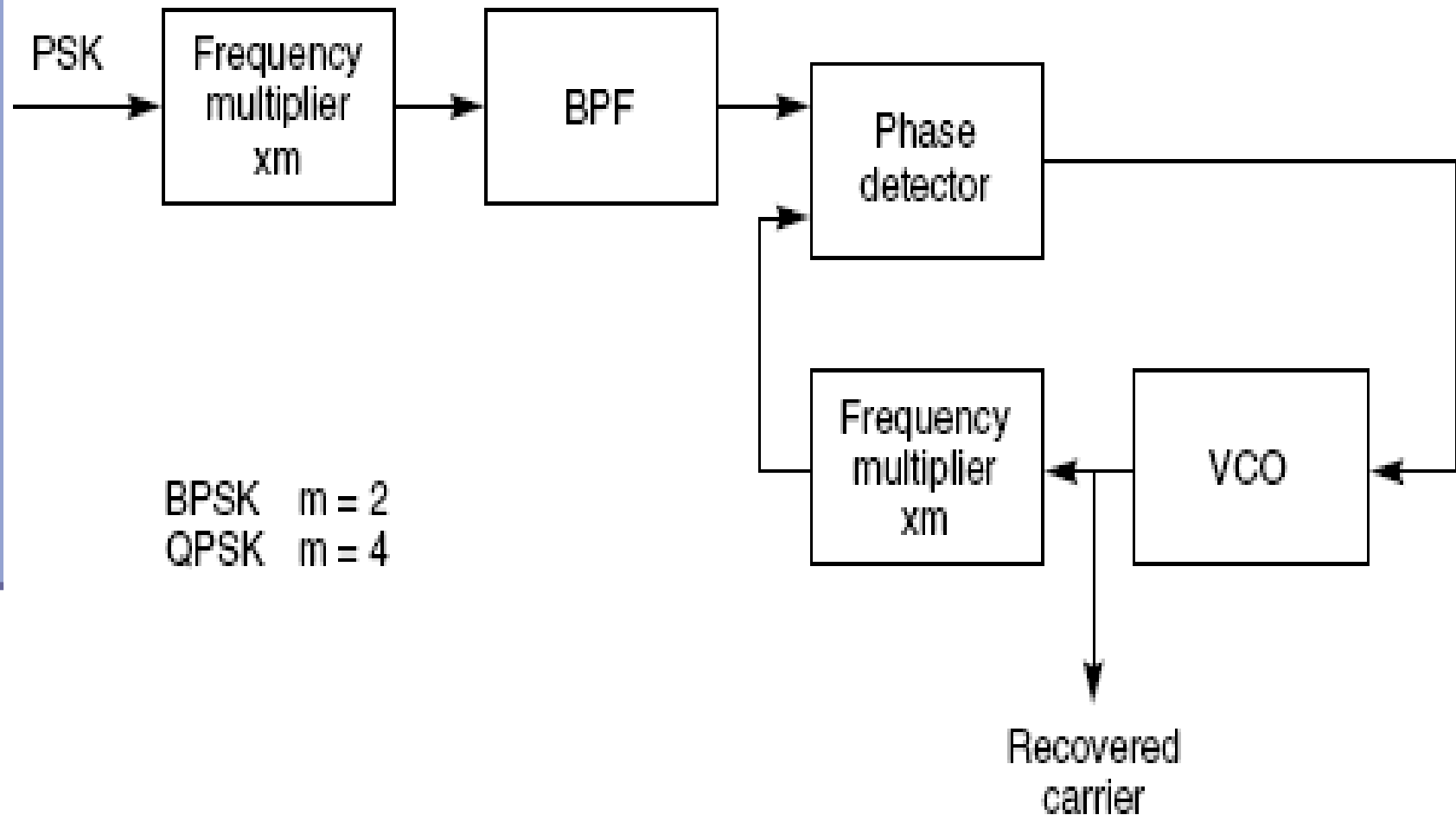
CR – Carrier Recovery.

LPF – Low-Pass Filter.

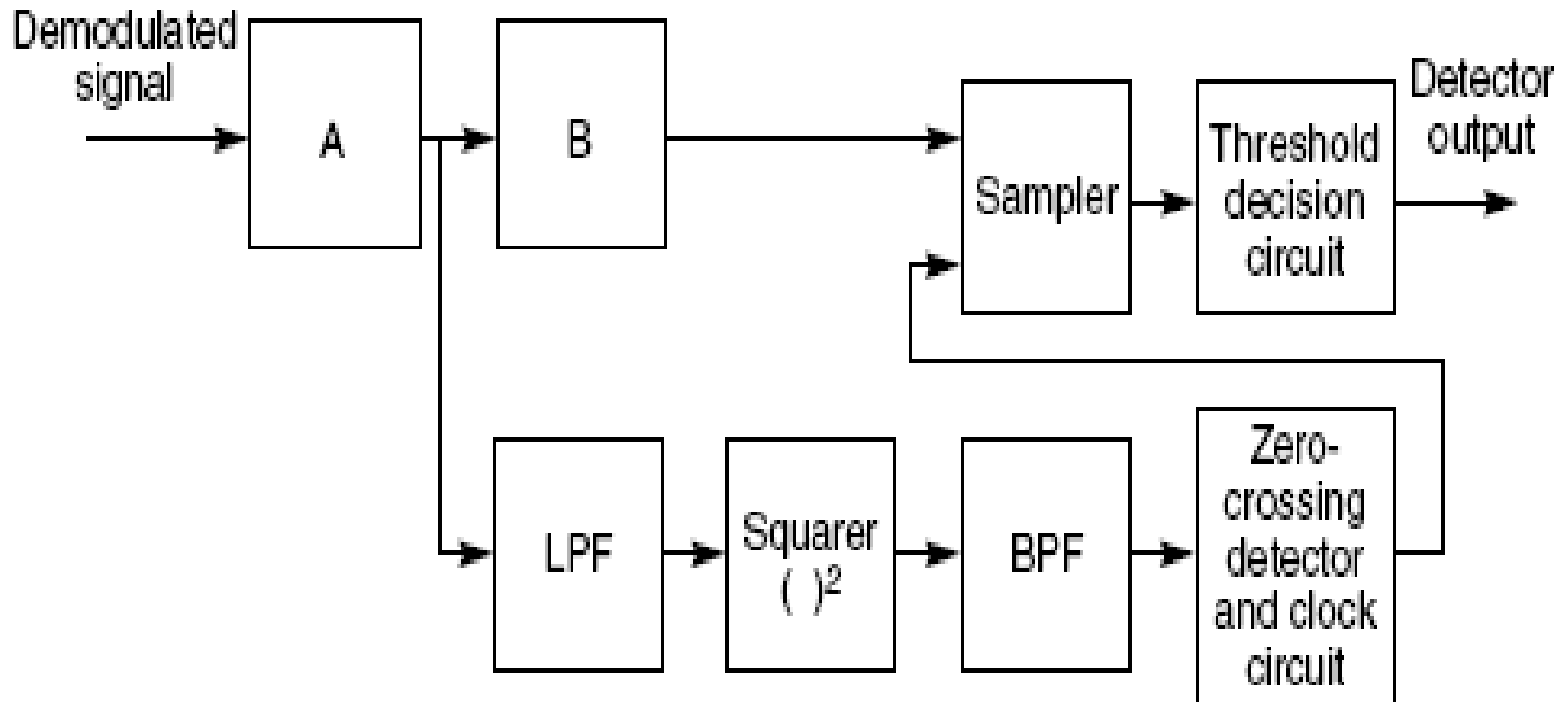
BTR – Bit Timing Recovery.

S/H – Sample and Hold.

CARRIER RECOVERY PADA DEMODULASI DIGITAL

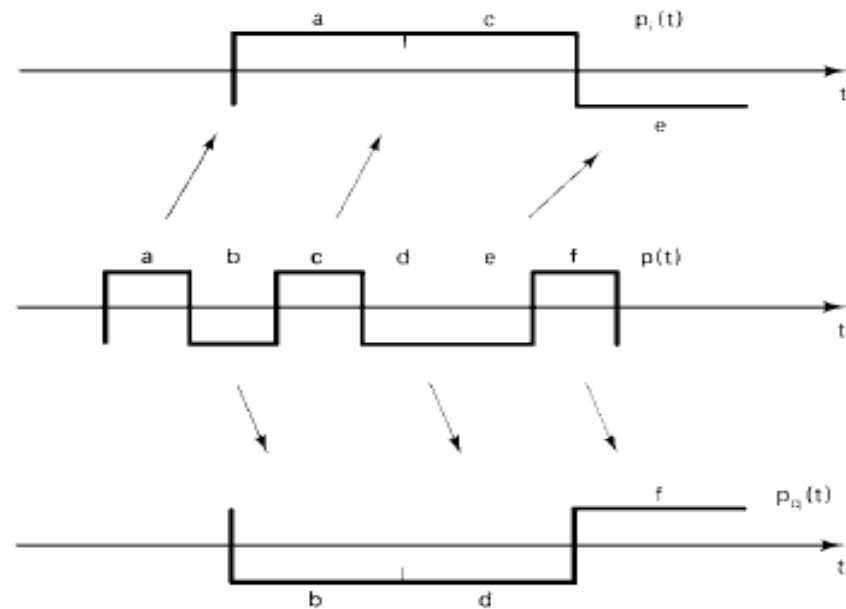
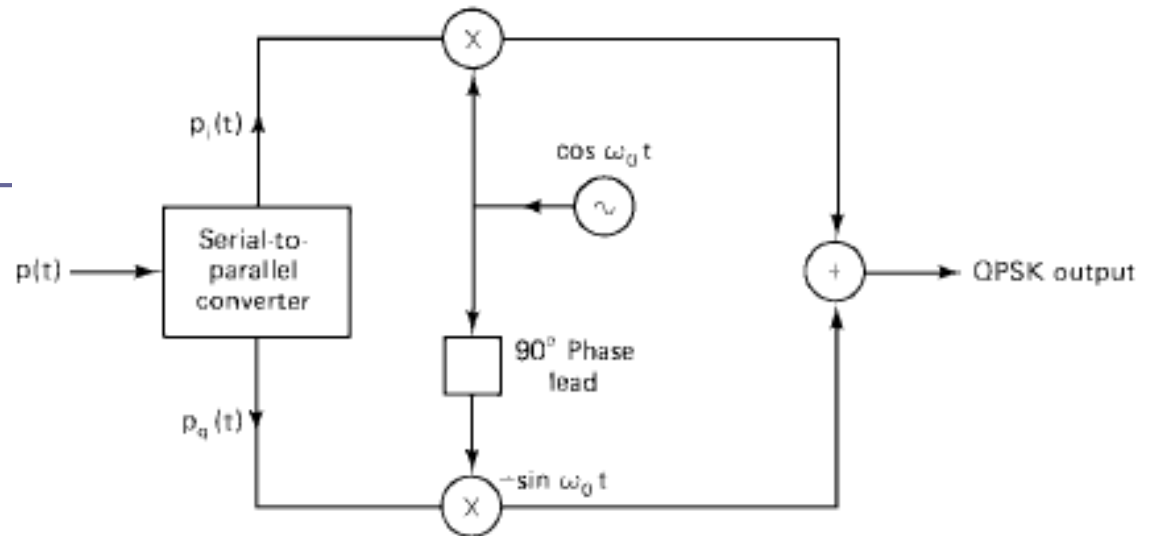


BIT TIMING RECOVERY



QPSK

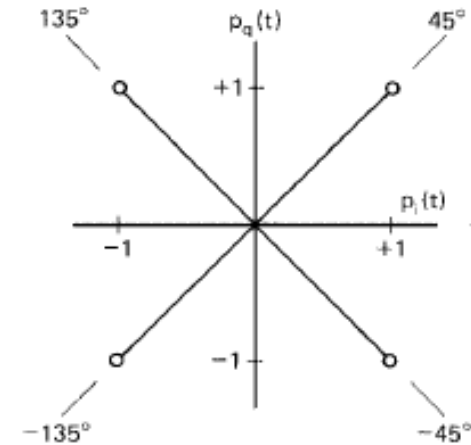
Modulator :



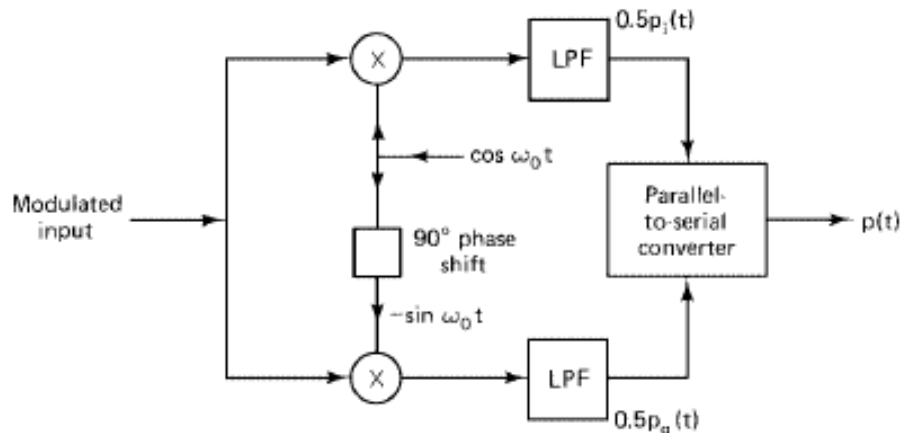
QPSK

Diagram Konstelasi :

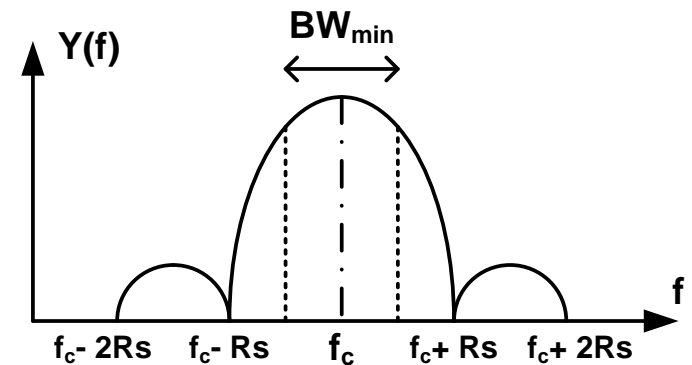
$p_i(t)$	$p_q(t)$	QPSK
1	1	$\cos \omega_0 t - \sin \omega_0 t = \sqrt{2} \cos (\omega_0 t + 45^\circ)$
1	-1	$\cos \omega_0 t + \sin \omega_0 t = \sqrt{2} \cos (\omega_0 t - 45^\circ)$
-1	1	$-\cos \omega_0 t - \sin \omega_0 t = \sqrt{2} \cos (\omega_0 t + 135^\circ)$
-1	-1	$-\cos \omega_0 t + \sin \omega_0 t = \sqrt{2} \cos (\omega_0 t - 135^\circ)$



Demodulator :

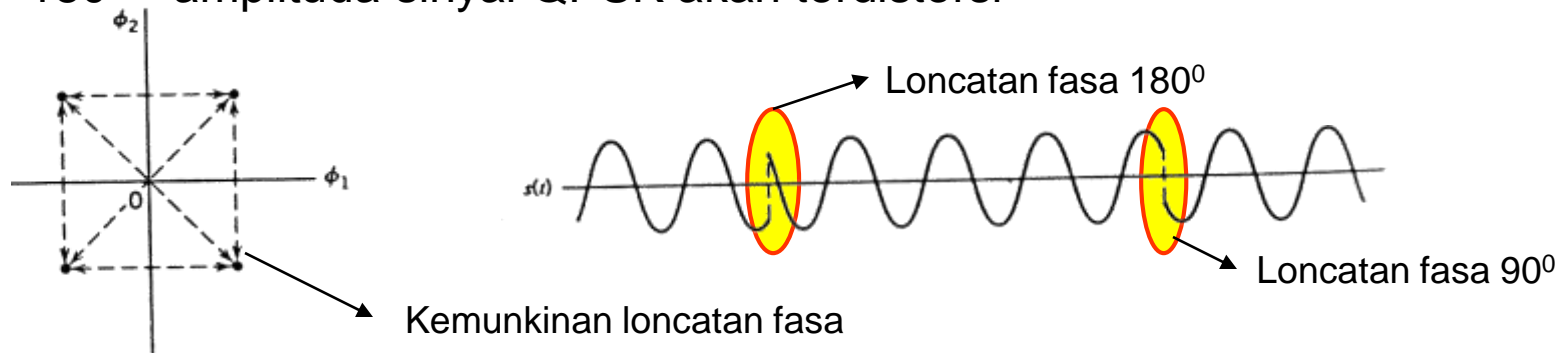


Spektrum frekuensi :

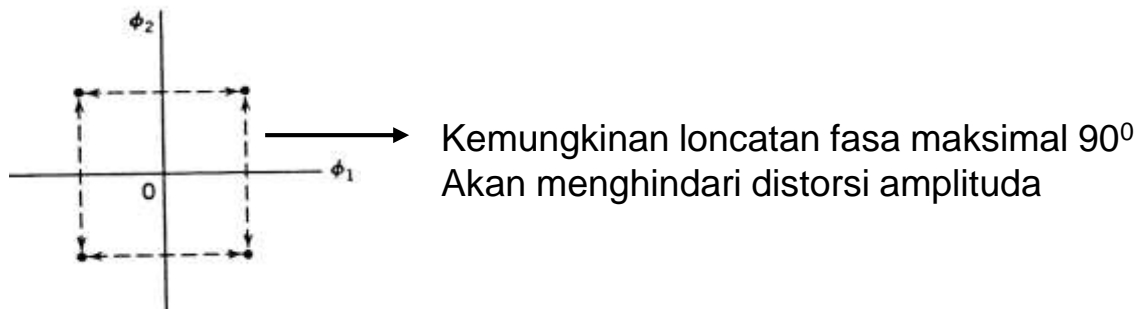


Offset QPSK

- Pada QPSK memungkinkan terjadinya loncatan fasa sinyal carrier sebesar 180° → amplituda sinyal QPSK akan terdistorsi



- Dengan Offset QPSK dapat menghindari loncatan fasa sebesar 180° → amplituda sinyal QPSK cenderung konstan

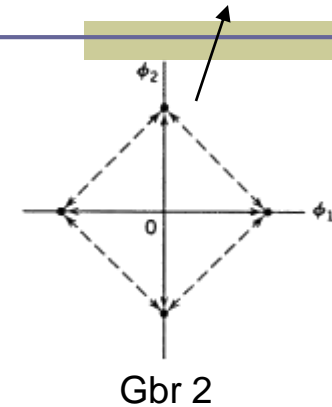
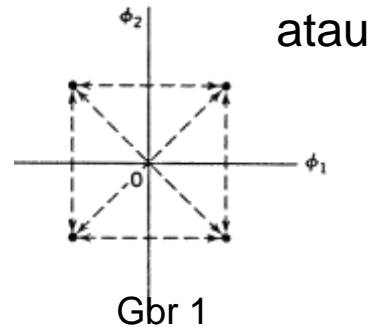


Offset QPSK

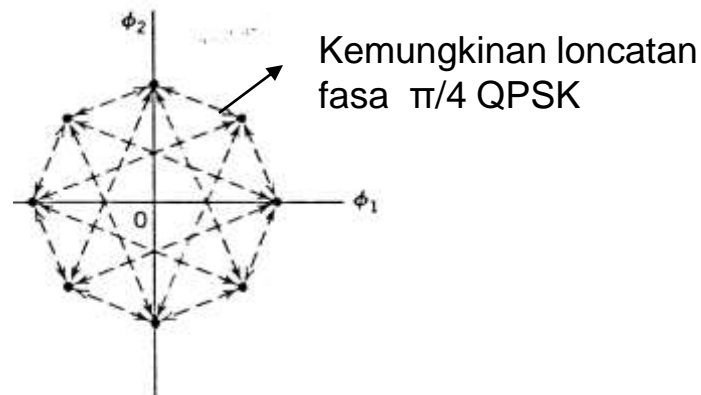
- Untuk mendapatkan sinyal offset QPSK maka pada pembangkitan di kanal quadratur bit yang masuk didelay (di offset) selama $0,5 T_b$ terhadap kanal inphase
- Sehingga variasi amplituda pada sinyal offset QPSK lebih kecil dibanding pada QPSK
- Performansi Offset QPSK=Performansi QPSK

$\pi/4$ QPSK

- Pada QPSK konvensional :



- Pada $\pi/4$ QPSK fasa sinyal carrier yang digunakan diambil dari 2 gambar konvensional diatas (gbr 1 dan gambar 2). Sehingga ada 8 kemungkinan fasa



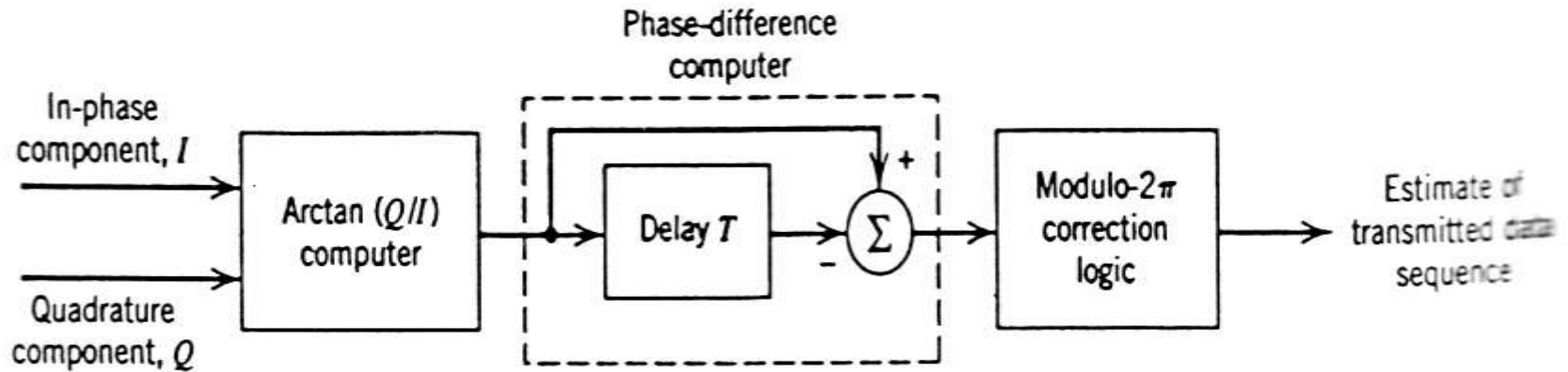
$\pi/4$ QPSK

Gray-Encoded Input Dibit	Phase Change, $\Delta\theta$ (radians)
00	$\pi/4$
01	$3\pi/4$
11	$-3\pi/4$
10	$-\pi/4$

Step k	Phase θ_{k-1} (radians)	Input Dibit	Phase Change $\Delta\theta_k$ (radians)	Transmitted Phase θ_k (radians)
1	$\pi/4$	00	$\pi/4$	$\pi/2$
2	$\pi/2$	10	$-\pi/4$	$\pi/4$
3	$\pi/4$	10	$-\pi/4$	0
4	0	01	$3\pi/4$	$3\pi/4$

- Perubahan fasa dari simbol satu ke simbol lain identik dengan $\pm\pi/4$ dan $\pm 3\pi/4$. Perubahan tsb analogi dengan $\pm\pi/2$ dan $\pm\pi$ pada QPSK konvensional, sehingga variasi amplituda pada $\pi/4$ QPSK dapat direduksi
- Pada $\pi/4$ QPSK dapat dideteksi dengan metoda non koheren sehingga implementasi detektor lebih sederhana

Deteksi $\pi/4$ QPSK



- Arctangent computer : mengekstrak fasa θ dari sinyal yang diterima
- Phase difference computer : menghitung perubahan fasa θ selama 1 interval simbol
- Modulo- 2π correction logic : mengkoreksi kesalahan fasa berdasarkan kemungkinan pada sumbu real

Modulasi Digital

Efisiensi spektral

- BPSK : $R_b/BW = 1/(1 + \rho)$ (bps/hz) ; ρ = roll of factor filter
- QPSK : $R_b/BW = 2/(1+\rho)$ (bps/hz)
- M-PSK : $R_b/BW = 2 \log M / (1+\rho)$ (bps/hz)

- PERFORMANSI BPSK :

$$P_e = BER = \frac{1}{2} \operatorname{erfc} \left(\sqrt{\frac{E_b}{N_0}} \right) = Q \left(\sqrt{\frac{2E_b}{N_0}} \right)$$

- PERFORMANSI QPSK :

$$BER = \frac{1}{2} \operatorname{erfc} \left(\sqrt{\frac{E_b}{N_0}} \right) = Q \left(\sqrt{\frac{2E_b}{N_0}} \right)$$

The roll-off factor, ρ , is a measure of the *excess bandwidth* of the filter

$$P_e = SER = \operatorname{erfc} \left(\sqrt{\frac{E_b}{N_0}} \right) = 2Q \sqrt{\frac{2E_b}{N_0}}$$

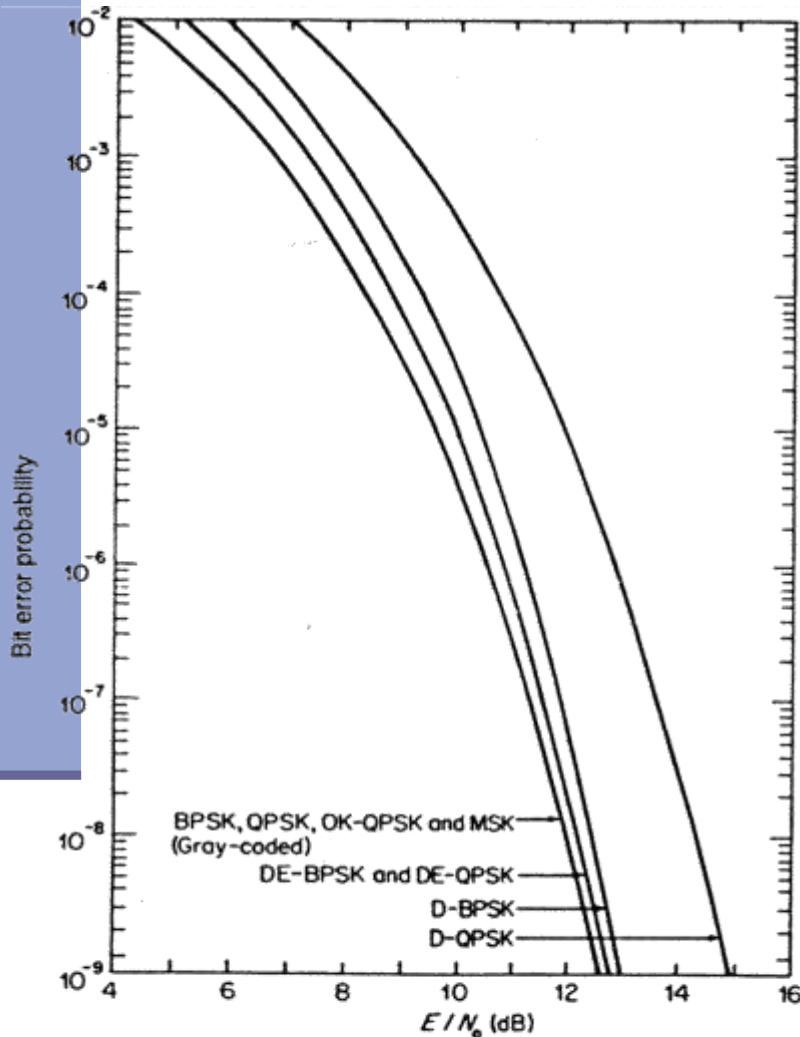
Formula Perbandingan Kinerja

Table 4.4 Expressions for bit error probabilities (BEP)

Type of modulation—demodulation	Bit error probability
Coherent demodulation:	
Direct encoding:	
BPSK	$(1/2) \operatorname{erfc}\sqrt{(E_c/N_0)}$
QPSK	$(1/2) \operatorname{erfc}\sqrt{(E_c/N_0)}$
Differential encoding:	
DE-BPSK	$\operatorname{erfc}\sqrt{(E_c/N_0)}$
DE-QPSK	$\operatorname{erfc}\sqrt{(E_c/N_0)}$
Differential demodulation: (Differential encoding only)	
D-BPSK	$(1/2) \exp(-E_c/N_0)$

Note: a convenient approximation for $\operatorname{erfc}\sqrt{(E_c/N_0)}$ is $(1/\sqrt{\pi}) \frac{\exp(-E_c/N_0)}{\sqrt{(E_c/N_0)}}$, when $\frac{E_c}{N_0} \geq 4$ (= 6 dB)

Grafik BER VS Eb/No Untuk berbagai modulasi



E = energy per bit $E = E_b$ if no coding
 $E = E_c$ if coding
 N_0 = one-sided noise spectral density (W/Hz)

Table 4.5 Theoretical values of E_c/N_0 to achieve a given bit error probability (E_c = energy per transmitted bit, N_0 = noise spectral density). Δ = difference in E_c/N_0 relative to B-PSK and Q-PSK

BEP	BPSK QPSK	DE-BPSK (Δ) DE-QPSK	D-BPSK (Δ)	D-QPSK (Δ)
10^{-3}	6.8 dB	7.4 dB (0.6 dB)	7.9 dB (1.1 dB)	9.2 dB (2.4 dB)
10^{-4}	8.4 dB	8.8 dB (0.4 dB)	9.3 dB (0.9 dB)	10.7 dB (2.3 dB)
10^{-5}	9.6 dB	9.9 dB (0.3 dB)	10.3 dB (0.7 dB)	11.9 dB (2.3 dB)
10^{-6}	10.5 dB	10.8 dB (0.3 dB)	11.2 dB (0.7 dB)	12.8 dB (2.3 dB)
10^{-7}	11.3 dB	11.5 dB (0.2 dB)	11.9 dB (0.6 dB)	13.6 dB (2.3 dB)
10^{-8}	12.0 dB	12.2 dB (0.2 dB)	12.5 dB (0.5 dB)	14.3 dB (2.3 dB)
10^{-9}	12.6 dB	12.8 dB (0.2 dB)	13.0 dB (0.4 dB)	14.9 dB (2.3 dB)

Bandwidth dibutuhkan :

$$B = \left(\frac{1 + \alpha}{T_S} \right);$$

Efisiensi Spektral :

$$\Gamma = \frac{R_C}{B} = \frac{R_C T_S}{(1 + \alpha)} = \frac{m}{(1 + \alpha)} = \frac{\log_2 M}{(1 + \alpha)}$$

α : Roll off factor

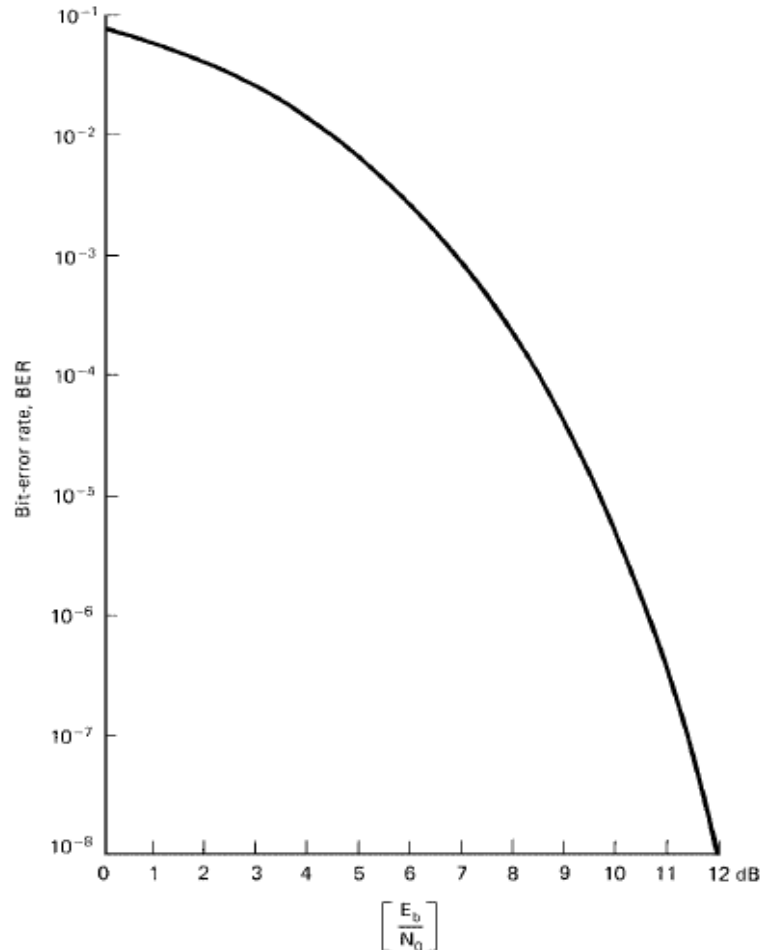
T_S : Symbol duration

M : M-ary

m : Jumlah bit tiap simbol

MODULASI DIGITAL

BER VS E_b/N_0 pada BPSK dan QPSK :



$$\begin{aligned} \text{erfc}(x) &= 1 - \text{erf}(x) \\ \text{erfc}(x) &= 2Q(x\sqrt{2}) \end{aligned}$$

M- PSK

$$\text{BER} = P_b = \frac{1}{k} \text{erfc} \left[\sqrt{\frac{k E_b}{N_0}} \sin\left(\frac{\pi}{M}\right) \right]$$

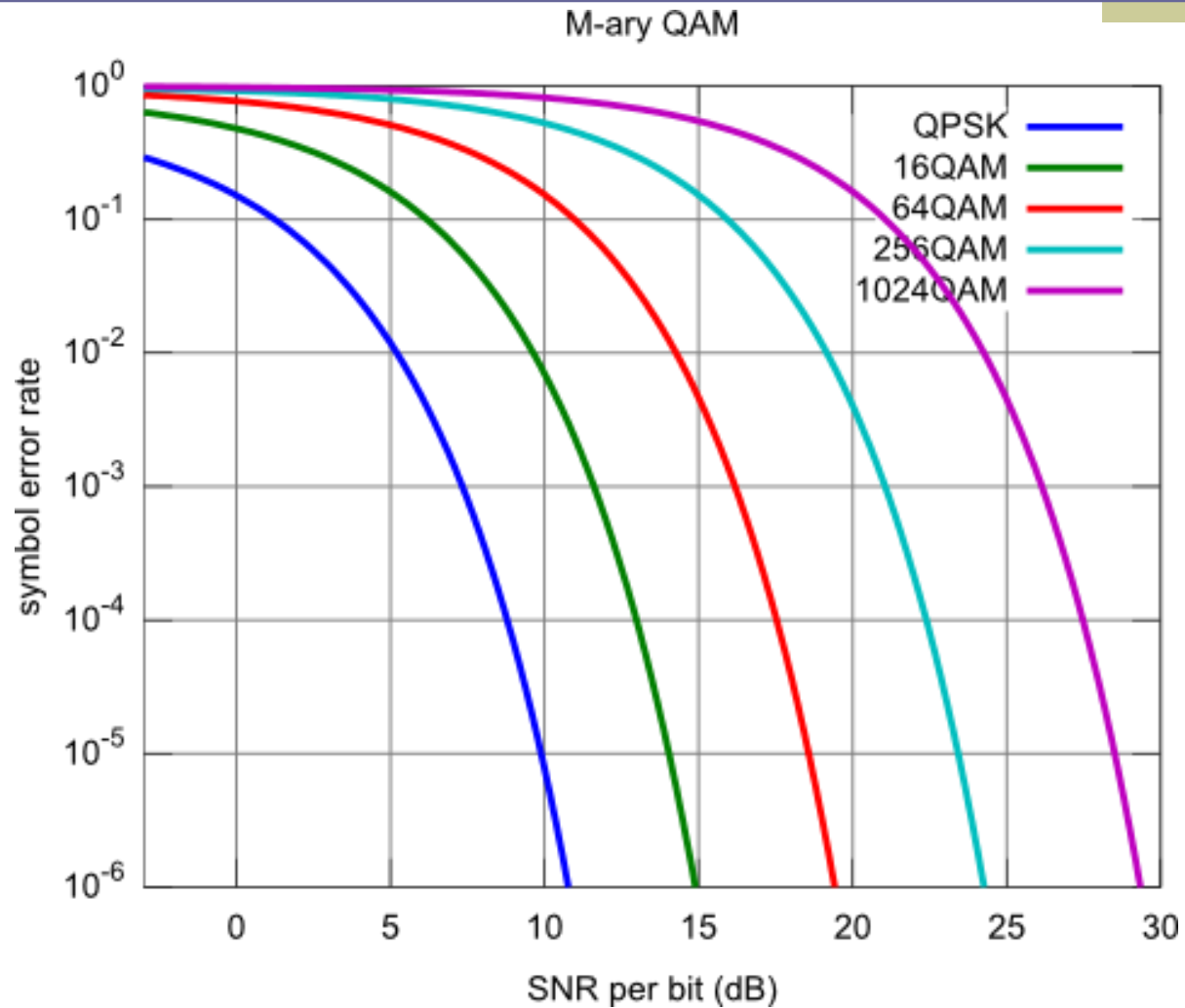
$$k = \log_2(M)$$

16 -QAM

$$\text{SER} = P_{s,16QAM} = \frac{3}{2} \text{erfc} \left(\sqrt{\frac{E_s}{10 N_0}} \right)$$

$$\text{BER} = P_{b,16QAM} = \frac{3}{2k} \text{erfc} \left(\sqrt{\frac{k E_b}{10 N_0}} \right)$$

$$k = \log_2(16) = 4$$



Contoh Soal

- Daya terima rata – rata pada pengiriman binary polar menggunakan modulasi BPSK adalah 10 mW. Perioda bit adalah 100 μ s jika rapat spektral noise = 0,1 μ Joule, hitung BER !

Solusi :

$$P_R = 10^{-2} \text{ watt} ; T_b = 10^{-4} \text{ s} ; N_o = 10^{-7} \text{ Joule}$$

$$E_b = P_R \cdot T_b \text{ maka BER} = 0,5 (1 - \text{erf} [(E_b / N_o)^{0,5}]) = 3,9 \cdot 10^{-6}$$

- Suatu link satelit digital menggunakan BPSK dioperasikan pada BER maks = 10^{-5} , margin implementasi = 2 dB. Hitung E_b/N_o !

Solusi :

Dari grafik : BER = 10^{-5} \rightarrow E_b/N_o = 9,6 dB (tanpa margin implementasi)

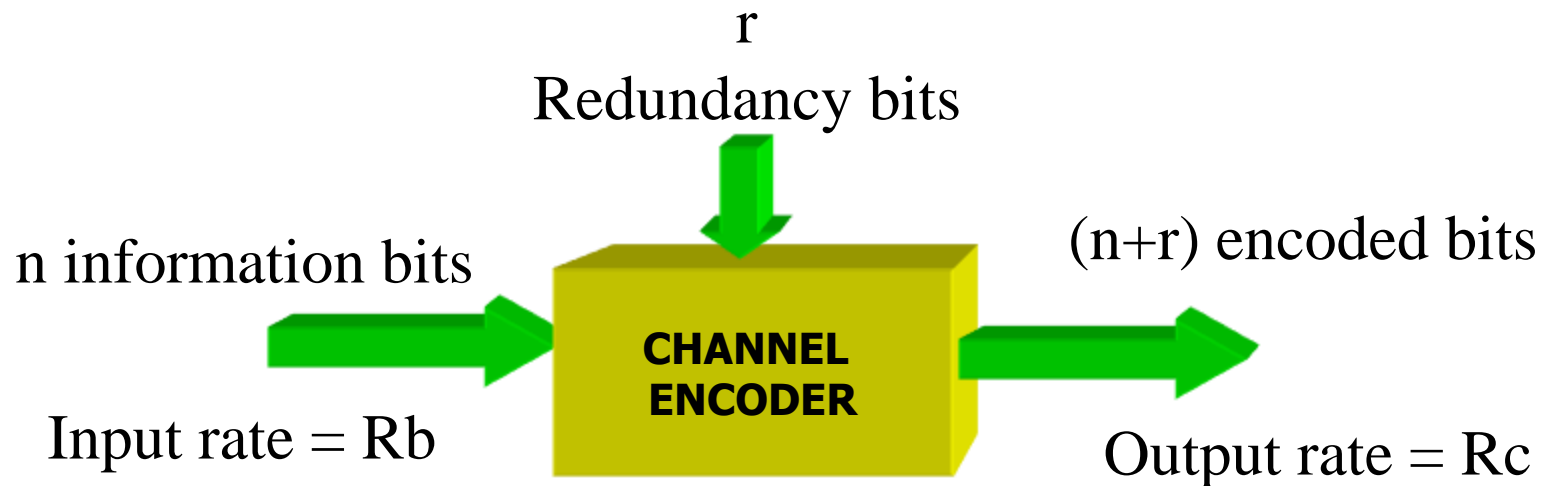
Dengan margin implementasi : E_b/N_o = 9,6 + 2 = 11,6 dB

CHANNEL ENCODER/PENGGKODE KANAL

- Prinsip : Menambahkan bit - bit redundancy terhadap bit - bit data yang berfungsi untuk melindungi bit-bit data agar lebih kuat terhadap gangguan (noise) dikanal transmisi
- Akibat : Performansi akan lebih baik tetapi akan menambah bandwidth transmisi
- Contoh : Convolutional Encoding, Block Encoding

CHANNEL ENCODER

■ Proses Channel Encoding



Code rate = Laju pengkodean $\rho = n/(n+r)$

$$R_c = R_b / \rho$$

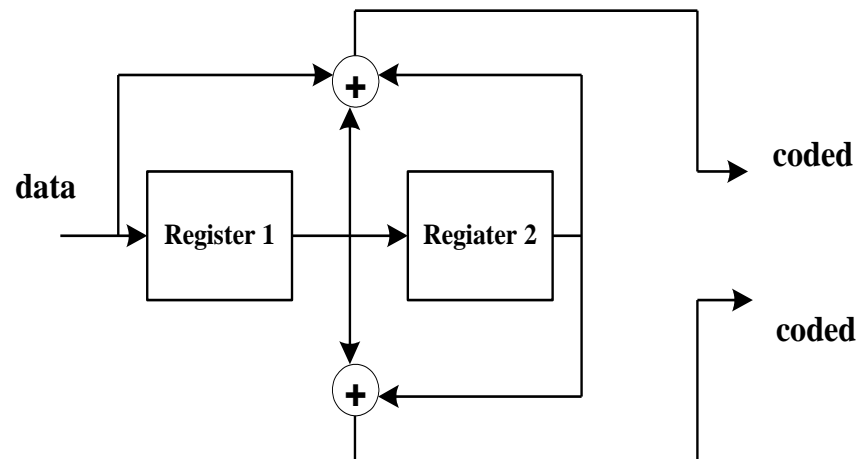
Jika code rate $\rho = 1/2$ maka dengan $R_b = 4,8$ kbps akan menghasilkan $R_c = 9,6$ kbps

CHANNEL ENCODER

- Block Encoding : Digunakan pada kondisi kanal yang terkena fading karena error yang terjadi bersifat burst (error yang berurutan)
 - Contoh : Reed Solomon (RS) Block Codes dapat digunakan untuk mengatasi burst error
- Convolutional Encoding : Digunakan pada kondisi propagasi yang stabil dan noise gaussian karena error yang terjadi bersifat random
- Pada siskomsat digunakan : Convolutional Encoding

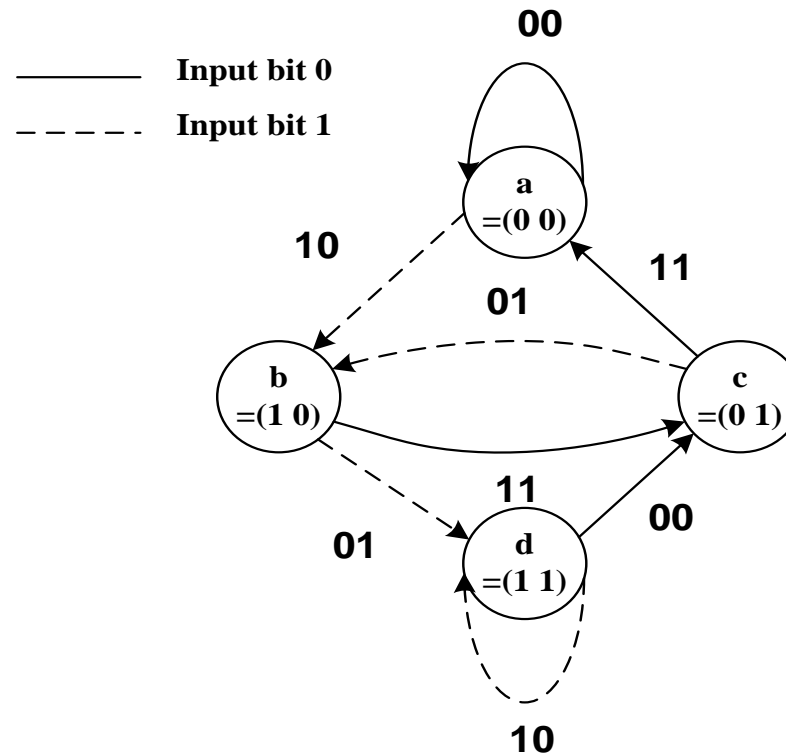
Convolutional Code

- Dinyatakan dalam 3 nilai integer :
 - k = jumlah bit yang akan dilewatkan kedalam *shift register*
 - n = jumlah Bit output *decoder*
 - K = *Constrain length*, yaitu jumlah *register* (memori)+1 $k/n = \mu = \text{code rate} = \text{laju pengkodean}$
- Contoh blok encoder dengan code rate = $\frac{1}{2}$ sbb :



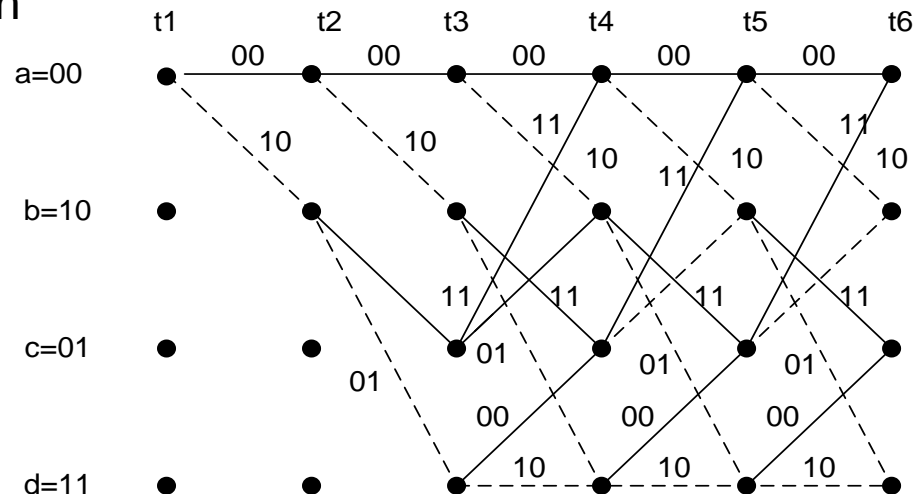
Convolutional Code

- Untuk menghasilkan bit terkode (*coded*) dari shift register dapat dilakukan dengan menggunakan diagram state :



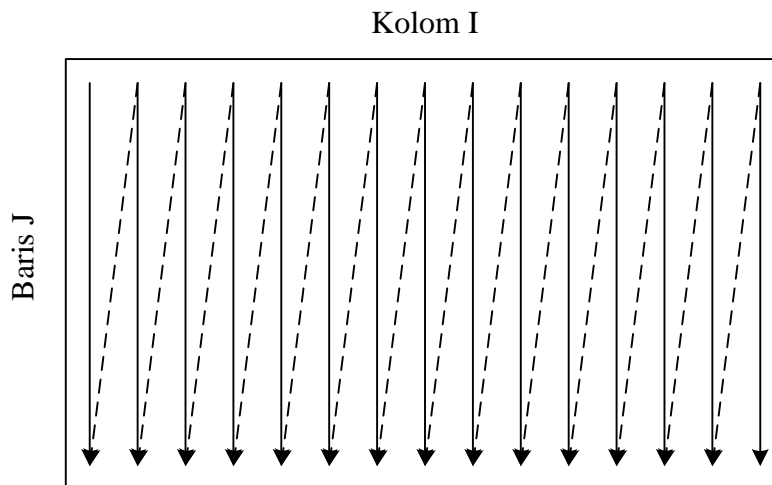
Convolutional Code

Proses decoder menggunakan algoritma viterbi. Prinsip dasar dari algoritma viterbi adalah metode maximum likelihood dengan pengetahuan akan diagram trellis. Pada dasarnya Algoritma ini membandingkan bit diterima pada waktu $t = t_1$ dengan seluruh path pada waktu yang sama. Pada waktu $t = t_1$ tersebut akan dibandingkan nilai korelasi maksimumnya (best metric) atau nilai minimum distance dan path yang dipilih disebut the surviving path



Interleaving

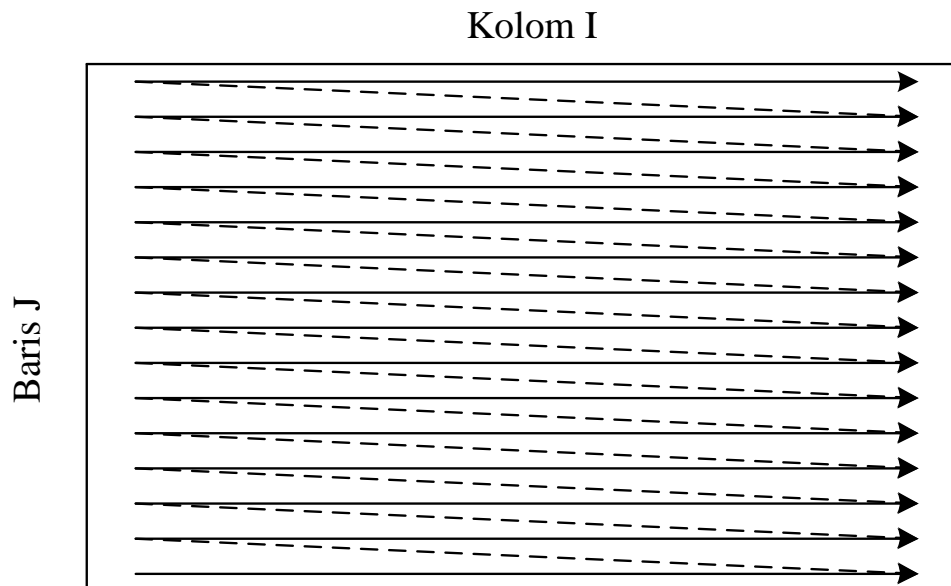
Kondisi kanal dapat mengakibatkan kesalahan berurutan (burst error), untuk mengatasi burst errors dapat dilakukan interleave data dengan pola tertentu sehingga kanal bursty diubah kekanal yang memiliki *errors* yang saling bebas atau disebar dan tidak menumpuk melainkan random. Pada Interleaver deretan bit informasi yang masuk blok interleaver, bentuk baris dibaca dalam bentuk kolom.



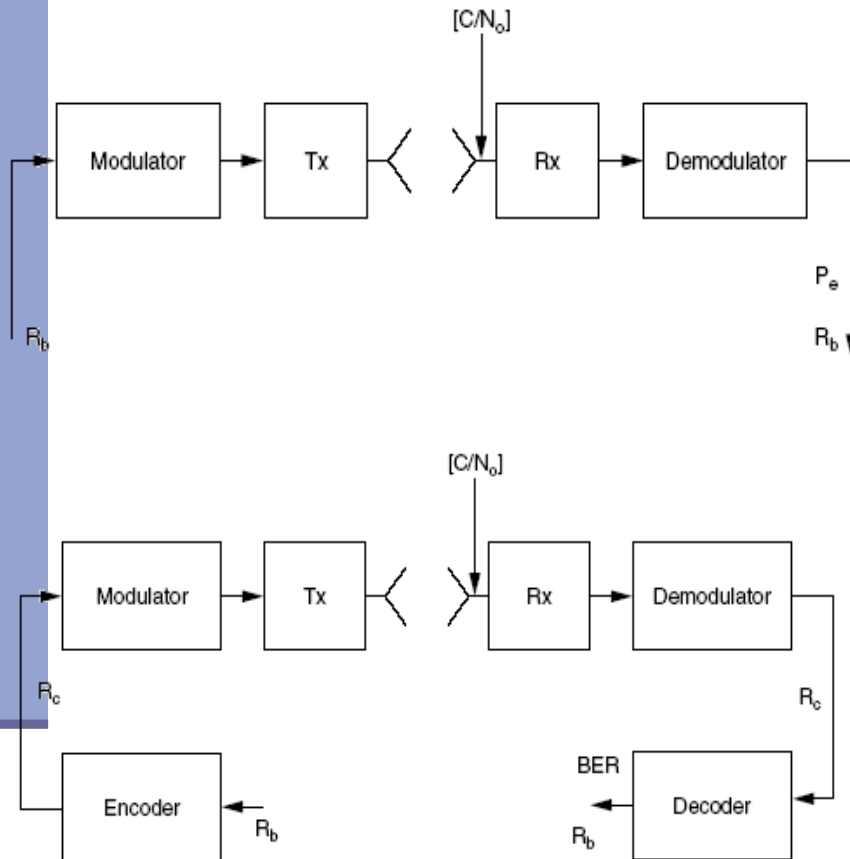
Misal interleaver yang digunakan 24 kolom dan 16 baris maka keluaran Interleaver akan menghasilkan 384 bit

Deinterleaving

- Pada Deinterleaver terjadi proses kebalikan dari interleaver, deretan bit informasi yang masuk blok interleaver, bentuk kolom dibaca dalam bentuk baris.



Pengaruh Penggunaan Channel Encoder



- Untuk skema BPSK tanpa pengkodean pada AWGN :

$$P_{eU} = BER = \frac{1}{2} \operatorname{erfc} \left(\sqrt{\frac{E_b}{N_0}} \right)$$

- Menggunakan pengkodean :

$$P_{eC} = BER = \frac{1}{2} \operatorname{erfc} \left(\sqrt{\frac{\mu E_b}{N_0}} \right)$$

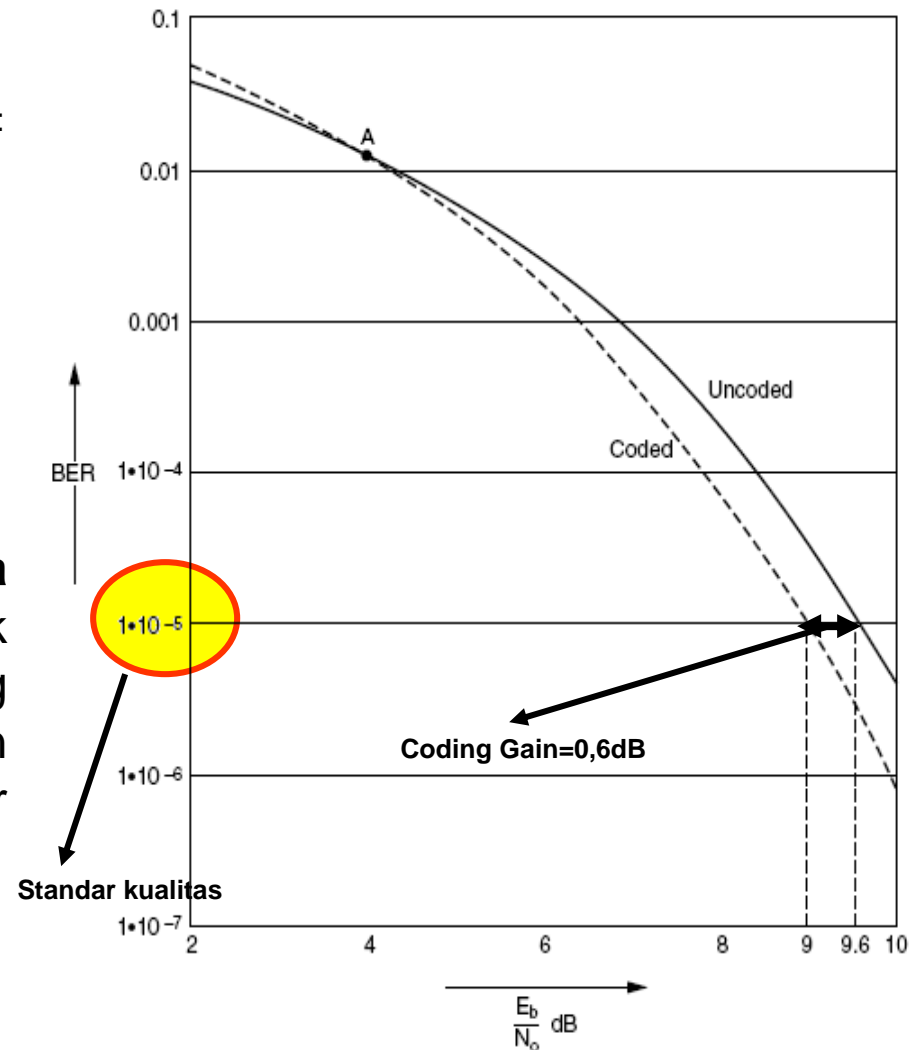
- **Pada daya pancar dan laju data yang sama** pada skema menggunakan pengkodean akan menghasilkan P_e yang lebih kecil

Pengaruh Penggunaan Channel Encoder

- Penggunaan Hamming Code (7,4)
 - Untuk mencapai $BER = 10^{-5}$:
 - E_b/N_o _{uncoded} = 9,6 dB
 - E_b/N_o _{coded} = 9 dB

- $E_b = P_R \times T_b$ maka :
 $E_b / N_o = (C/N_o) / R_b$

- Pada laju data dan skema modulasi yang sama, untuk mencapai standar kualitas yang sama maka skema pengkodean akan menghemat daya sebesar **Coding Gain**



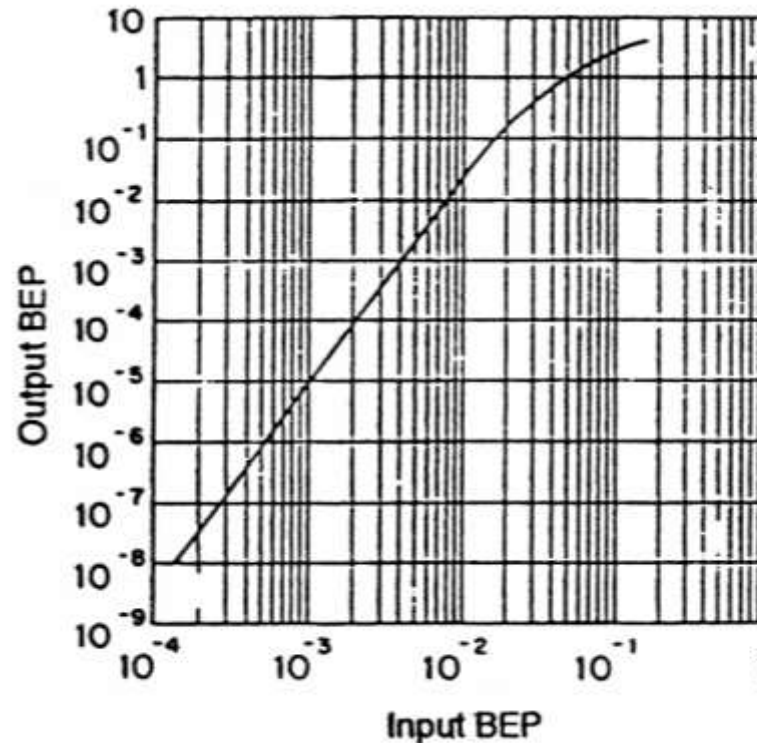
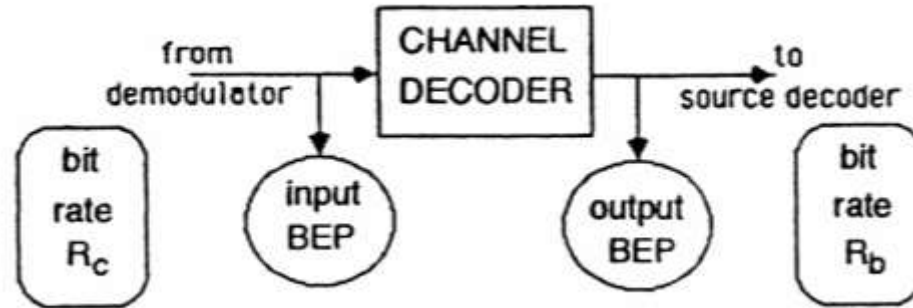
Pengaruh Penggunaan Channel Encoder

- Pengaruh laju pengkodean

Table 4.6 Typical values of decoding gain

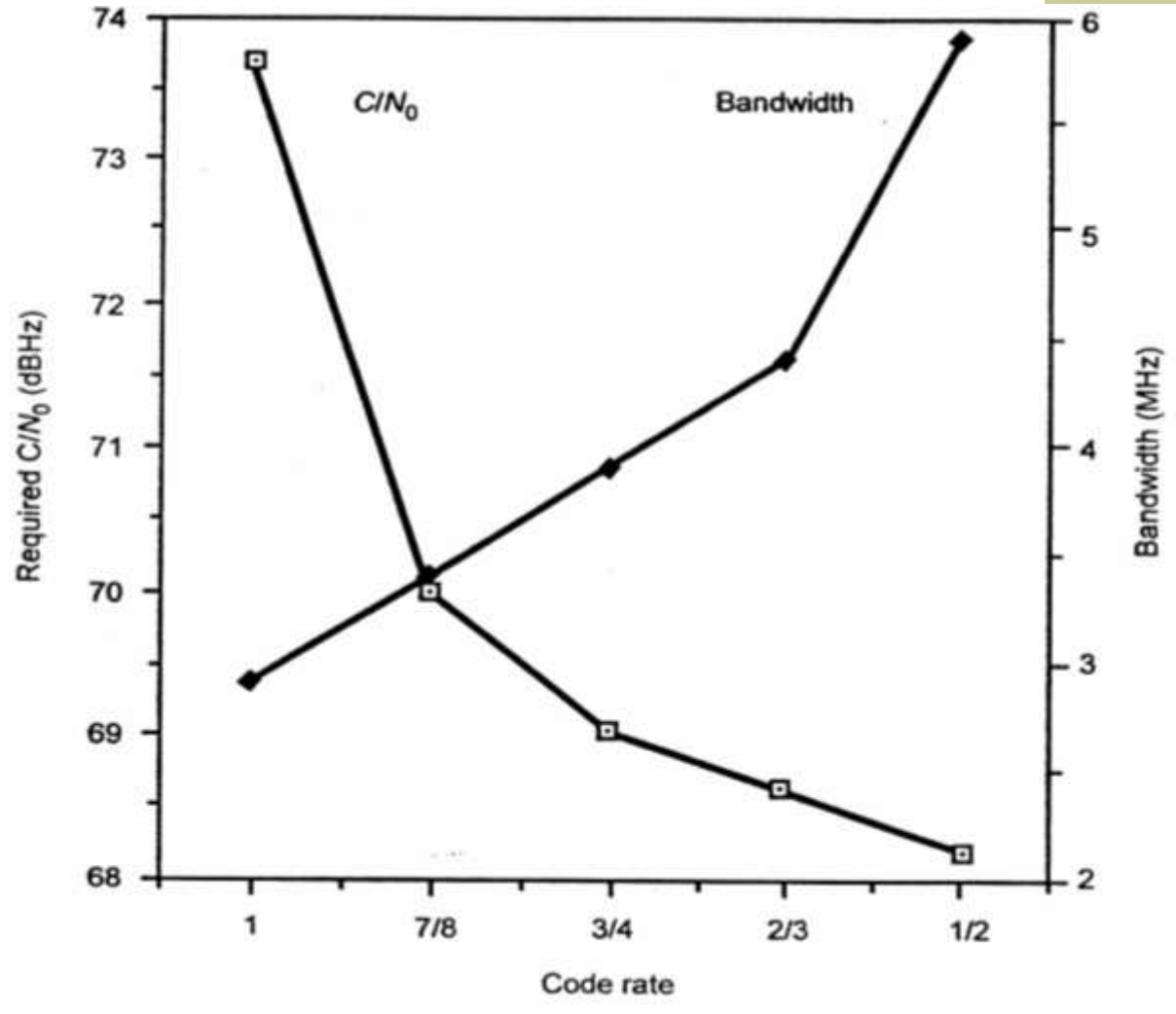
Code rate ρ	E_b/N_0 required for $\text{BEP} = 10^{-6}$	Decoding gain
1	10.5 dB	0 dB
7/8	6.9 dB	3.6 dB
3/4	5.9 dB	4.6 dB
2/3	5.5 dB	5.0 dB
1/2	5.0 dB	5.5 dB

Pengaruh Penggunaan Channel Encoder

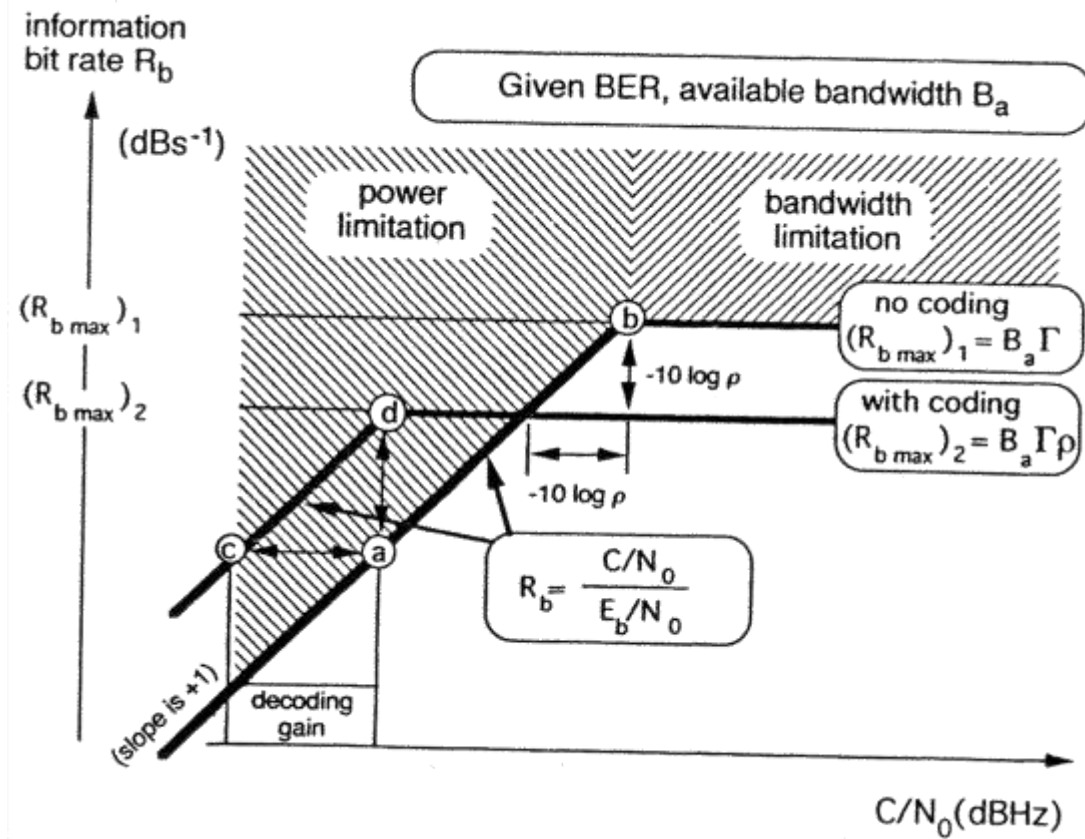


BEP = Bit Error Probability

Pengaruh Penggunaan Channel Encoder



Pengaruh Penggunaan Channel Encoder



Laju info sbg fungsi C/N_0 pada BER tetap

Pengaruh Penggunaan Channel Encoder

- Pengaruh penggunaan Channel Encoder pada bandwidth transmisi :
 - Dengan menggunakan skema pengkodean akan menambah bandwidth transmisi
 - Contoh : $T_1 = 1,544$ Mbps maka :
 $BW_{\text{BPSK Uncoded}} = R_b = 1,544$ Mbps pada roll of factor filter = 0 ($\alpha=0$)
 $BW_{\text{BPSK coded}} = R_b \times (1/\rho) = 3,088$ Mbps jika code rate (ρ) = $1/2$

Contoh Soal dan Latihan

- Pada hubungan down link dengan laju data = 61 Mbps, dipersyaratkan E_b/N_o di stasiun bumi = 9,5 dB. Hitung C/No stasiun bumi yang dipersyaratkan !

Solusi :

$$E_b / N_o = (C/N_o) / R_b \text{ atau } C/N_o = E_b/N_o + R_b \rightarrow \text{dalam dB}$$

$$\text{Maka : } R_b = 10 \log (61 \cdot 10^6) = 77,85 \text{ dBbps}$$

$$C/N_o = 9,5 + 77,85 = 87,35 \text{ dBHz}$$

- **Latihan :**

Jika dipersyaratkan pada hubungan downlink BER maks = 10^{-4} pada laju data 50 Mbps, Hitung C/No (Sensitivitas) penerima stasiun bumi jika menggunakan skema modulasi BPSK :

- Tanpa pengkodean
- Hamming code (7,4) \rightarrow code rate = 4/7

Referensi

- Satellite Communications System ; G Maral, M Bousquet ; Wiley – 2002
- Satellite Communications ; Dennis Roddy ; Wiley - 2001