

# TEE 843 – Sistem Telekomunikasi

---

## 7. Modulasi



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

**Jurusan Teknik Elektro FT-Unimal  
Lhokseumawe, 2016**



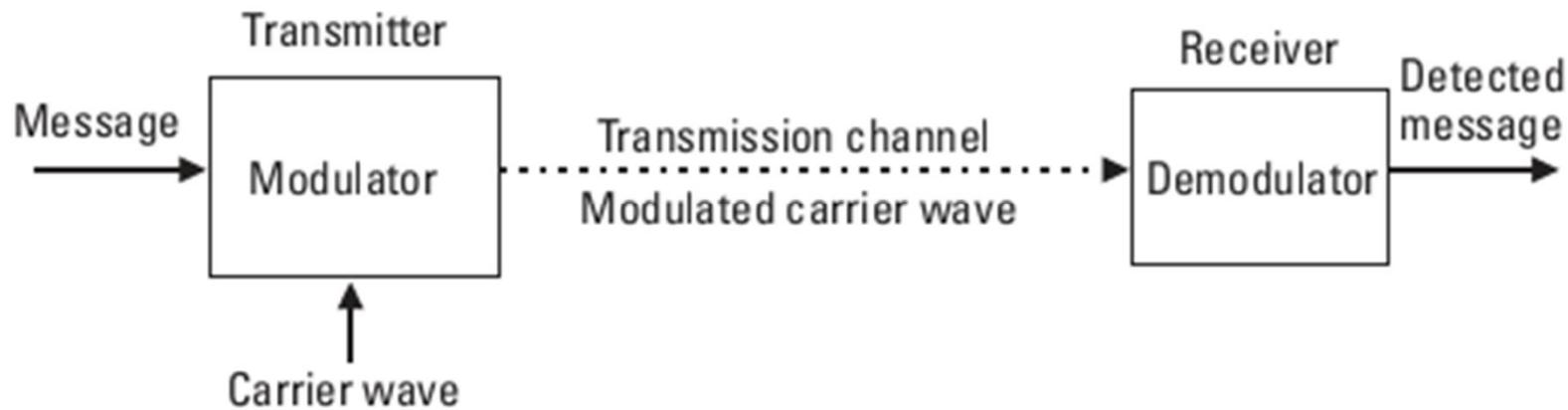
# Modulasi

---

- **Prinsip Dasar Modulasi**
  - Modulasi Gelombang Kontinu
    - Modulasi Analog
    - Modulasi Digital
  - Modulasi Pulsa
  - Perlunya Modulasi

# Prinsip Dasar Modulasi

---



- **Modulasi (*modulation*)** adalah proses menumpangkan informasi (*information/message*) pada suatu gelombang pembawa (*carrier wave*).
- Penumpangan ini dilakukan dgn **mengubah-ubah parameter dari gelombang pembawa** secara proporsional/sesuai dgn sinyal informasi.



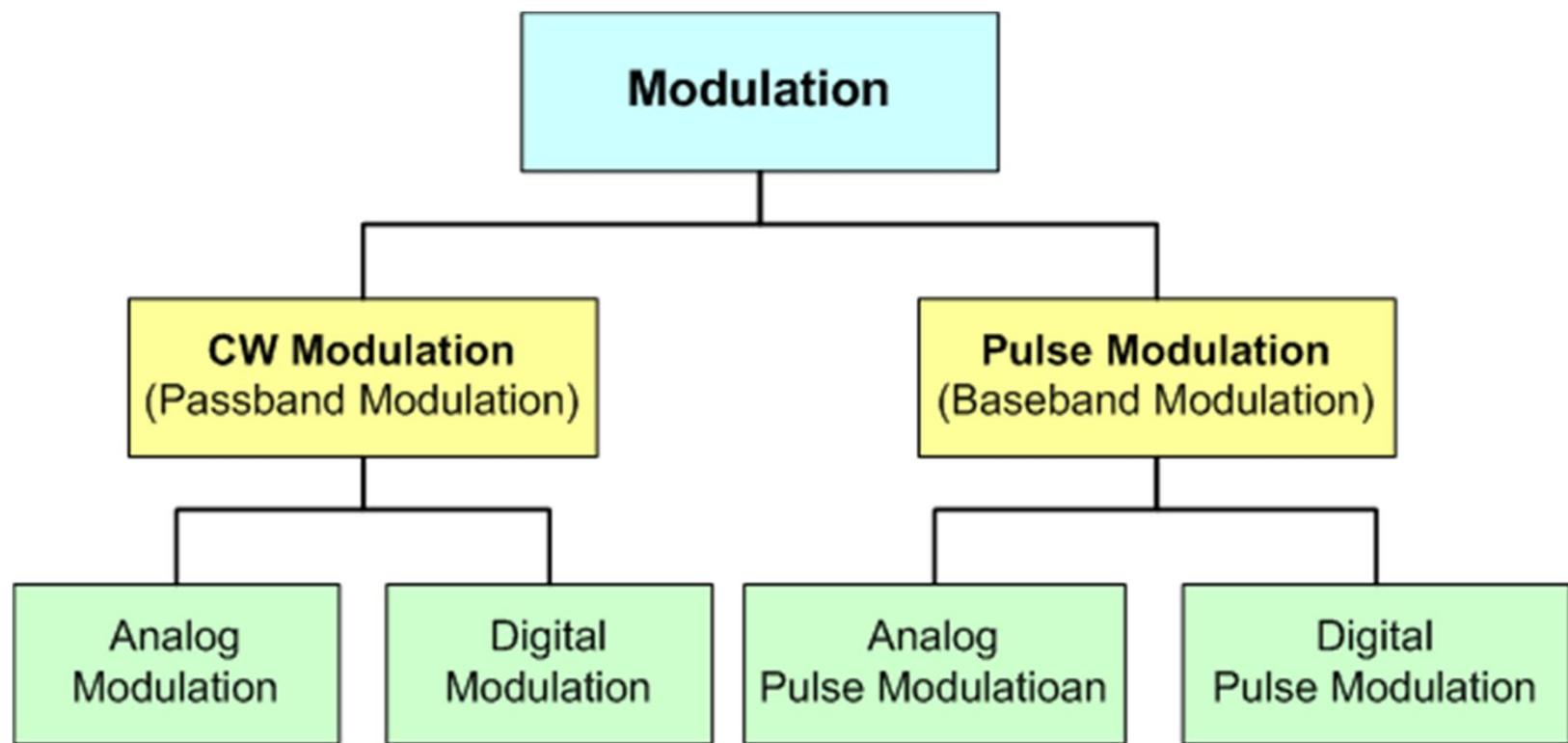
# Prinsip Dasar Modulasi (lanjutan)

---

- Parameter yg dpt diubah adalah:
  - amplituda (*amplitude*)
  - frekuensi (*frequency*)
  - fase (*phase*)
- Modulasi dilakukan pada **pengirim**, alatnya disebut **modulator**.
- Sebaliknya, pada **penerima** dilakukan **demodulasi** (*demodulation*) yaitu mengambil kembali informasi dari gelombang termodulasi, alatnya disebut **demodulator**.
- Demodulasi disebut juga **deteksi** (*detection*).
- Pada transmisi duplex, gabungan **modulator-demodulator** biasa disingkat **modem**.

# Klasifikasi Modulasi

---





# Modulasi

---

- Pengertian Modulasi
- **Modulasi Gelombang Kontinu**
  - Modulasi Analog
  - Modulasi Digital
- Modulasi Pulsa
- Perlunya Modulasi



# Modulasi Gelombang Kontinu (*CW Modulation*)

---

- Modulasi gelombang kontinu (*continuous wave modulation*), biasa disingkat *CW Modulation*, adalah modulasi yang menggunakan gelombang kontinu sinusoidal sebagai gelombang pembawa (*carrier*).
- *CW modulation* utamanya digunakan pada transmisi radio, namun juga dapat dipakai pada transmisi via kabel seperti kabel coaxial.
- Dalam hal ini (misalnya pada transmisi radio), kita harus mentransfer spektrum dari informasi ke dalam pita frekuensi radio, utk ditransmisikan.
- Tujuan utama dari modulasi gelombang kontinu adlh untuk membangkitkan gelombang termodulasi yg sesuai dgn karakteristik suatu kanal transmisi.

# Review Parameter Dasar

---

- Amplituda (*Amplitude*),  $A$
- Frekuensi (*Frequency*),  $f$  atau  $\omega$
- Fase (*Phase*),  $\phi$

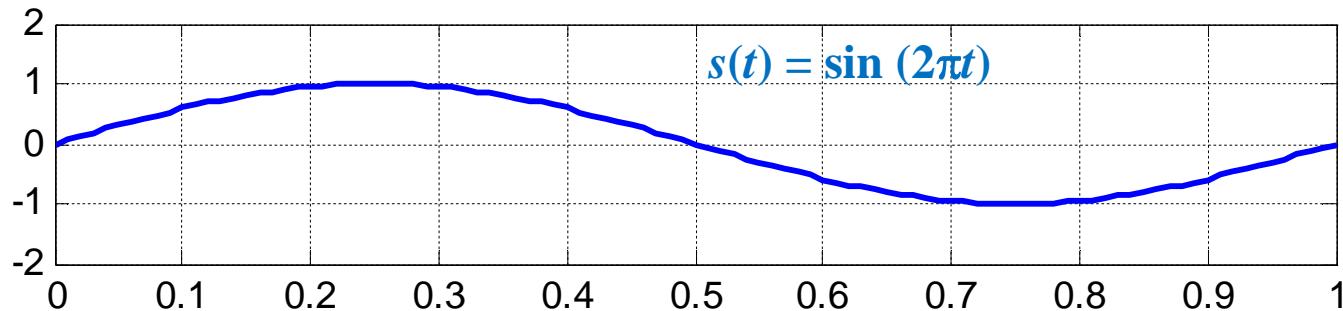
Contoh-contoh sinyal sinusoidal berikut ini menggunakan persamaan umum:

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

# Amplitud (Amplitude)

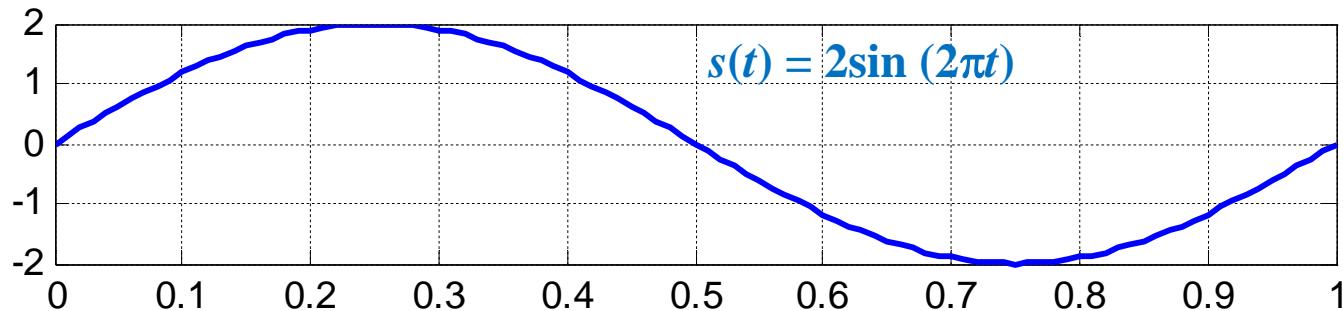
---

$A = 1$



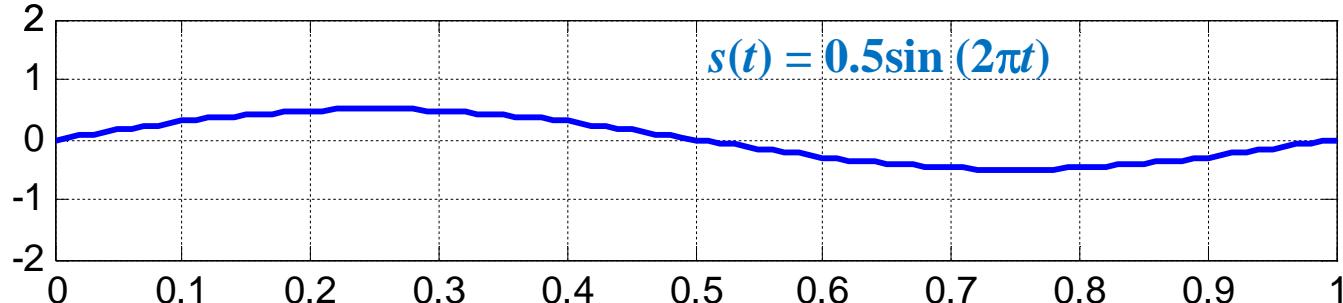
$$s(t) = \sin(2\pi t)$$

$A = 2$



$$s(t) = 2\sin(2\pi t)$$

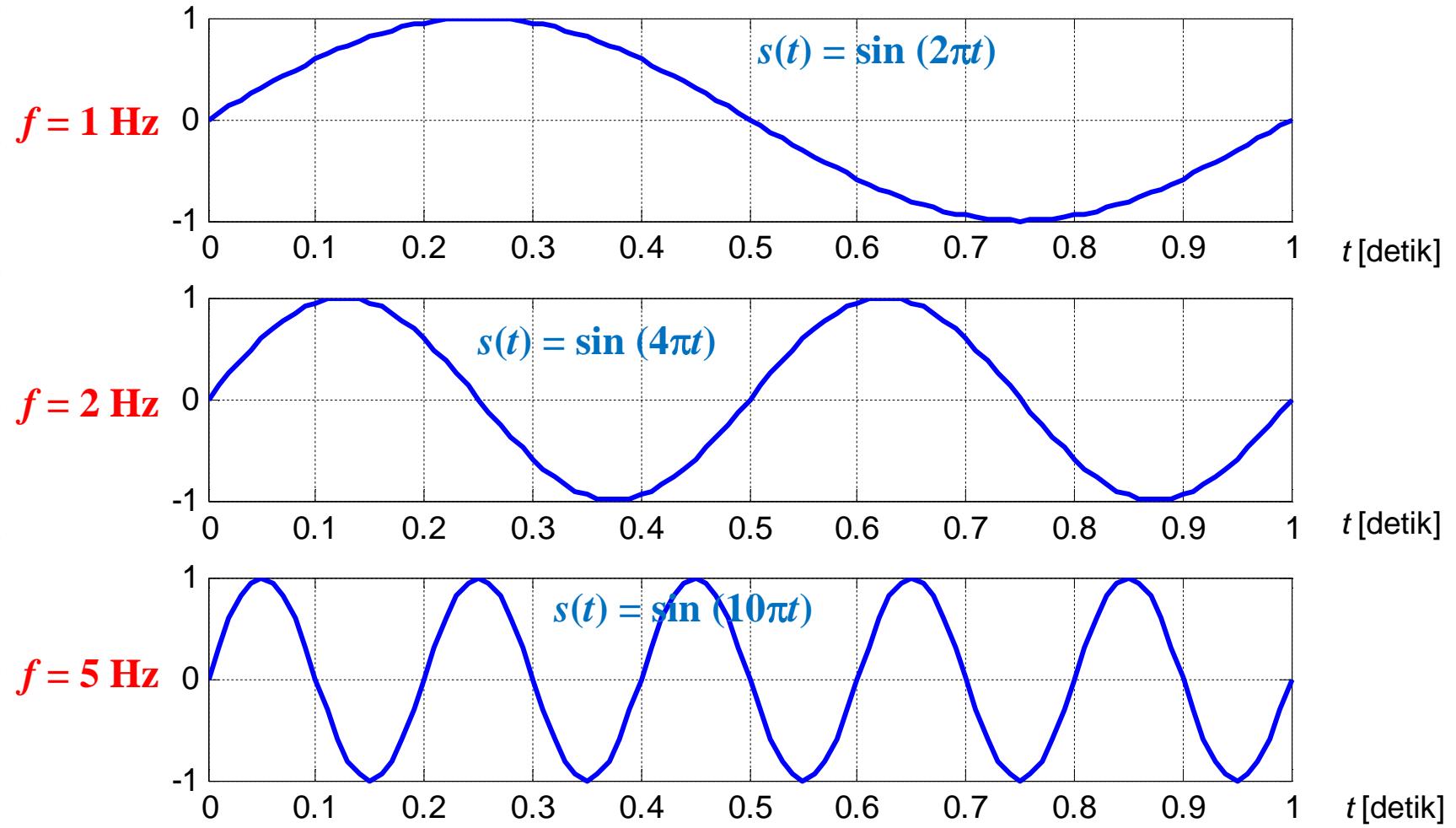
$A = 0,5$



$$s(t) = 0.5\sin(2\pi t)$$

# Frekuensi (*Frequency*)

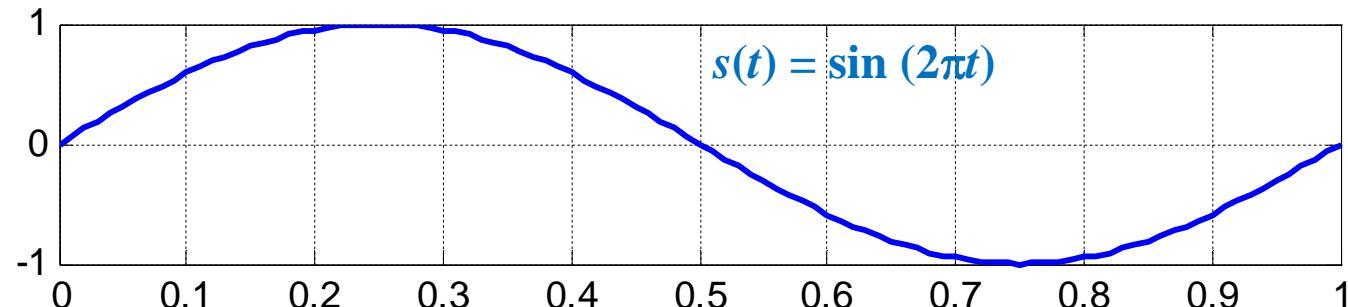
---



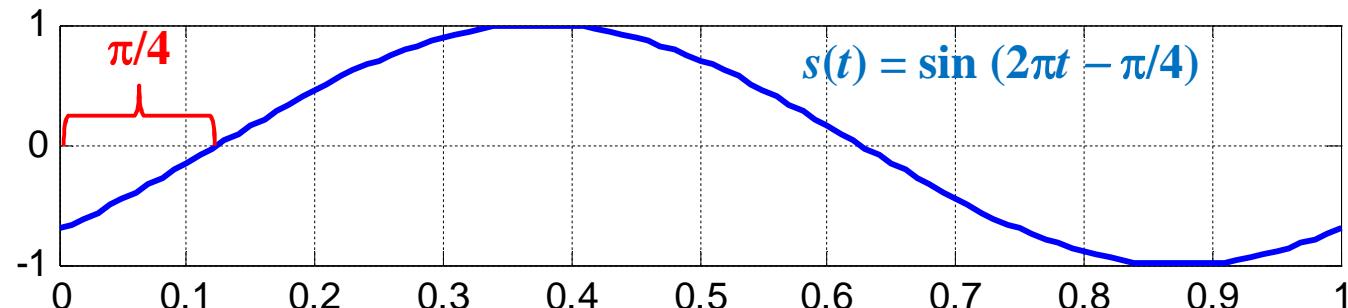
# Fase (Phase)

---

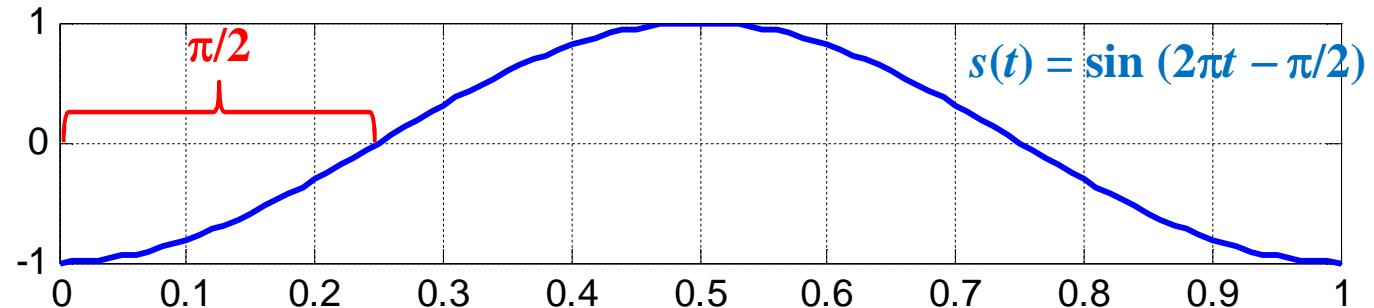
$\phi = 0$  radian  
 $= 0^\circ$



$\phi = -\pi/4$  rad  
 $= -45^\circ$

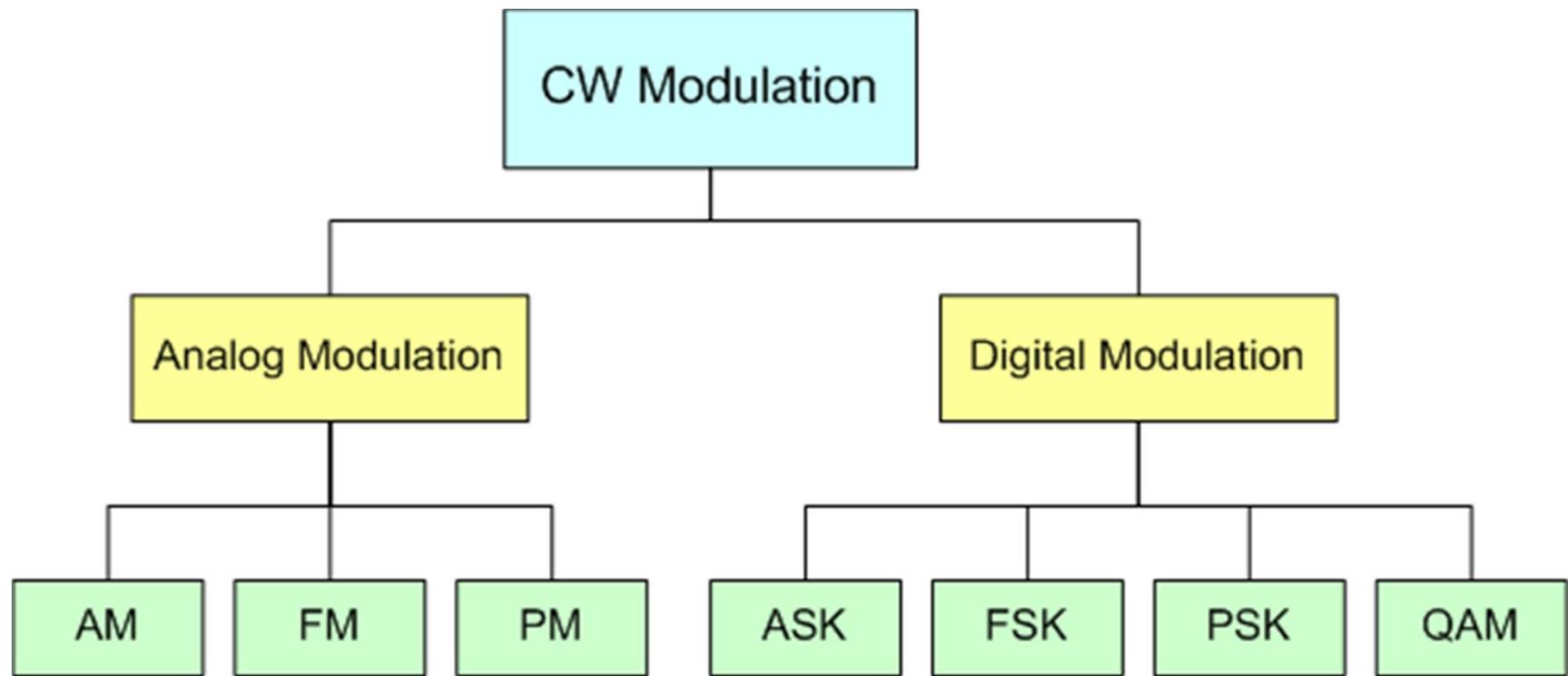


$\phi = -\pi/2$  rad  
 $= -90^\circ$



# Modulasi Gelombang Kontinu

---





# Macam-macam Modulasi Gelombang Kontinu

---

- **Modulasi analog**, dimana sinyal carrier kontinu dimodulasi oleh sinyal informasi analog
  - Amplitude Modulation (AM)
  - Angle Modulation
    - Frequency Modulation (FM)
    - Phase Modulation (PM)
- **Modulasi digital**, dimana sinyal carrier kontinu dimodulasi oleh sinyal informasi diskrit (digital)
  - Amplitude-Shift Keying (ASK)
  - Frequency-Shift Keying (FSK)
  - Phase-Shift Keying (PSK)
  - Quadrature Amplitude Modulation (QAM)
  - dan lain-lain.



# Modulasi

---

- Pengertian Modulasi
- Modulasi Gelombang Kontinu
  - **Modulasi Analog**
  - Modulasi Digital
- Modulasi Pulsa
- Perlunya Modulasi



# Modulasi Amplituda (Amplitude Modulation – AM)

- Sinyal *carrier* aslinya mempunyai nilai puncak (amplituda) yg konstan dan frekuensi yg lebih tinggi drpd sinyal pemodulasi (*message/information*).
- Pada **AM**, amplituda sinyal carrier ini diubah-ubah sesuai dgn nilai sesaat dari sinyal pemodulasi (*message*), sehingga bentuk gelombang luar/selubung (*envelope*) dari sinyal termodulasi mengikuti bentuk sinyal pemodulasi (sinyal informasi).
- Misalkan **sinyal carrier**:

$$c(t) = A_c \cos \omega_c t$$

- Maka setelah modulasi, menjadi ....

# AM (lanjutan)

---

- Bentuk umum persamaan **sinyal termodulasi** AM adalah:

$$s(t) = A_c [1 + k_a m(t)] \cos \omega_c t$$

dimana:

$s(t)$  adlh sinyal termodulasi

$A_c$  adlh amplituda sinyal carrier.

$k_a$  adlh konstanta sensitivitas modulasi

$m(t)$  adlh sinyal informasi (*message*)

$\omega_c$  adlh frekuensi sudut (disebut juga frekuensi anguler atau frekuensi radian). Hubungan frekuensi sudut ( $\omega_c$ ) dgn frekuensi linier ( $f_c$ ) adalah  $\omega_c = 2\pi f_c$ .

# AM (lanjutan)

---

- **Bandwidth** dari sinyal termodulasi AM adlh

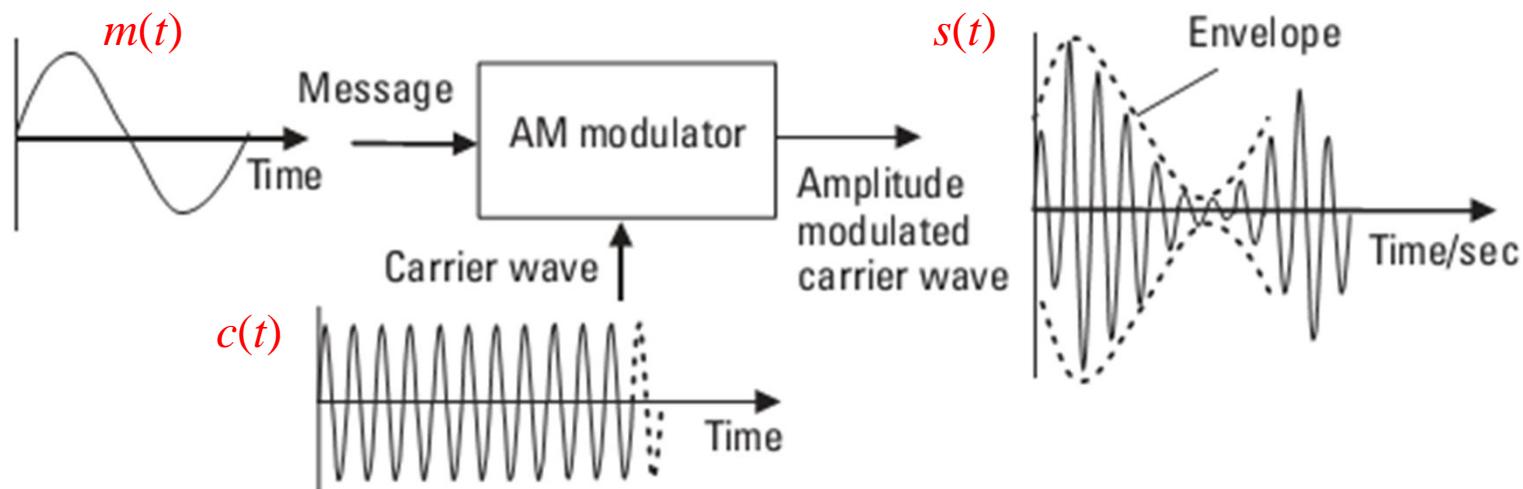
$$BW = (f_c + f_m) - (f_c - f_m) = 2f_m$$

dimana:

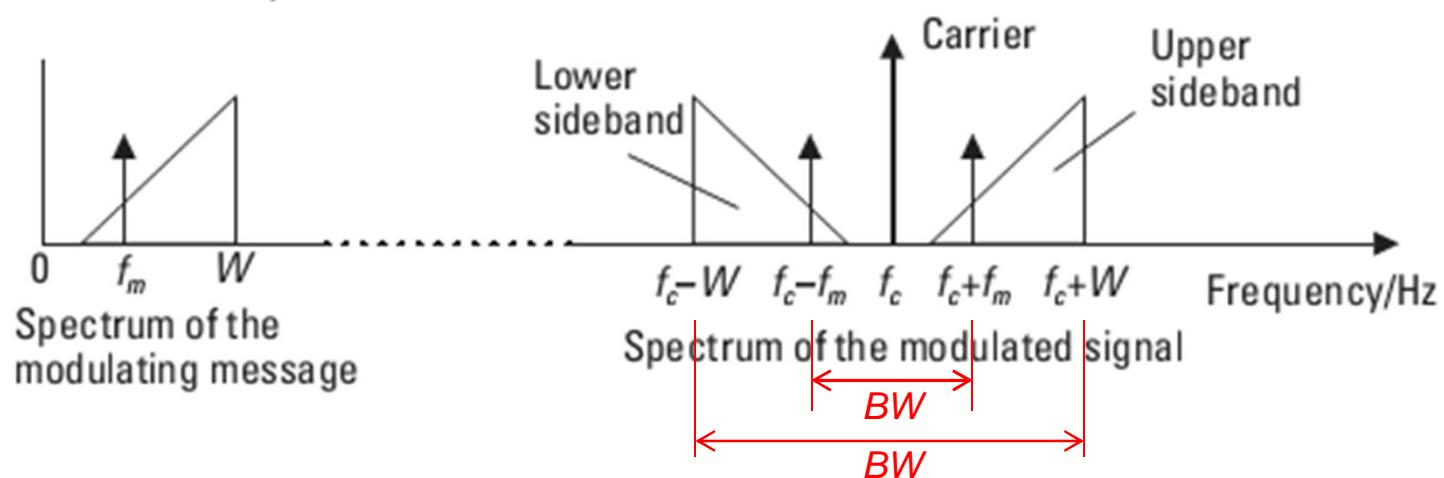
- $f_c$  adlh frekuensi carrier
- $f_m$  adlh frekuensi maksimum sinyal pemodulasi (message)

- Berikut ini adalah ilustrasi sinyal termodulasi AM beserta spektrumnya, dimana sinyal informasinya adalah berupa:
  - sinyal sinusoidal dgn frekuensi tunggal  $f_m$
  - sinyal non periodik dgn bandwidth  $W$ .

# AM (lanjutan)

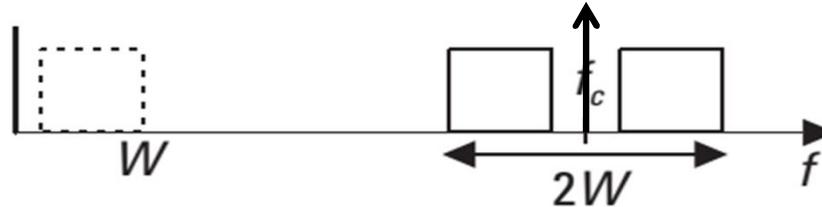


Spectrum of AM:

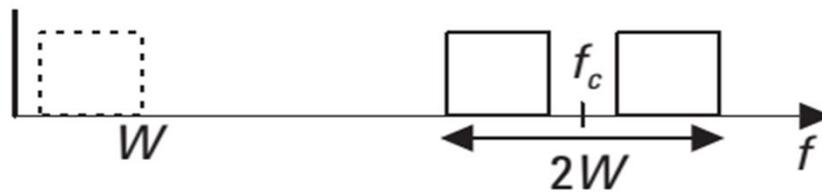


# Macam-macam AM

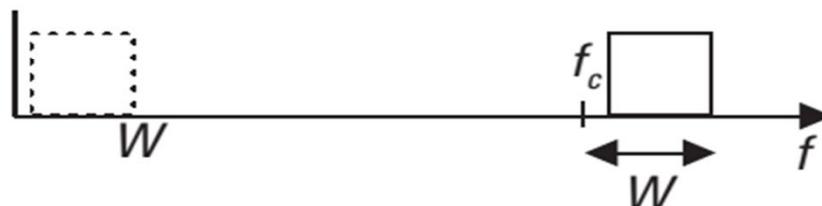
## Double sideband-full carrier (DSB-FC) modulation



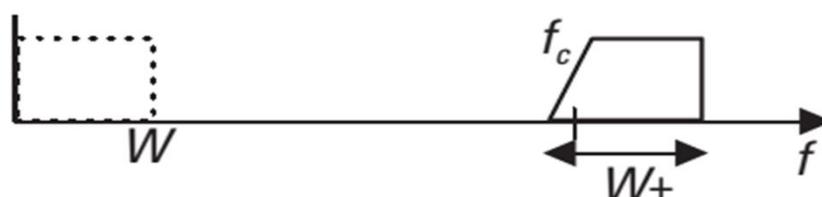
## Double sideband-suppressed carrier (DSB-SC) modulation



## Single sideband (SSB) modulation

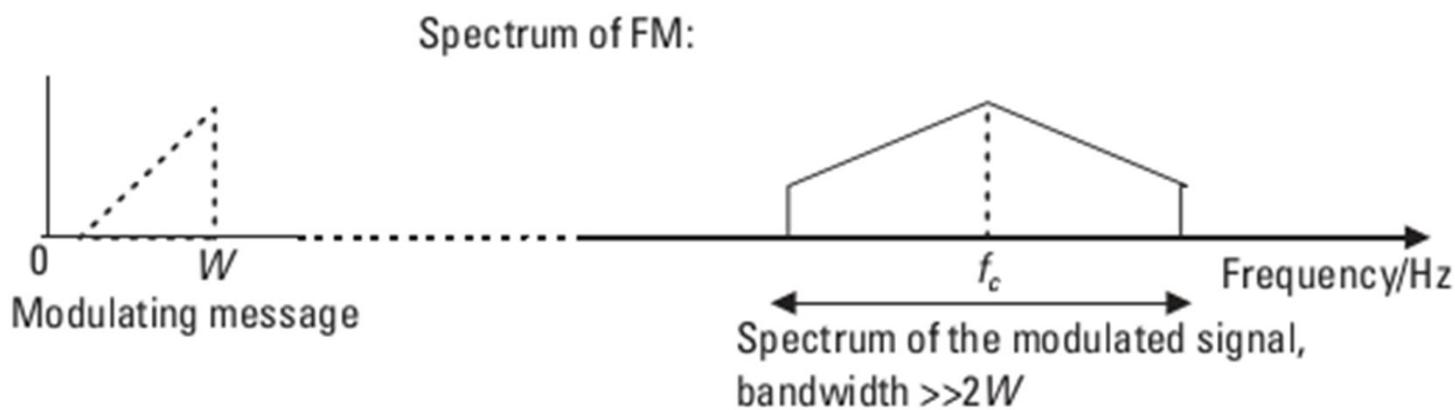
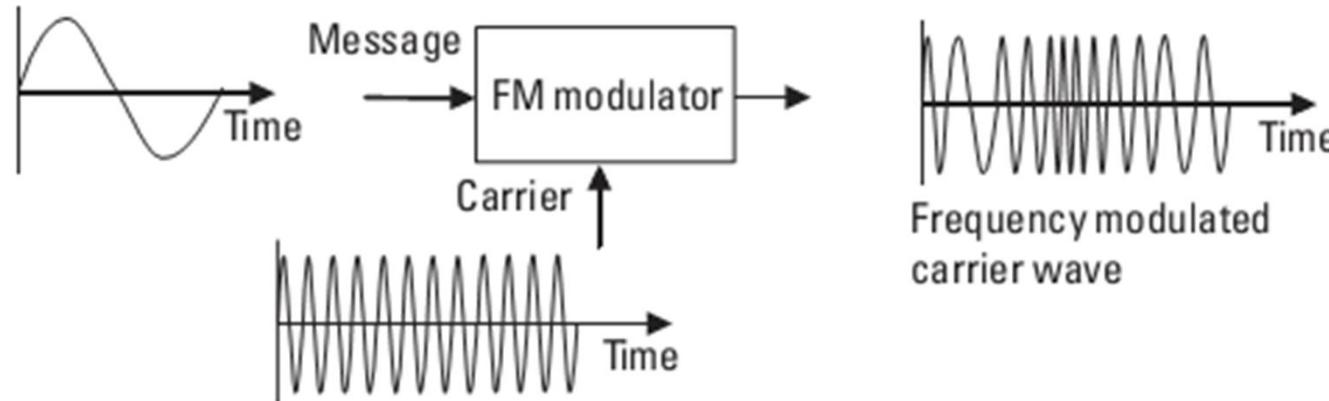


## Vestigial sideband (VSB) modulation



# Modulasi Frekuensi (Frequency Modulation – FM)

- Pada Modulasi Frekuensi, informasi direpresentasikan oleh nilai frekuensi sinyal carrier termodulasi.





## FM (lanjutan)

---

- Sinyal setelah modulasi menjadi

$$s(t) = A_c \cos[\omega_c t + \phi(t)]$$

dimana:

$s(t)$  adlh sinyal termodulasi.

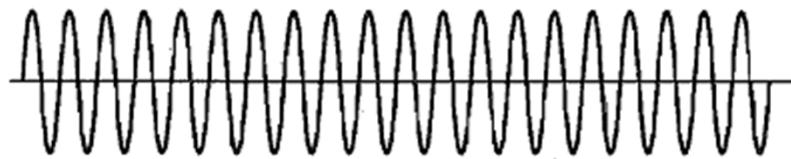
$\phi(t)$  adlh fase atau frekuensi yg bervariasi sesuai kandungan sinyal informasi.

$A_c$  adlh amplituda konstan.

$\omega_c$  adlh frekuensi sudut.

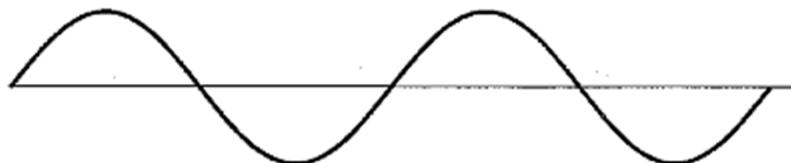
# Modulasi Analog (ringkasan)

Gelombang pembawa (*carrier*)



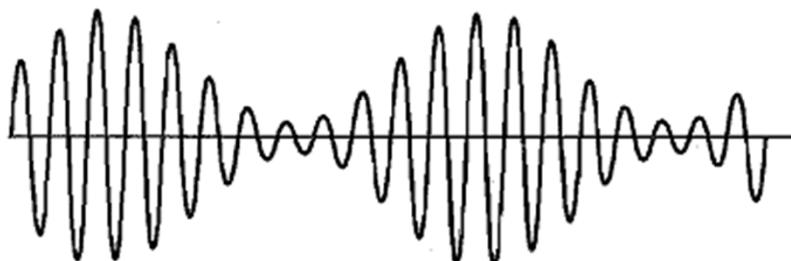
(a)

Sinyal informasi (pemodulasi)



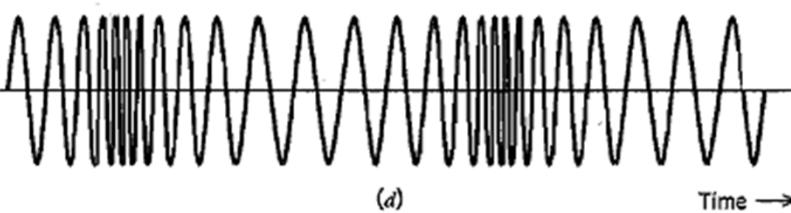
(b)

Sinyal termodulasi AM



(c)

Sinyal termodulasi FM



(d)

Time →

**FIGURE 2.2** Illustrating AM and FM signals produced by a single tone. (a) Carrier wave. (b) Sinusoidal modulating signal. (c) Amplitude-modulated signal. (d) Frequency-modulated signal.



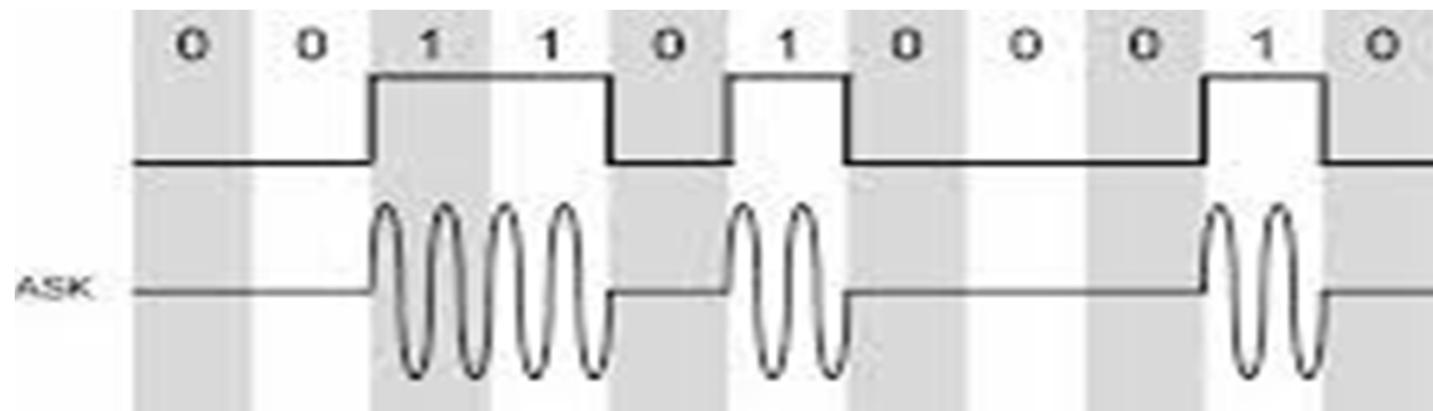
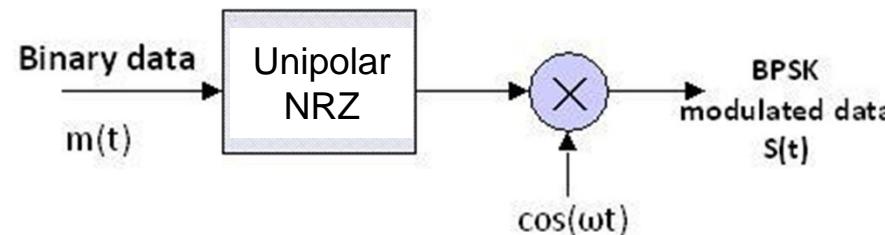
# Modulasi

---

- Pengertian Modulasi
- Modulasi Gelombang Kontinu
  - Modulasi Analog
  - **Modulasi Digital**
- Modulasi Pulsa
- Perlunya Modulasi

# Modulasi ASK

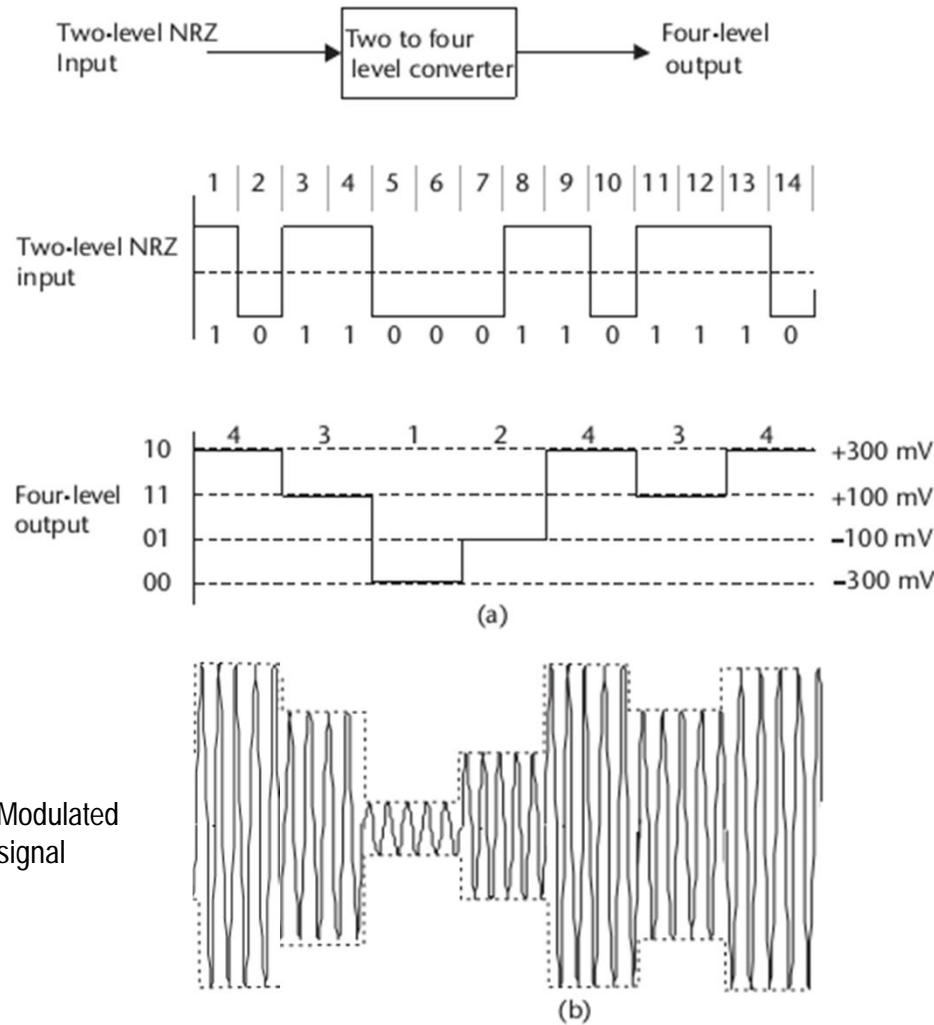
- *Binary Amplitude Shift Keying (BASK)*



Jika pada ASK, salah satu kondisi (bit 0 atau bit 1) direpresentasikan dgn amplituda 0 (tanpa transmisi sinyal) seperti gambar di atas maka disebut juga ***On-Off Shift Keying (OOSK)***.

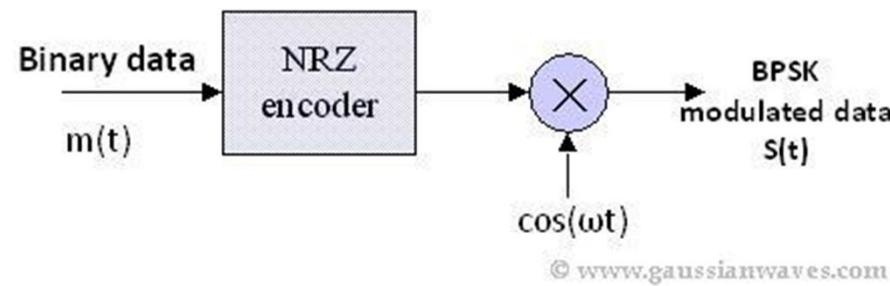
# M-ary ASK (ASK dgn M-level)

- 4-ASK



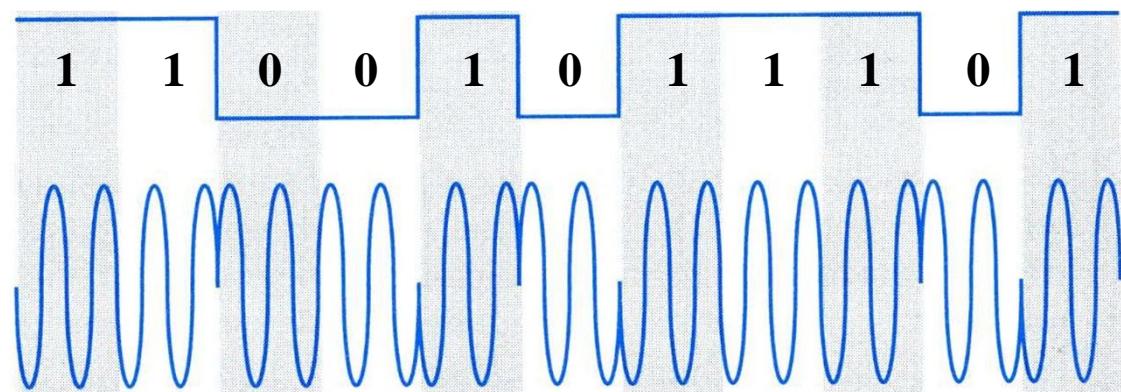
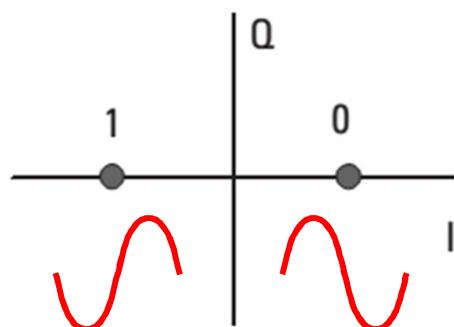
# Modulasi PSK

- *Binary Phase Shift Keying (BPSK)*



© www.gaussianwaves.com

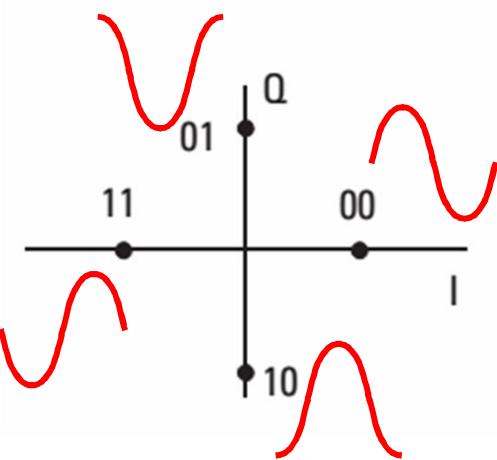
Constellation diagram  
of BPSK



# M-ary PSK

- *Quadrature Phase Shift Keying (QPSK)*  
Disebut juga 4-PSK.

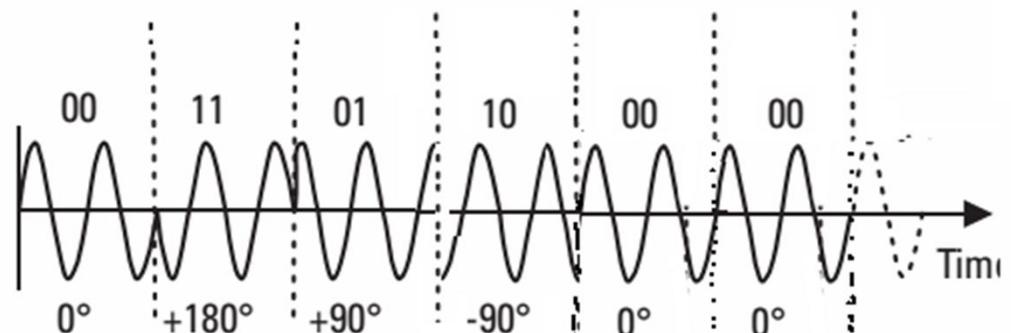
Constellation diagram  
of QPSK



Carrier  
wave



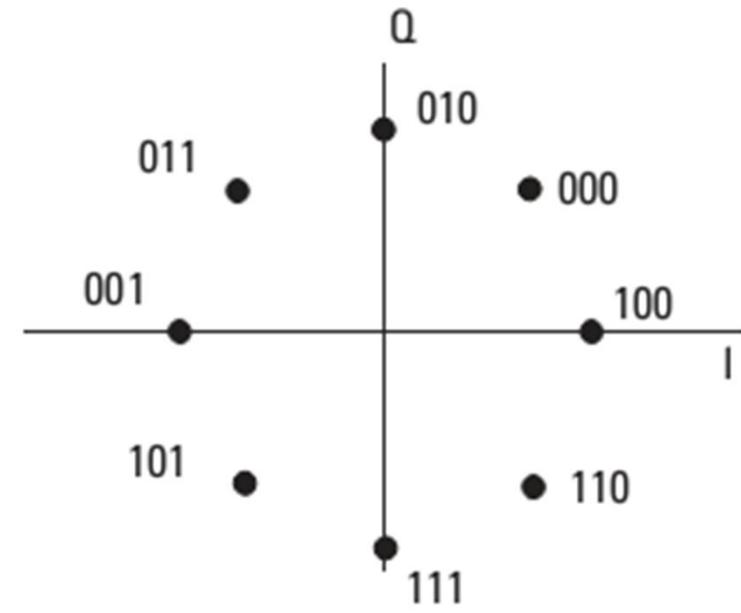
QPSK



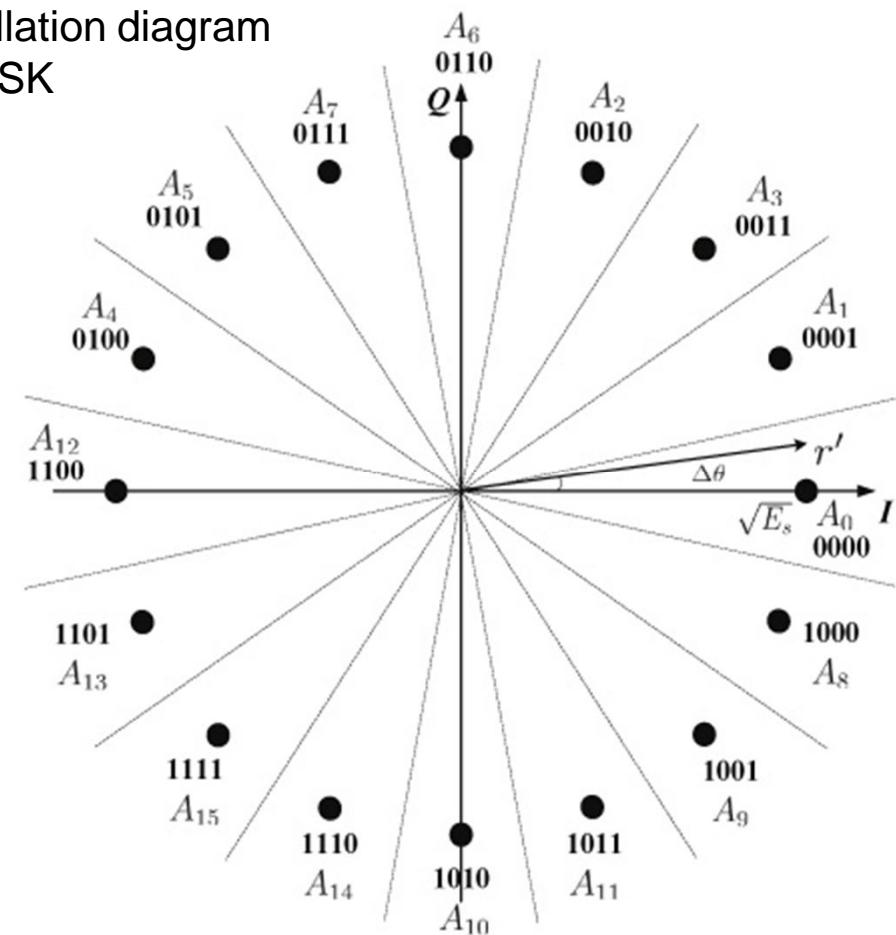
# M-ary PSK

- 8-PSK dan 16-PSK

Constellation diagram  
of 8-PSK



Constellation diagram  
of 16-PSK



# QAM

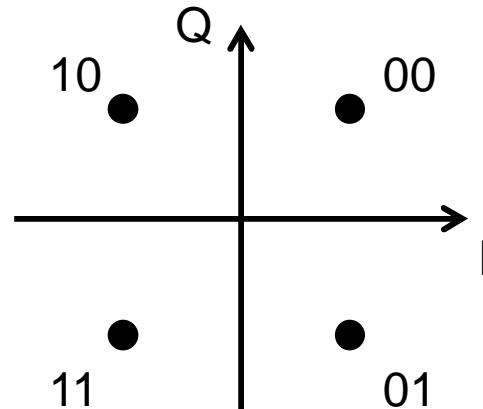
- *Quadrature Amplitude Modulation (QAM)*

Merupakan gabungan dari prinsip ASK dan PSK.

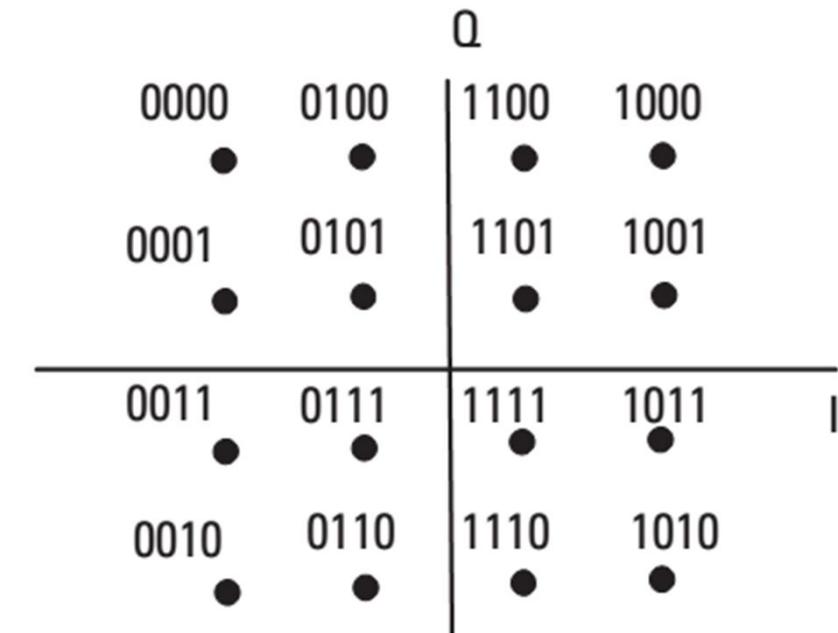
Berikut ini contoh 4-QAM dan 16-QAM.

Note: 4-QAM mirip dgn QPSK.

Constellation diagram  
of 4-QAM

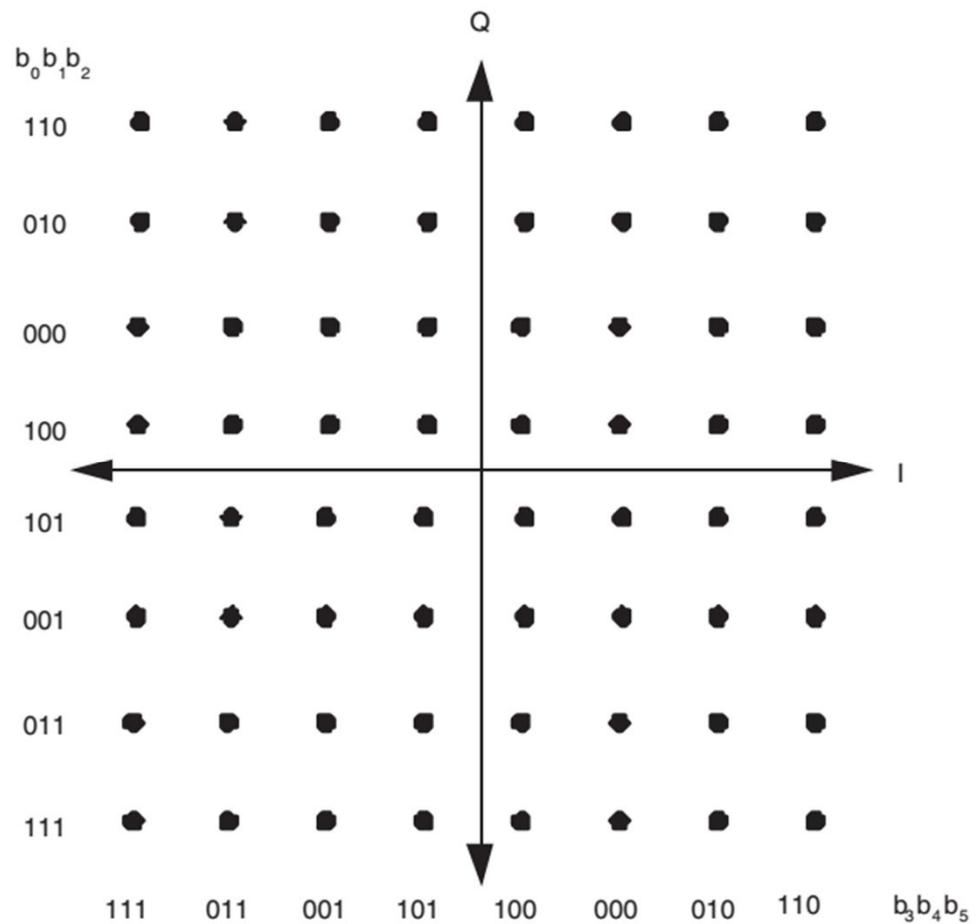


Constellation diagram  
of 16-QAM

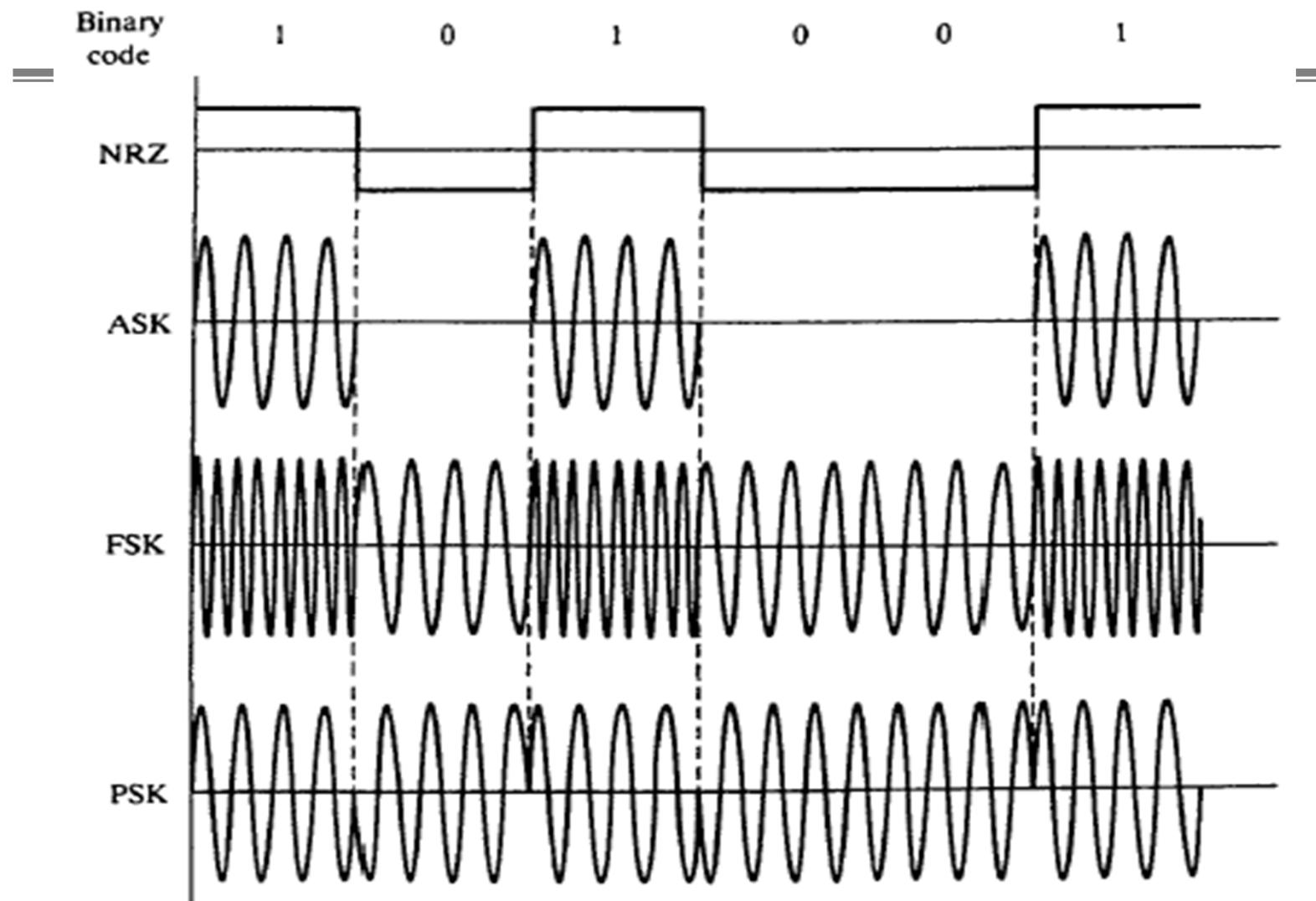


# 32-QAM dan 64-QAM

			Q			
$I_k Q_k = 10$				$I_k Q_k = 00$		
10111	10011	00110	00010			
0	0	0	0			
10010	10101	10001	00100	00101	00111	
0	0	0	0	0	0	
10110	10100	10000	00000	00001	00011	
0	0	0	0	0	0	
<hr/>			01000	01100	01110	I
11011	11001	11000	0	0	0	
0	0	0	0	0	0	
11111	11101	11100	01001	01101	01010	
0	0	0	0	0	0	
$I_k Q_k = 11$			01011	01111		$I_k Q_k = 01$
11010	11110		0	0		
0	0		0	0		
32-QAM						

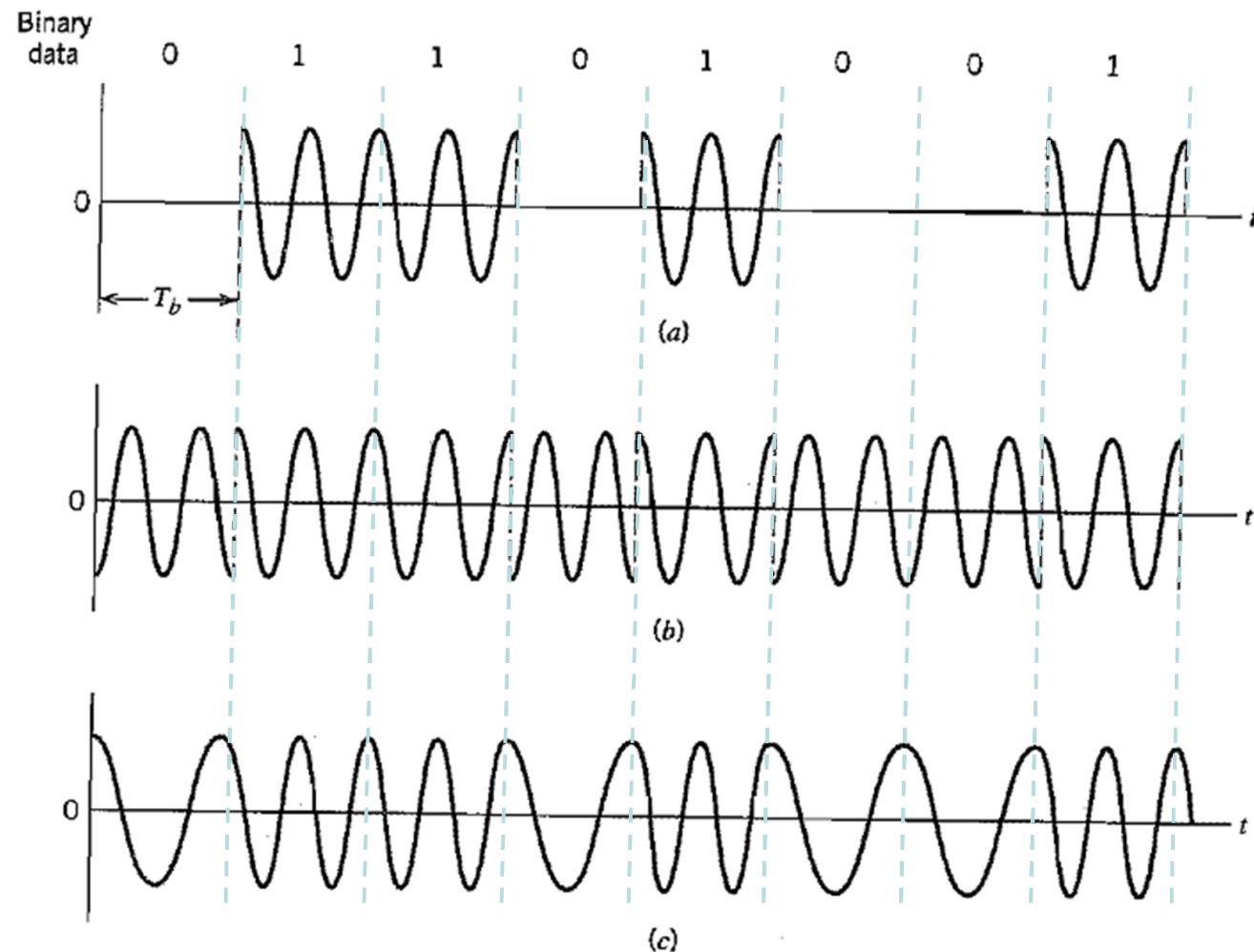


# Modulasi Digital (ringkasan)



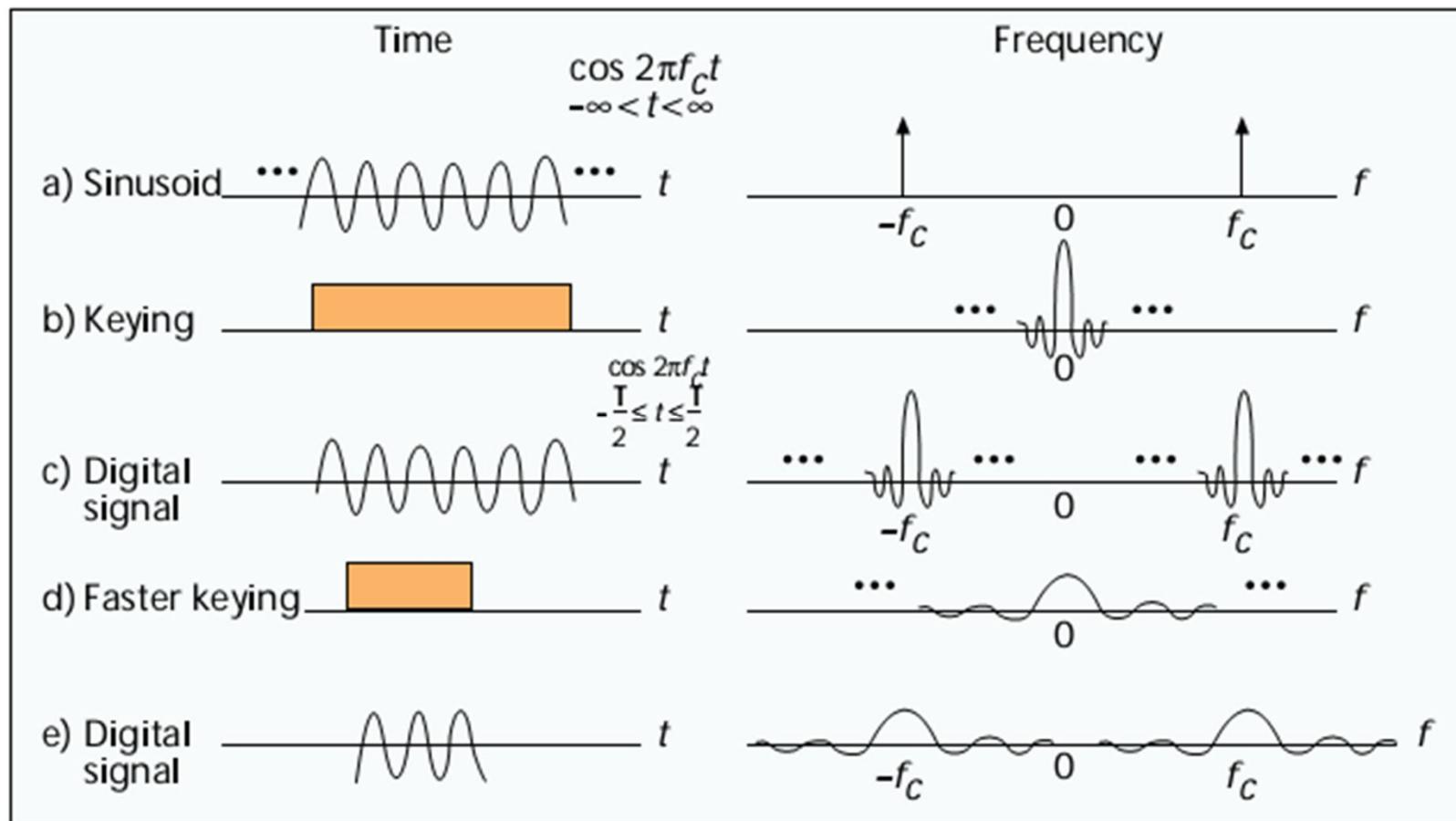
(a) Binary-ASK, (b) Binary-FSK, (c) Binary-PSK 31

# Modulasi Digital (ringkasan)



(a) Binary-ASK, (b) Binary-PSK, (c) Binary-FSK

# Pelebaran spektrum sinyal pd modulasi digital





# Bandwidth Transmisi utk CW Modulation

---

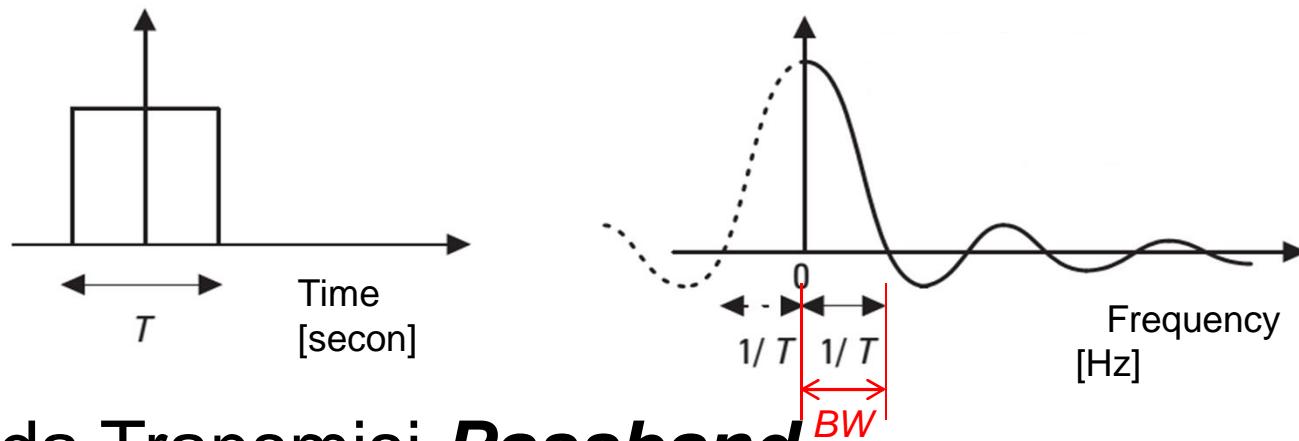
- Dlm domain frekuensi, modulasi pd prinsipnya adalah memindahkan spektrum sinyal informasi dari frekuensi rendah (*baseband*) ke sekitar frekuensi carrier (*passband*), dan mengakibatkan bandwidth menjadi dua kali lipat dibandingkan pd sistem baseband.
- Sehingga symbol rate pd transmisi passband (misalnya sistem radio) menjadi lebih kecil atau sama dengan bandwidth transmisi

$$r \leq B_T$$

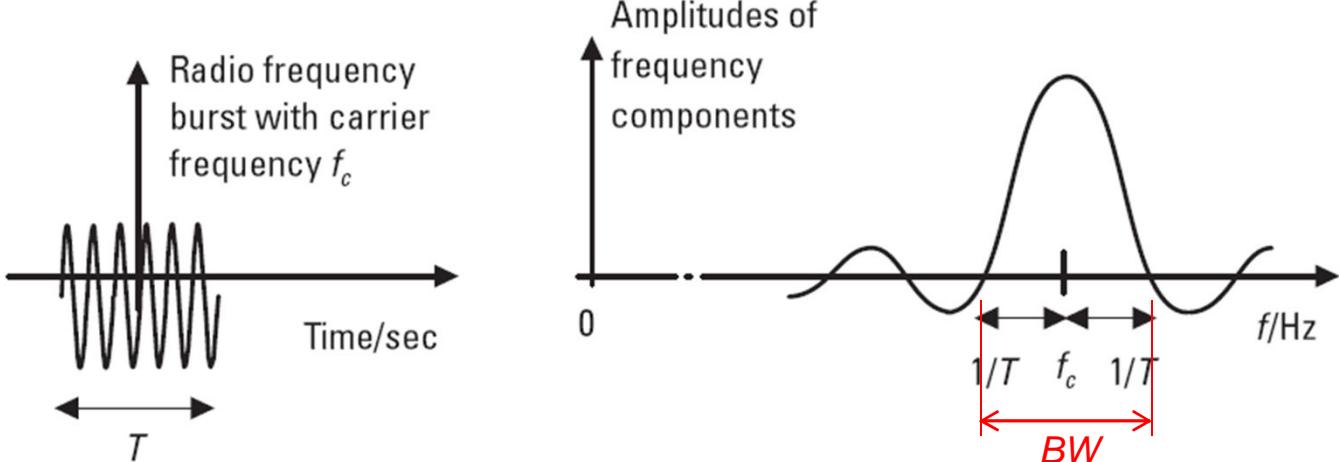
dimana  $r$  adlh symbol rate (bauds) dan  $B_T$  adlh bandwidth transmisi (Hz).

# Durasi Pulsa vs Bandwidth

- Pada Transmisi **Baseband**



- Pada Transmisi **Passband**





# Contoh

---

- 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.

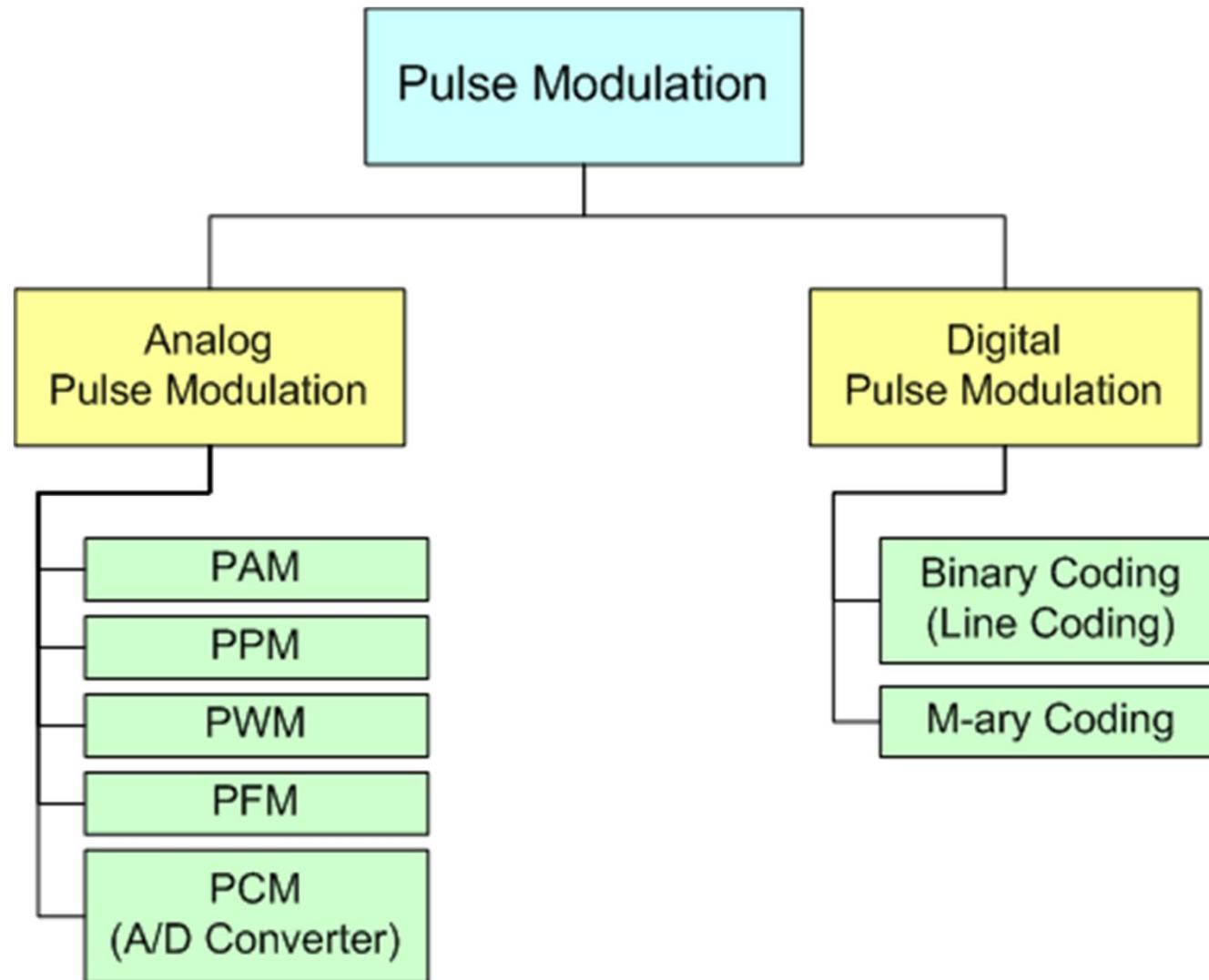


# Modulasi

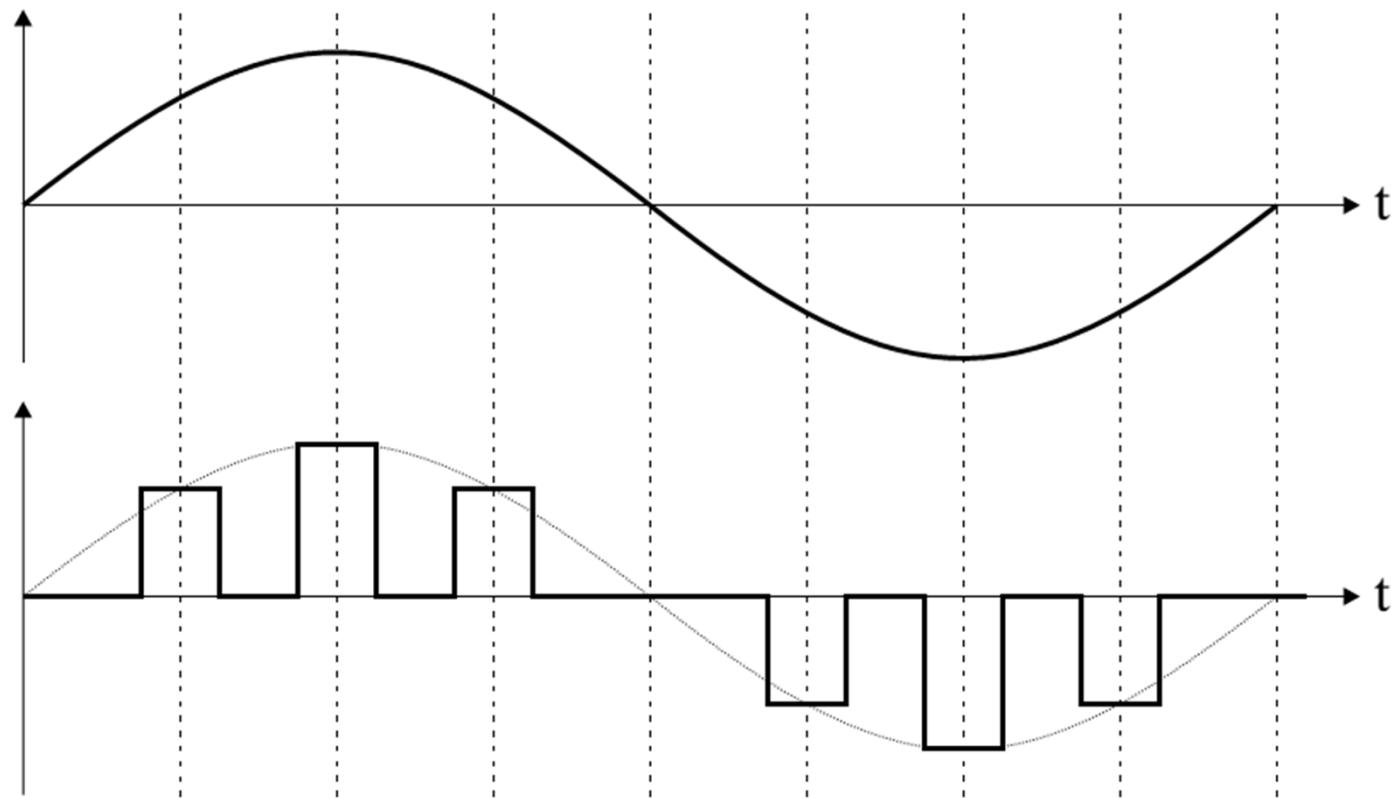
---

- Pengertian Modulasi
- Modulasi Gelombang Kontinu
  - Modulasi Analog
  - Modulasi Digital
- **Modulasi Pulsa**
- Perlunya Modulasi

# Modulasi Pulsa (Pulse Modulation)

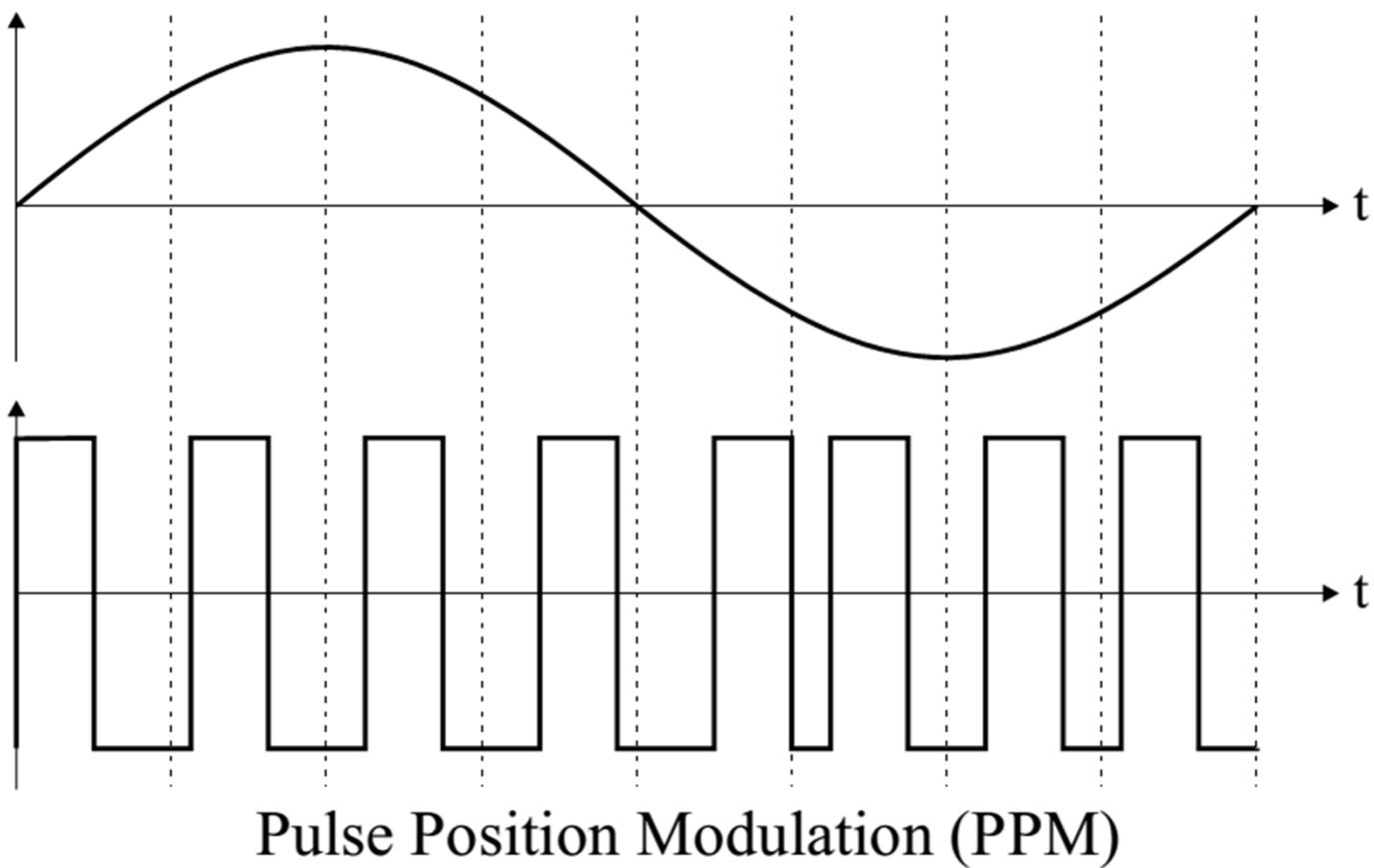


# PAM

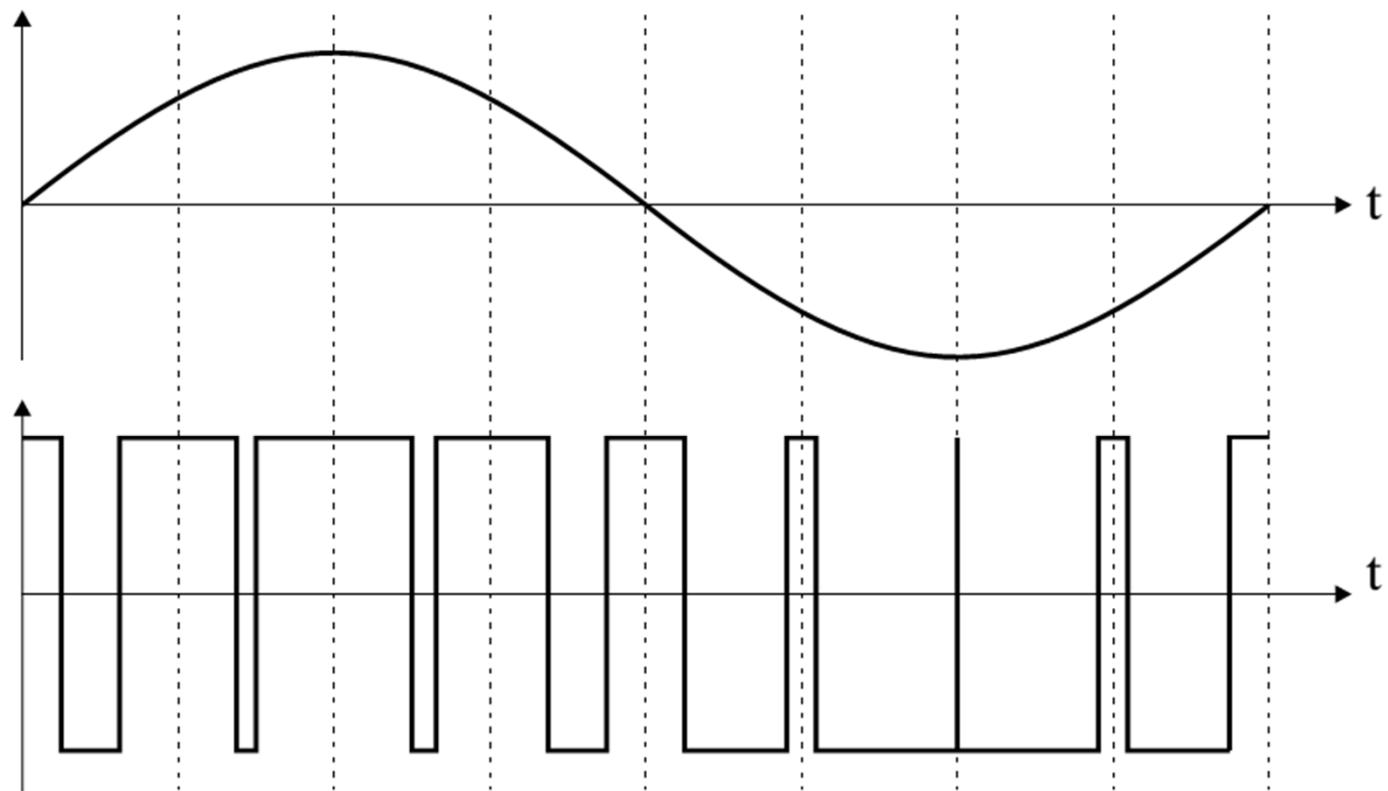


Pulse Amplitude Modulation (PAM)

# PPM



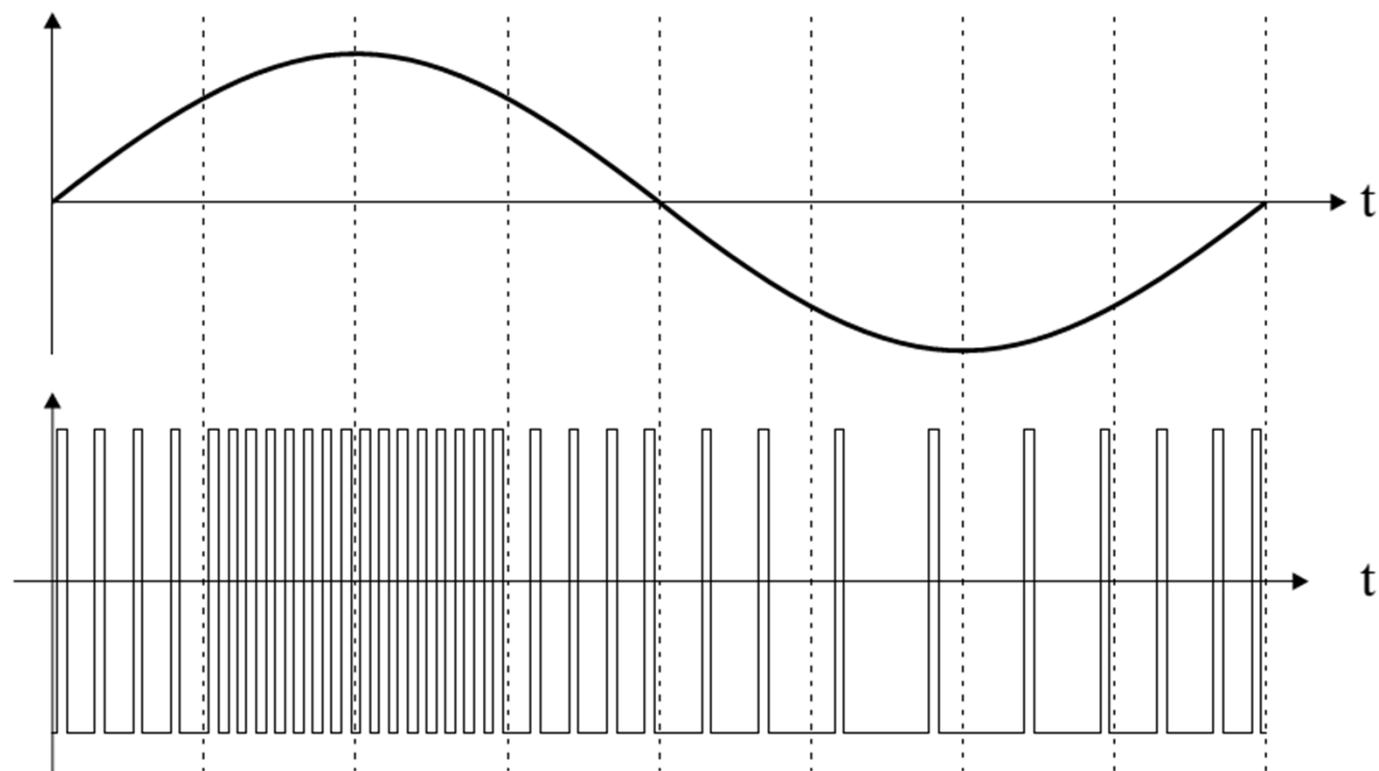
# PWM



Pulse Width Modulation (PWM)

Disebut juga Pulse Duration Modulation (PDM)

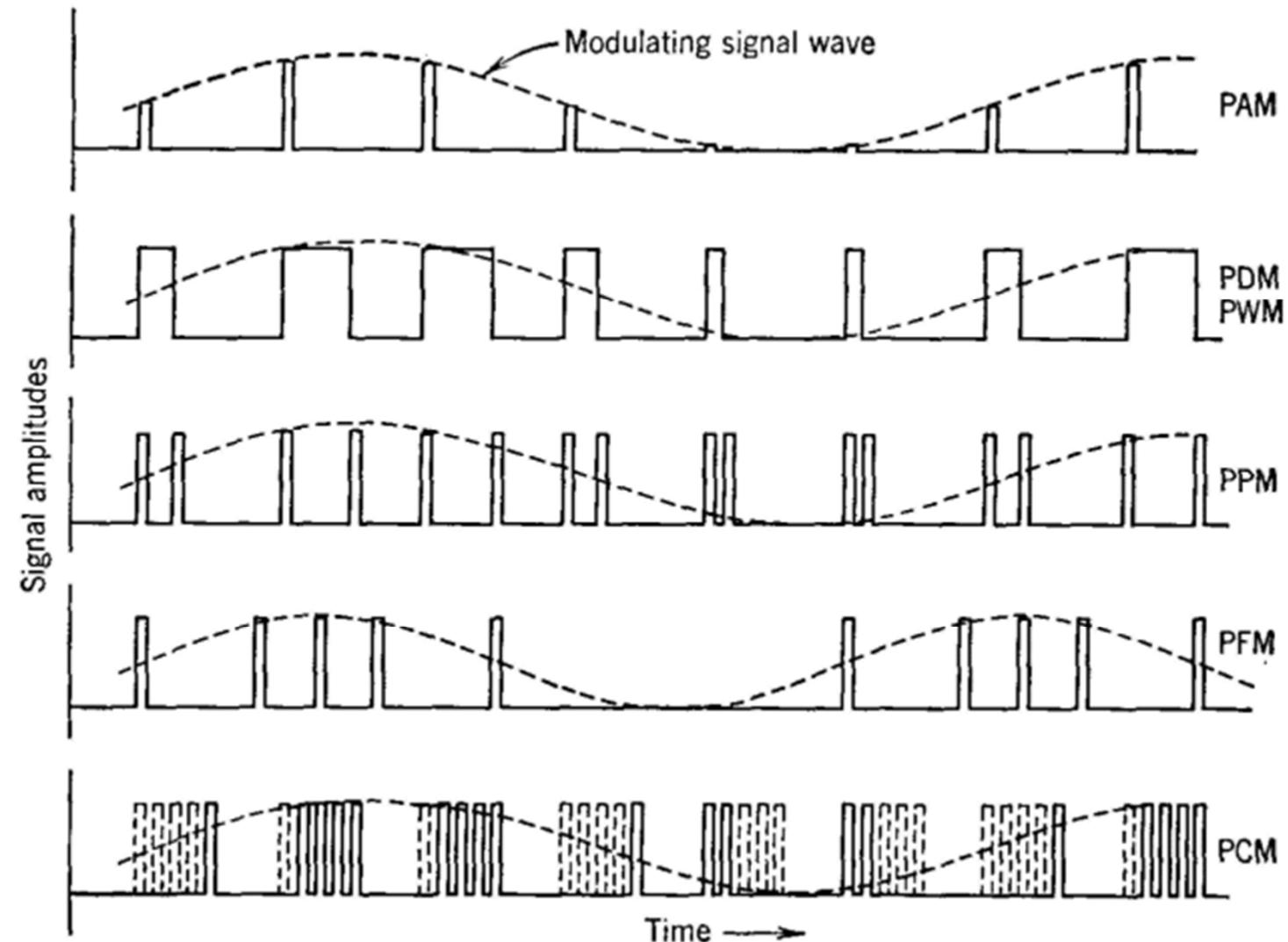
# PFM



Pulse Density Modulation (PDM)

Disebut juga Pulse Frequency Modulation (PFM)

# Modulasi Pulsa (ringkasan)





# Modulasi

---

- Pengertian Modulasi
- Modulasi Gelombang Kontinu
  - Modulasi Analog
  - Modulasi Digital
- Modulasi Pulsa
- **Perlunya Modulasi**



# Mengapa modulasi diperlukan?

---

1. Memperoleh pemancaran yg efisien dan rasionalisasi panjang antena.
  - Radiasi elektromagnetik yg efisien membutuhkan antena yg dimensinya mempunyai orde yg sama dgn panjang gelombang dari sinyal yg dipancarkan/diterima.

$$l = \frac{1}{4} \lambda$$

dimana:  $l$  = panjang antena,  
 $\lambda$  = panjang gelombang.
2. Utk keperluan *multiplexing*.
  - Modulasi dpt digunakan utk menggeser beberapa sinyal pita dasar (*baseband*) yg berbeda ke beberapa lokasi spektrum lokasi spektrum yg berbeda sehingga sebuah kanal transmisi dpt digunakan utk menyalurkan beberapa sinyal pita dasar.

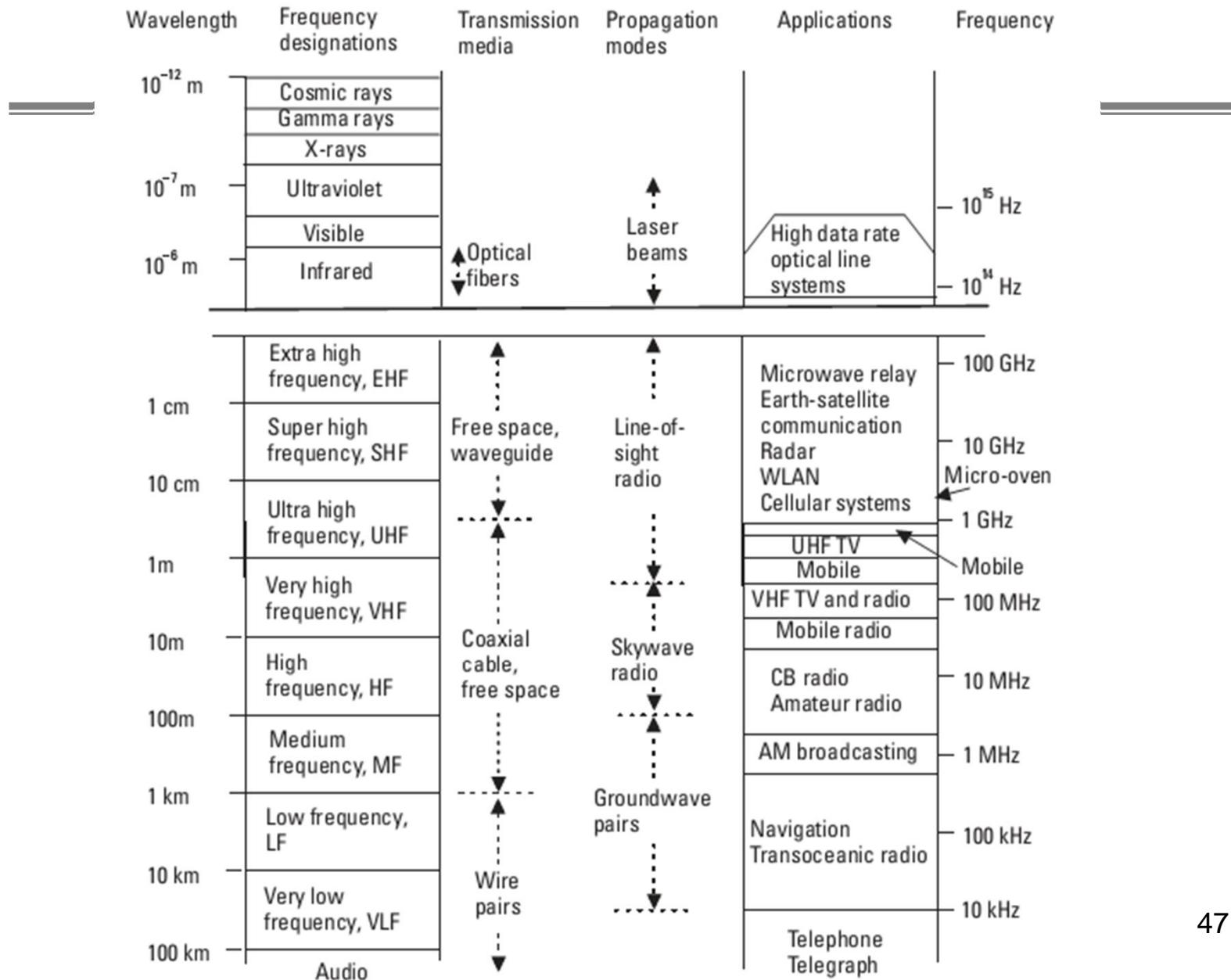


# Mengapa modulasi diperlukan? (lanjutan)

---

3. Mengurangi derau dan interferensi.
  - Modulasi biasanya membutuhkan lebar bidang frekuensi yg jauh lebih lebar drpd lebar pita dasar atau sinyal pemodulasinya. Jadi ada pertukaran antara lebar pita frekuensi dan penurunan efek derau.
4. Mengatasi masalah hardware.
  - Kinerja dan kemudahan pembuatan hardware tergantung pd frekuensi sinyal dan lebar pita frekuensi sinyal yg akan diproses.
  - Modulasi dpt menggeser frekuensi sinyal agar persyaratan perancangan dpt dipenuhi dgn mudah.
5. Memenuhi alokasi frekuensi.
  - Regulasi radio dari ITU mengatur penggunaan frekuensi utk pelayanan tertentu.

# Alokasi spektrum gelombang elektromagnetik





# PR-7

---

- Soal-soal PR-7 ada di file tersendiri.





---

Sekian, terima kasih, semoga berkah.

**Ada pertanyaan?**

Softcopy bahan kuliah tersedia di <http://adf.ly/1Yc3US>  
dan <http://repository.unimal.ac.id>