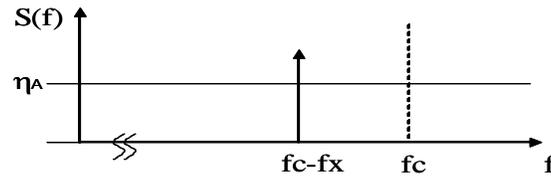


BAB IX KINERJA SISKOM ANALOG

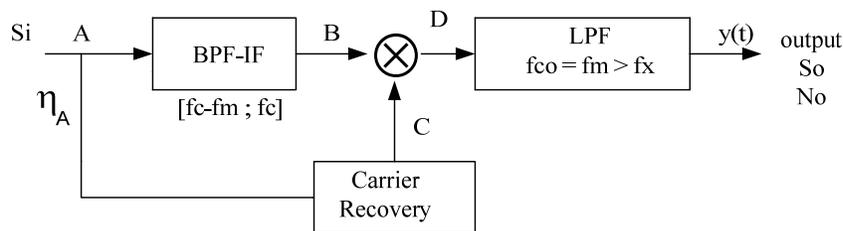
9.1 KINERJA AM-SSB

Suatu sinyal AM-SSB-LSB dengan pemodulasi sinusoidal tunggal f_x .



$$S(t) = A \cos 2\pi(fc-f_x)t, \quad f_c = f \text{ pembawa}$$

Sinyal tersebut bercampur dengan “White Noise” di input demodulator SSB (titik A).



Sinyal di C = $1 \cdot \cos 2\pi f_c t$

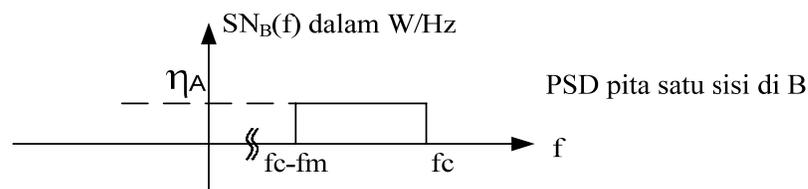
✚ Daya rata rata di input (A) = $S_i = 0,5 A^2$

Sinyal di D = $A \cos 2\pi (f_c - f_x)t \times \cos 2\pi f_c t$
 $= 0,5 A \cos 2\pi f_x t + 0,5 A \cos 2\pi (2f_c - f_x)t$

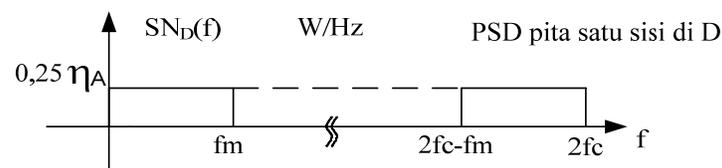
Setelah dilewatkan ke LPF : $y(t) = 0,5 A \cos 2\pi f_x t$

✚ Daya sinyal $y(t) = S_o = 0,5 (0,5 A^2) = 0,25 S_i$

✚ Besar rapat daya noise di B = di A; tetapi terletak dalam spektrum yang terbatas.



✚ Rapat daya noise di D :



✚ Jadi daya noise di output = $N_o = 0,25 \eta_A \times f_m$

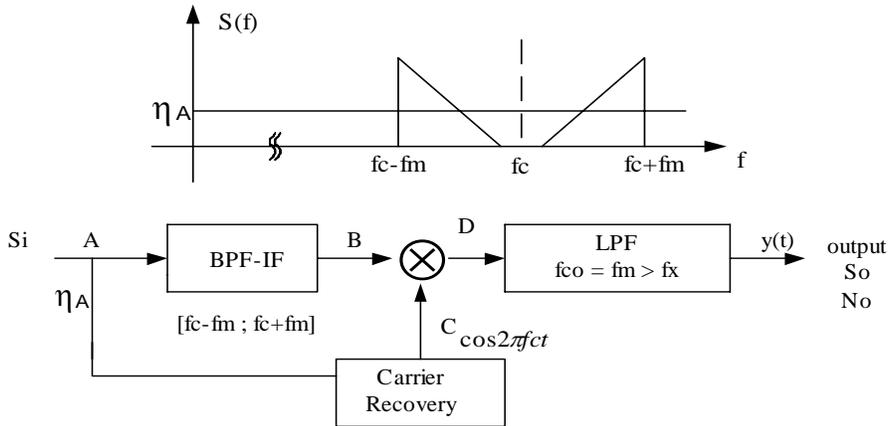
✚ Maka $(S/N)_{D-SSB} = 0,25 S_i / 0,25 \eta_A \cdot f_m = S_i / \eta_A \cdot f_m$

S_i = daya sinyal yang diinginkan pada input demodulator, η_A = rapat daya noise di input demodulator

f_m = frek. cut off LPF

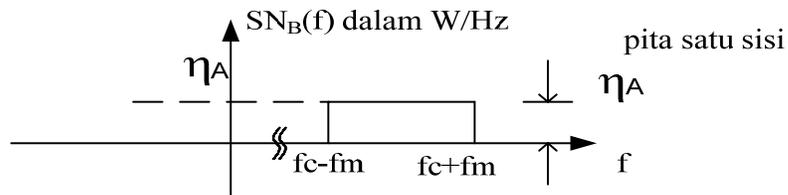
9.2 KINERJA AM-DSB-SC

Misalkan sinyal $m(t)$ merupakan pemodulasinya sehingga, $S(t) = m(t) \cdot \cos 2\pi f_c t$
 Sinyal tersebut bercampur dengan “white Noise” di input demodulator :

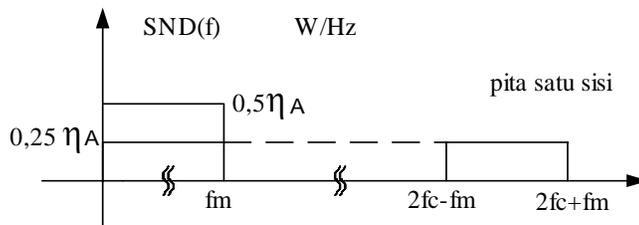


(gambar sama dengan demodulator SSB; kecuali BPF-IF)

- ✚ Daya rata rata sinyal input demodulasi (A) : $S_i = \overline{S(t)^2}$
 $S_i = 0,5 \overline{m(t)^2} = 0,5 \cdot \text{daya sinyal } m(t)$
- ✚ Persamaan sinyal di titik D = $m(t) \cdot \cos^2 2\pi f_c t = 0,5m(t) + 0,5m(t) \cdot \cos 2\pi (2f_c)t$
- ✚ Setelah dilewatkan di LPF ; menjadi $y(t) = 0,5 m(t)$
- ✚ Daya sinyal informasi $y(t)$ di output demodulator :
 $S_o = 0,25 \overline{m(t)^2} = 0,5 S_i$
- ✚ Besar rapat daya noise di B :



- ✚ Besar rapat daya noise di D :



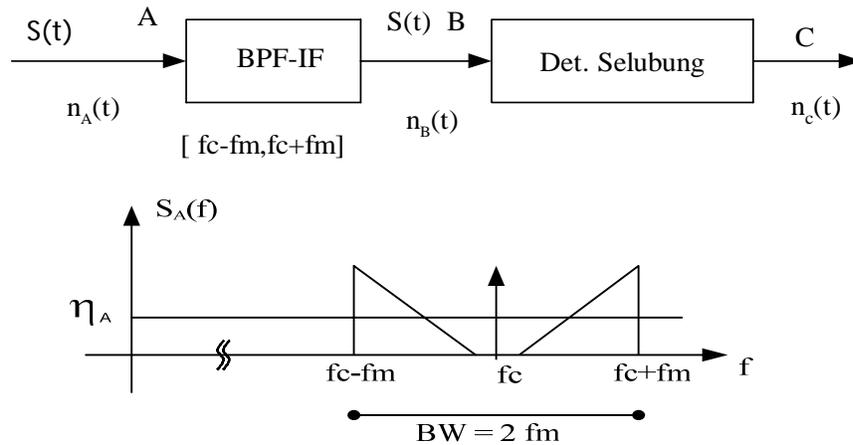
- ✚ Daya noise di output = $N_o = 0,5 \eta_A \cdot f_m$
- ✚ Maka (S/N) AM-DSB-SC = $S_i / \eta_A \cdot f_m$

✚ Si, η_A , f_m = lihat kasus SSB, η di input detector/demodulator

9.3 KINERJA AM-DSB-FC (digunakan detector selubung)

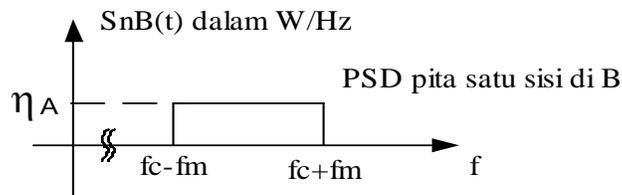
Sinyal AM-DSB-FC + noise ; info : $m(t)$

$$S(t) = A [1+m(t)] \cos 2\pi f_c t + n(t)$$



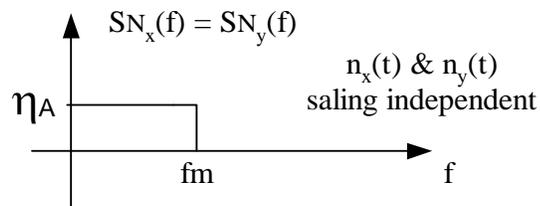
BW BPF-IF = $2 f_m$; Jadi sinyal $S(t)$ di B = $S_A(t)$ [di A]

- ✓ $n_A(t)$: dapat dipandang sebagai White Noise dengan PSD η_A
- ✓ $n_B(t)$: band-pass noise (band limited noise)



- ✓ Noise di B dapat dinyatakan dalam **bentuk noise kuadratur** sbb :

$$n_B(t) = n_x(t) \cdot \cos 2\pi f_c t - n_y(t) \cdot \sin 2\pi f_c t$$



- ✓ Kita nyatakan sinyal & noise di B = $X(t)$, maka :

$$\begin{aligned} X(t) &= A [1+m(t)] \cos 2\pi f_c t + n_x(t) \cdot \cos 2\pi f_c t - n_y(t) \cdot \sin 2\pi f_c t \\ &= [A(1+m(t)) + n_x(t)] \cos 2\pi f_c t - n_y(t) \sin 2\pi f_c t \\ &= R(t) \cdot \cos (2\pi f_c t + \theta(t)) \end{aligned}$$

$$R(t) = \sqrt{(A(1+m(t)) + n_x(t))^2 + (n_y(t))^2} \equiv \text{selubung sinyal } X(t)$$

- ✓ Kita batasi permasalahan untuk $(C/N)B \gg 1$ maka:

$$A[1+m(t)] \gg n_y(t); \quad \text{sehingga : } R(t) \approx \sqrt{(A(1+m(t)) + n_x(t))^2}$$

$$\text{Atau } R(t) = A[1+m(t)] + n_x(t) = A + A.m(t) + n_x(t); \text{ dimana:}$$

A = komponen DC; $A.m(t)$ = komponen informasi; $n_x(t)$ = komponen noise

- ✓ Komponen DC dioutput diredam dengan Kopling kapasitif, maka

$$Y(t) = A.m(t) \Rightarrow \text{daya sinyal } S_o = y(t)^2 = A^2 . m(t)^2$$

$$\text{Daya noise rata rata di output } N_o = \eta_A \times BW_N$$

$$N_o = \eta_A . 2f_m$$

- ✓ Perlu diingat bahwa daya rata rata sinyal AM-DSB-FC di input (titik A) sama dengan di B

$$S_i = 0,5 A^2 + 0,5 A^2 \overline{m(t)^2}$$

- ✓ Maka : $(S/N)_{\text{OUTPUT AM-DSB-FC}} = \frac{\overline{m^2(t)}}{(1 + \overline{m^2(t)})} \cdot \frac{S_i}{\eta_A \cdot f_m}$ η di input demod.

(Dengan detektor selubung)

- ✓ Ingat persamaan umum AM-DSB-FC

$$S_{AM}(t) = A(1 + m \cdot \cos 2\pi f_x t) \cdot \cos 2\pi f_c t$$

m : index modulasi; $\cos 2\pi f_x t$: info sinus; $\cos 2\pi f_c t$: carrier

berarti $m(t) = m \cdot \cos 2\pi f_x t$, dengan daya sinyal $m(t) = 0,5 m^2 = \overline{m(t)^2}$

- ✓ Maka $(S/N)_{\text{OUT-AM-DSB-FC}} = \frac{m^2}{2 + m^2} \frac{S_i}{\eta_A \cdot f_m}$

Dimana : informasi adalah sinusoidal dan m = index modulasi

Catatan !!!!!!!!!!!!!

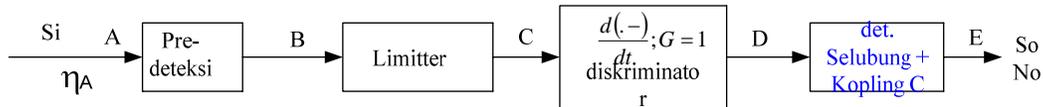
Jika sinyal AM-DSB-FC dideteksi dengan “Detektor Sinkron” maka akan menghasilkan persamaan kinerja yang sama juga

$$\frac{S_o}{N_o} = \frac{\overline{m^2(t)}}{1 + \overline{m^2(t)}} \cdot \frac{S_i}{\eta_A \cdot f_m} = \frac{m^2}{2 + m^2} \cdot \frac{S_i}{\eta_A \cdot f_m}$$

9.4 KINERJA FM

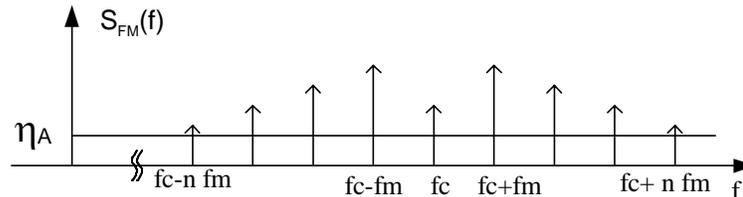
Misal suatu sinyal FM dengan pemodulasi sinusoidal dengan frekuensi f_m , amplitude pemodulasi V_m , frekuensi pembawa f_c .

$$S_{FM}(t) = V_c \cos [2\pi f_c t + \beta \sin 2\pi f_m t]; \quad \beta = V_m \cdot \frac{K_f}{f_m}$$



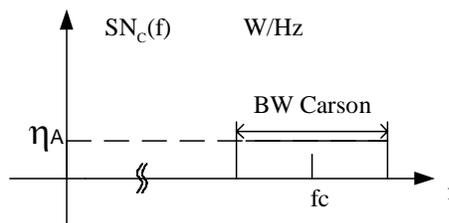
blok diagram demod. FM

Sinyal FM $S_{FM}(f)$:



Sinyal FM tersebut bercampur dengan White Noise $n_A(t)$ dengan PSD : η_A

- ❖ Pada blok diagram : sinyal FM di A = di B = di C (dengan asumsi limiter berfungsi sempurna)
- ❖ Noise di C merupakan Band Pass Noise \rightarrow Band Limited White Noise; dengan PSD:



- ❖ Di titik D dihasilkan sinyal : $X_D(t) = \frac{d[S_{FM}(t)]}{dt}$ dengan turunan parsial

$$X_D(t) = -V_c[2\pi \cdot f_c + \beta \cdot 2\pi \cdot f_m \cdot \cos 2\pi f_m t] \cdot \sin(2\pi \cdot f_c t + \beta \cdot \sin 2\pi \cdot f_m t)$$

- ❖ Detektor selubung akan melewati selubungnya saja. Setelah dilewatkan kopling kapasitif yang meredam sinyal DC, maka yang keluar tinggal bagian AC saja: $X_E(t) = -V_c \cdot \beta \cdot 2\pi f_m \cdot \cos 2\pi \cdot f_m t = -V_c \cdot \Delta f \cdot 2\pi \cdot \cos 2\pi \cdot f_m t$; $\beta = \Delta f / f_m$

- ❖ Sehingga daya sinyal informasi di output demodulator :

$$S_o = 0,5 (-V_c \cdot 2\pi \cdot \Delta f)^2 = 0,5 \cdot V_c^2 \Delta f^2 \cdot 4\pi^2$$

Perhitungan Noise Output

Di titik C, sinyal FM bercampur noise dapat dinyatakan :

$$S_{FM}(t) + \text{noise} = V_c \cos(\omega_c t + \beta \cdot \sin \omega_m t) + n_x(t) \cdot \cos \omega_c t - n_y(t) \cdot \sin \omega_c t$$

Jika $\omega_c \gg \beta$, maka : $X_c(t) = S_{FM}(t) + \text{noise} = V_c \cos \omega_c t + n_x(t) \cdot \cos \omega_c t - n_y(t) \cdot \sin \omega_c t$

$$X_c(t) = \sqrt{[V_c + n_x(t)]^2 + [n_y(t)]^2} \cdot \cos(\omega_c t + \theta(t))$$

- Asumsi : C/N input diskriminator kecil $\ll 1$ dan limiter bekerja sempurna.

$X_c(t) = V_L \cdot \cos(2\pi f_c t + \theta(t))$; dimana :

$$\theta(t) = \tan^{-1} \left(\frac{n_y(t)}{V_L} \right) \cong \left(\frac{n_y(t)}{V_L} \right) \text{ maka: } X_c(t) = V_L \cdot \cos \left[2\pi f_c t + \frac{n_y(t)}{V_L} \right]$$

- Keluaran diskriminator : $X_D(t) = \frac{d[X_c(t)]}{dt}$

$$X_D(t) = -V_L \cdot \left[2\pi f_c + \frac{d}{dt} \left(\frac{n_y(t)}{V_L} \right) \right] \sin \left[2\pi f_c t + \left(\frac{n_y(t)}{V_L} \right) \right]$$

- Setelah melewati detector selubung & kopling kapasitif [$X_E(t) \rightarrow n_E(t)$]:

$$|n_E(t)| = V_L \cdot \frac{d}{dt} \left(\frac{n_y(t)}{V_L} \right) = \frac{d}{dt} n_y(t)$$

- Dengan transformasi Laplace : $n_E(s) = s \cdot n_y(s)$

$$\text{Sehingga fungsi transfer} = H(f) = \frac{n_E(s)}{n_y(s)} = s = j\omega = j2\pi \cdot f$$

(diskriminator + det selubung + kopling kapasitif)

- Maka PSD noise di D: $\eta_E(f) = \eta_A |H(f)|^2 = 4\pi^2 \cdot f^2 \cdot \eta_A$
- Frekuensi cut off LPF (pada det. Selubung) = f_M sehingga daya noise yang dilewatkan oleh det. Selubung.

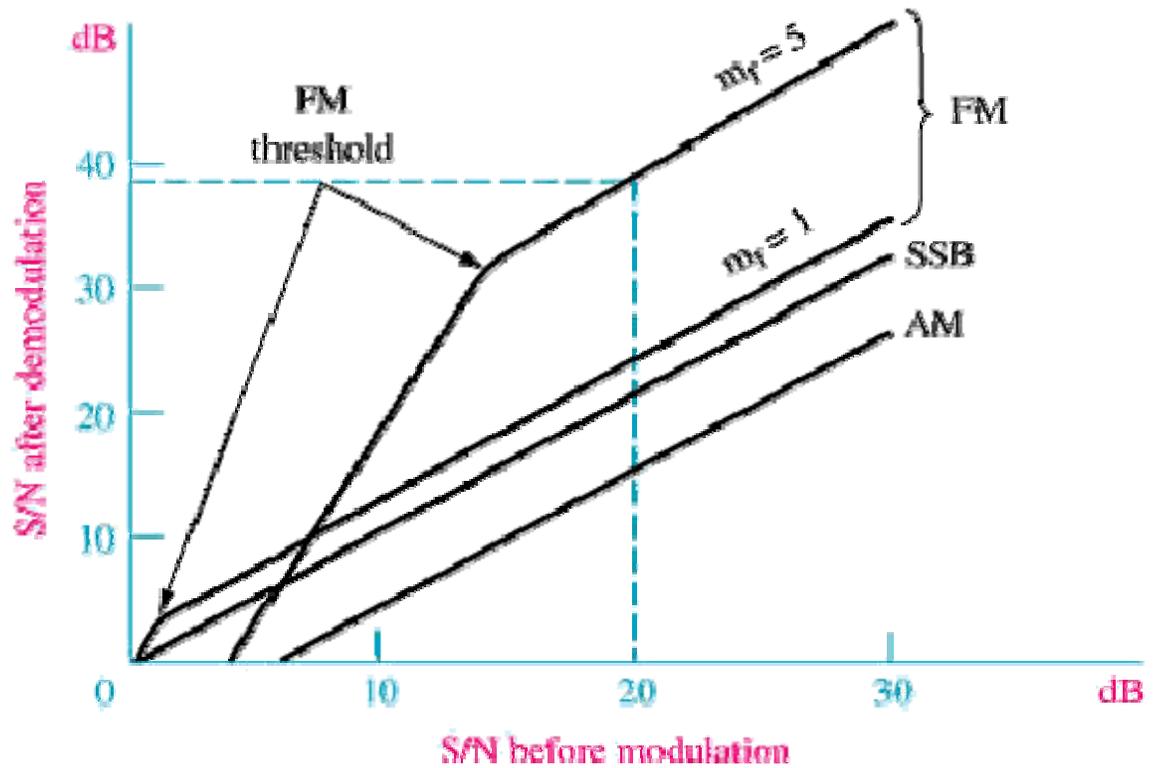
$$N_o = \int_{-f_M}^{f_M} \eta_E(f) df = \int_{-f_M}^{f_M} 4\pi^2 f^2 \eta_A df = \frac{8}{3} \cdot \eta_A \cdot \pi^2 \cdot f_M^3 = \frac{2}{3} \cdot \eta_A \cdot 4\pi^2 \cdot f_M^2 \cdot f_M$$

Sedangkan $S_o = (0,5 \cdot V_c^2) \Delta f^2 \cdot 4\pi^2$ $S_o = S_i \cdot \Delta f^2 \cdot 4\pi^2$

➤ Jadi $\frac{S_o}{N_o} = \frac{3}{2} \left(\frac{\Delta f}{f_M} \right)^2 \frac{S_i}{\eta_A \cdot f_M} \cdot P$

➤ P = faktor penguatan De-Emphasis (jika ada); η_A di input detector

➤ Perbandingan Kinerja Analog



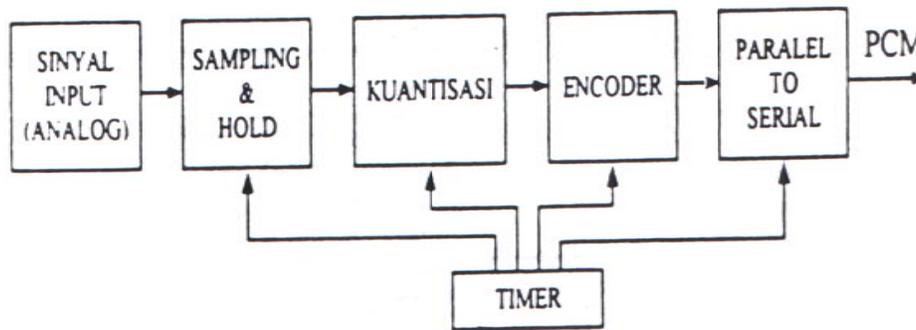
BAB X

ANALOG TO DIGITAL CONVERTER (Pulse Code Modulation)

Pulse Code Modulation merupakan salah satu proses perubahan sinyal analog menjadi sinyal pulsa digital. Dalam implementasinya beberapa sinyal analog dapat dilakukan multipleksing, yaitu menggabungkan beberapa sinyal menjadi satu deretan sehingga dapat dikirimkan secara serentak.

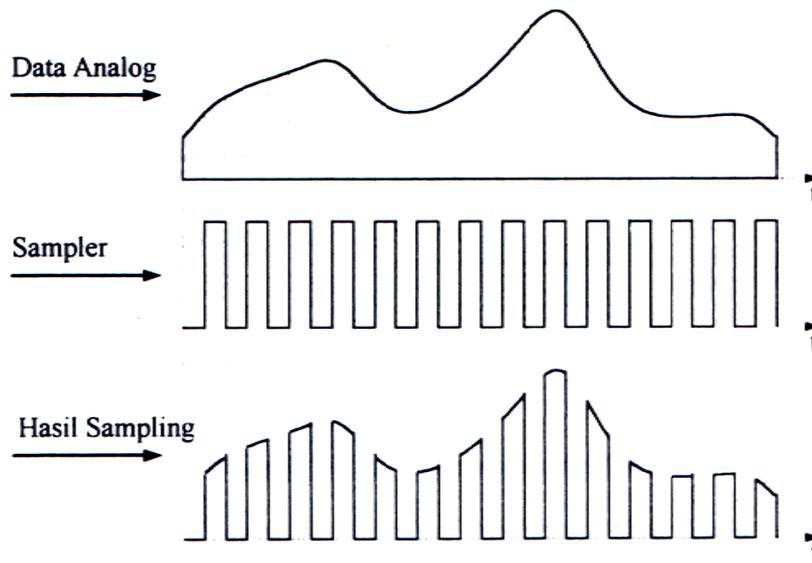
Pada pengirim PCM, prosesnya meliputi :

1. Pencuplikan (*sampling*)
2. Proses kuantisasi dan pengkodean



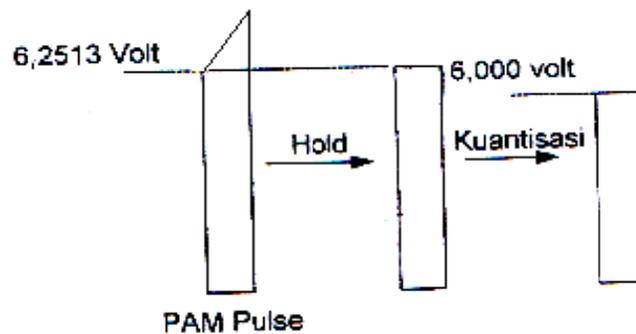
Gambar 10.1 Pengirim PCM

Proses pencuplikan (*sampling*) dapat dilihat pada gambar 10.2 berikut ini :

Gambar 10.2 Pencuplikan (*Natural Sampling*)

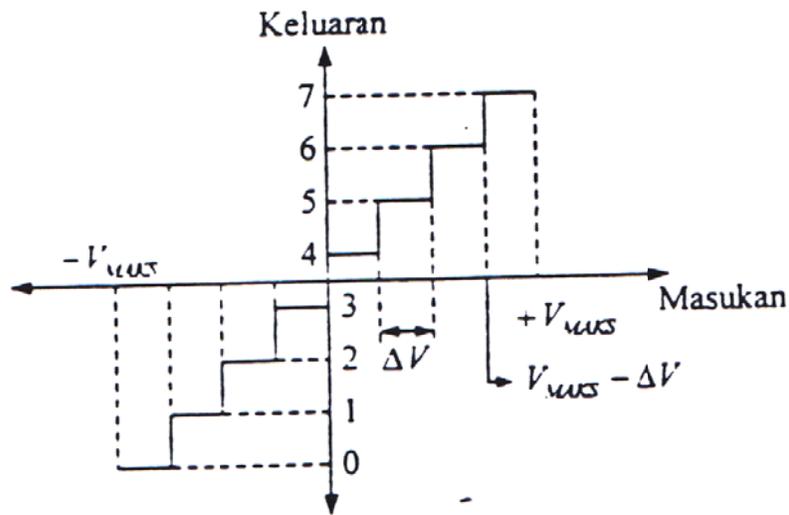
Pada proses kuantisasi, hasil pencuplikan diberikan level kuantisasi, yang kemudian dikodekan menjadi bentuk digital.

Proses kuantisasi dapat dilihat pada gambar 10.3 berikut ini :



Gambar 10.3 Proses Kuantisasi

Pada pengkodean dengan 3 bit, maka akan terdapat $2^3 = 8$ level kuantisasi. Selisih tiap level kuantisasi adalah :



Gambar 10.4 Contoh Kuantisasi Seragam untuk Pengkodean 3 bit

Pada pengkodean dengan 3 bit, maka akan terdapat $2^3 = 8$ level kuantisasi.

Selisih tiap level kuantisasi adalah :

$$\Delta V = \frac{V_{max}}{8} \quad \text{dan} \quad V_s = V - \Delta V$$

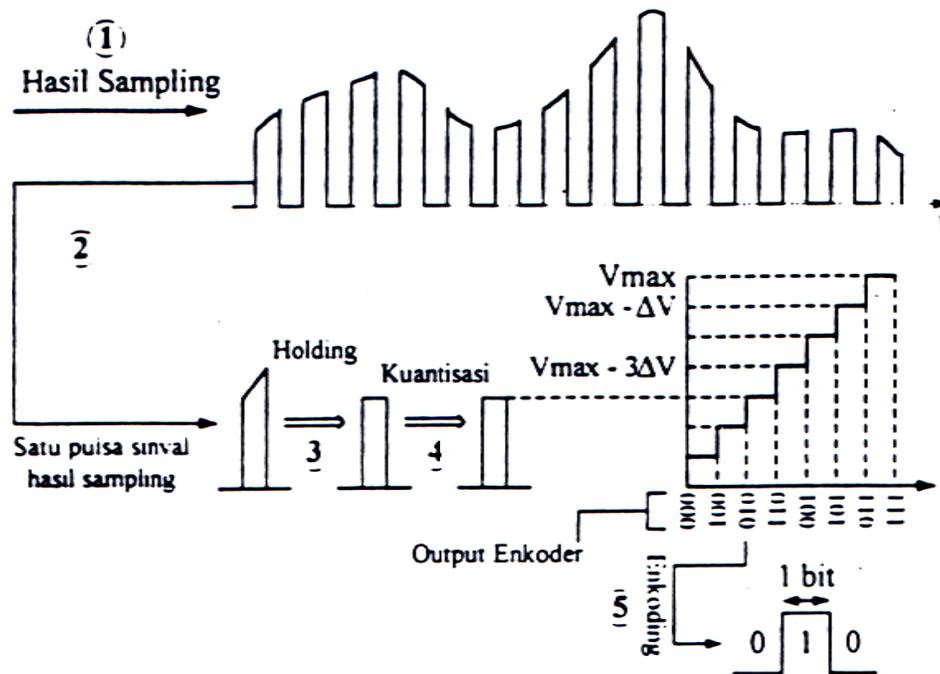
dengan ΔV = Error maksimum

V_s = Tegangan level kuantisasi

V = Tegangan tertinggi pen-samplingan sinyal

Dan untuk selanjutnya keluaran proses kuantisasi (Quantizer) dilewatkan pada enkoder PCM untuk dikodekan dalam 3 bit untuk setiap level kuantisasi.

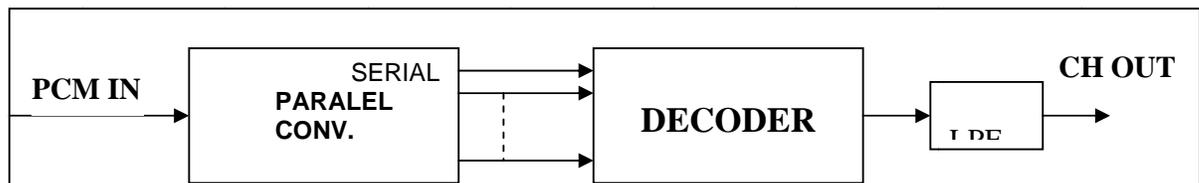
Untuk lebih jelasnya mari kita lihat contoh proses pembentukan PCM – 3 bit dengan data dan sinyal sampling sesuai dengan gambar 2 di atas.



Gambar 10.5 Contoh Pemrosesan Sinyal PCM 3 bit

Untuk mensinkronkan semua tahapan tersebut diperlukan sinyal waktu yang sinkron. Dan untuk memudahkan *timing recovery* pada receiver, sinyal timing dibangkitkan di transmitter dan dikirim ke penerima. *Timing recovery* dibangkitkan secara lokal.

Gambar penerima dapat dilihat pada gambar berikut ini :



Gambar 10.6 Penerima PCM

Pada percobaan kali ini kita akan mensimulasikan PCM 8 bit untuk masukan 2 kanal yang mirip dengan diagram blok pemancar PCM di atas hanya diberi tambahan multiplexer sebelum sinyal analog masuk ke *Sampling & Hold*.

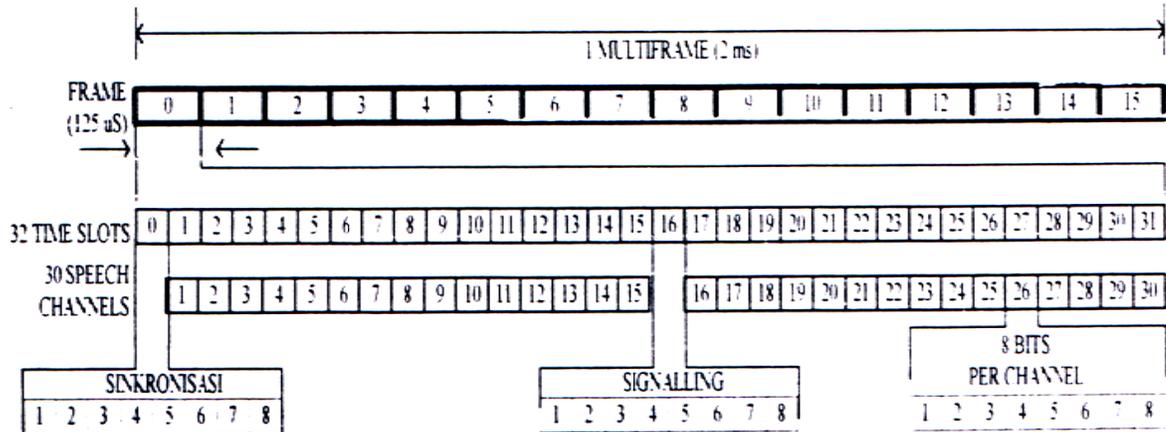
Multiplexer adalah alat yang digunakan untuk melakukan multipleksing yaitu proses penggabungan beberapa sinyal menjadi satu aliran serial. Dan di bagian penerima dilakukan proses demultiplekser. Demultiplekser merupakan alat yang digunakan untuk melakukan de-multipleksing yaitu pemisahan beberapa sinyal dari

satu aliran serial menjadi beberapa aliran serial yang biasanya digunakan pada penerima PCM.

Untuk aplikasinya yang ada di lapangan sekarang ini adalah pemanfaatan untuk sistem transmisi PCM-30 yang artinya bahwa dalam pengiriman sinyal PCM tersebut yang dimodulasikan adalah 30 kanal dalam satu modulasi PCM yang untuk pembagian pendudukan kanal-kanal tersebut ditentukan dalam time-time slot.

Yang untuk lebih jelasnya pembagian frame tersebut adalah seperti berikut ini.

Keterangan : 1 Frame = 32 time slot



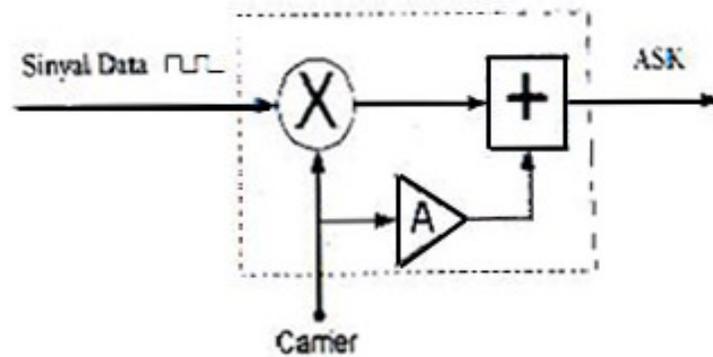
BAB XI SISTEM MODULASI DIGITAL

11.1. Amplitude Shift Keying (ASK)

11.1.1. Modulasi ASK

Modulasi ASK dapat dipandang sebagai modulasi amplituda dengan pemodulasi sinyal data biner (bit "0" atau bit "1") seperti halnya pada modulasi AM. Jadi sinyal ASK merepresentasikan sinyal data biner "0" dan "1" dengan level amplituda yang berbeda.

Diagram blok modulator ASK dapat digambarkan sebagai berikut :



Gambar 11.1 Diagram Blok Modulator ASK

Sinyal data biner "0" dan "1" NRZ unipolar dapat dinyatakan sebagai :

$$x(t)_{Unipolar} = \begin{cases} V & ; \text{bit "1"} \\ 0 & ; \text{bit "0"} \end{cases} \dots\dots\dots(11.1)$$

Sinyal data $x(t)$ dengan format NRZ unipolar diubah menjadi sinyal data dengan format NRZ bipolar dengan suatu level shifter. Sinyal data biner ini direpresentasikan sebagai data bipolar ternormalisasi $b(t)$ dengan harga -1 Volt untuk "0" dan $+1$ Volt untuk "1".

$$x(t)_{Bipolar} = \begin{cases} V/2 & ; \text{bit "1"} \\ -V/2 & ; \text{bit "0"} \end{cases} = \frac{V}{2} b(t) ; b(t) \begin{cases} 1 & ; \text{bit "1"} \\ -1 & ; \text{bit "0"} \end{cases} \dots\dots\dots(11.2)$$

Jika sinyal carrier $C(t)$ dinyatakan sebagai :

$$C(t) = A \cos 2\pi f_c t \dots\dots\dots$$

(11.3)

Maka persamaan sinyal ASK secara umum adalah :

$$s(t)_{ASK} = A \left[1 + \frac{V/2}{A} b(t) \right] \cos 2\pi f_c t \dots\dots\dots(11.4)$$

$$= A [1 + m b(t)] \cos 2\pi f_c t \dots\dots\dots(11.5)$$

Dengan $m = \frac{V/2}{A}$ (indeks modulasi)

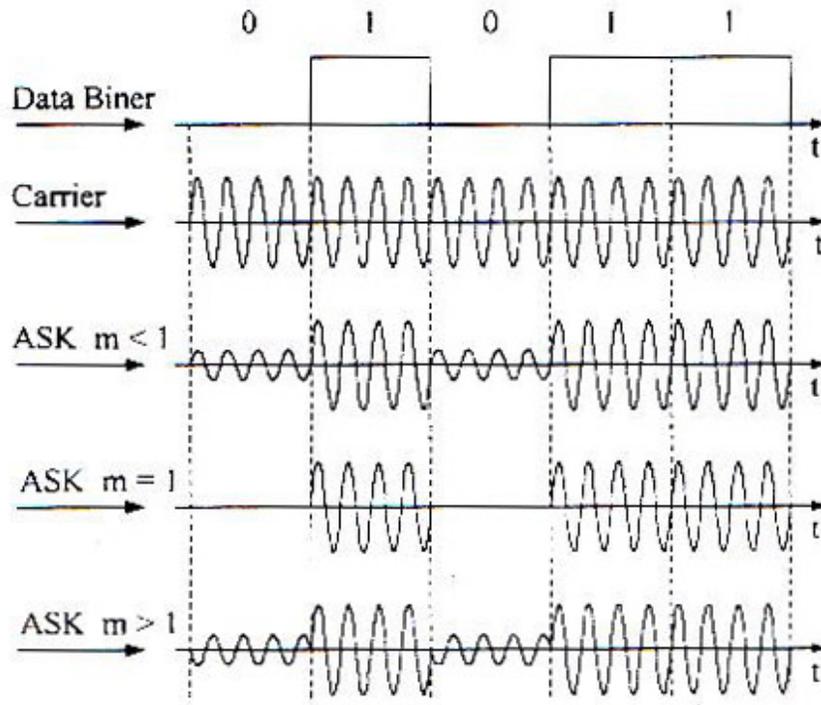
Persamaan (2.5) di atas dapat dituliskan sebagai berikut :

$$s(t)_{ASK} = A [1 - m] \cos 2 \pi f_c t \text{ untuk merepresentasikan bit "0" (11.6)}$$

$$s(t)_{ASK} = A [1 + m] \cos 2 \pi f_c t \text{ untuk merepresentasikan bit "1" (11.7)}$$

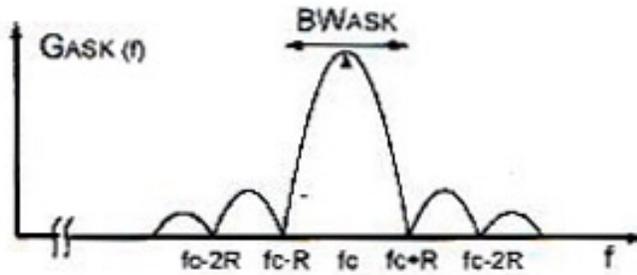
Dengan mengambil harga m yang berbeda, maka akan diperoleh bentuk gelombang yang berbeda. Untuk harga $m \neq 1$ proses modulasi ASK hampir sama dengan modulasi AM-DSB-Full Carrier, sedangkan untuk harga $m = 1$ (dikenal sebagai modulasi On-Off Keying / OOK) hampir sama dengan modulasi AM-DSB-Suppressed Carrier.

Proses modulasi ASK dapat digambarkan seperti pada gambar 2.



Gambar 11.2 Proses Modulasi ASK

Spektrum sinyal ASK adalah sebagai berikut :



Keterangan : f_c = frekuensi carrier

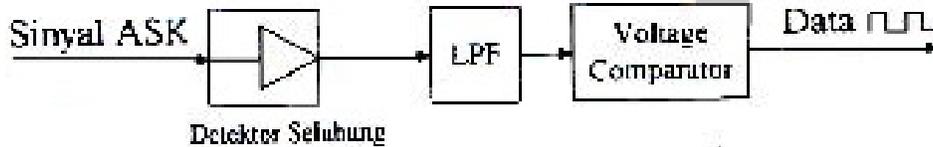
R = bit rate data = $1/T_b$

Gambar 11.3 Spektrum Sinyal ASK

11.1.2. Demodulasi ASK

Demodulator ASK dapat direalisasikan dengan menggunakan detektor selubung yang sederhana, baik untuk sinyal ASK maupun sinyal OOK. Hasil demodulasi diteruskan menuju Decision Circuit/Voltage Comparator untuk diregenerasi.

Diagram blok dari demodulator ASK dapat dilihat pada gambar 11.4 di bawah ini :



Gambar 11.4 Diagram Blok Demodulator ASK

Proses demodulasi sinyal ASK dapat dijelaskan sebagai berikut :

- Sinyal ASK dideteksi oleh detektor selubung yang prinsip kerjanya menyerupai penyearah, sehingga keluaran detektor selubung merupakan bagian positif saja dari sinyal ASK.

Sinyal ASK yang diterima detektor selubung secara matematis dapat dituliskan seperti halnya pada persamaan (11.5) :

$$\begin{aligned} s(t)_{ASK} &= A [1 + mb(t)] \cos 2 \pi f_c t \\ &= A [1 \pm m] \cos 2 \pi f_c t \dots\dots\dots (11.8) \end{aligned}$$

Sehingga keluaran dari detektor selubung adalah :

$$x(t)_{SLB} = |A [1 \pm m] \cos 2 \pi f_c t| \dots\dots\dots (11.9)$$

- Untuk mendapatkan selubung dari sinyal keluaran detektor selubung, diperlukan LPF untuk menghilangkan komponen sinyal carrier dari sinyal tersebut. Sehingga keluaran dari LPF yaitu :

$$x(t)_{LPF} = A [1 \pm m] \dots\dots\dots (11.10)$$

- Selanjutnya untuk mengembalikan ke bentuk pola data ke bentuk sinyal digital perlu dilakukan decision dan regenerasi sinyal keluaran LPF $x(t)_{LPF}$ dimana proses ini dilakukan oleh Voltage Comparator.

11.2. Frekuensi Shift Keying (FSK)

11.2.1. Modulasi FSK

Dalam modulasi frekuensi (FM), frekuensi carrier diubah-ubah harganya mengikuti harga sinyal pemodulasinya (analog) dengan amplitudo pembawa yang tetap.

Jika sinyal yang memodulasi tersebut hanya mempunyai dua harga tegangan "0" dan "1" (biner/digital), maka proses modulasi tersebut dapat diartikan sebagai proses penguncian frekuensi sinyal. Hasil gelombang FM yang dimodulasi oleh data biner ini kita sebut dengan *Frekuensi Shift Keying* (FSK).

Kita ketahui persamaan gelombang FM adalah :

$$X_{FM} = A \cos 2\pi \left[f_c t + K_f \int s(t) dt \right] \dots\dots\dots (11.11)$$

Jadi modulasi FSK adalah sinyal FM dengan pemodulasi biner yang hanya mempunyai dua harga "0" dan "1" yang dipresentasikan dengan harga *bipolar*. Jika sinyal pemodulasi tersebut adalah sinyal NRZ bipolar :

$$x(t)_{Bipolar} = \begin{cases} V/2 ; \text{bit "1"} \\ -V/2 ; \text{bit "0"} \end{cases} = \frac{V}{2} b(t) ; b(t) \begin{cases} 1 ; \text{bit "1"} \\ -1 ; \text{bit "0"} \end{cases} \dots\dots\dots (11.12)$$

Sehingga dapat dituliskan menjadi :

$$\begin{aligned} X(t)_{FSK} &= A \cos 2\pi \left[f_c t + K_f \int x(t) dt \right] \\ &= A \cos 2\pi \left[f_c t + K_f \int \frac{V}{2} b(t) dt \right] \\ &= A \cos 2\pi \left[f_c t + K_f \frac{V}{2} b(t) t \right] \dots\dots\dots (11.13) \\ &= A \cos 2\pi \left[f_c t \pm K_f \frac{V}{2} t \right] = A \cos 2\pi [f_c \pm \Delta f] t \end{aligned}$$

Deviasi frekuensi maksimum Δf adalah $K_f \frac{V}{2}$ sehingga frekuensi FSK adalah :

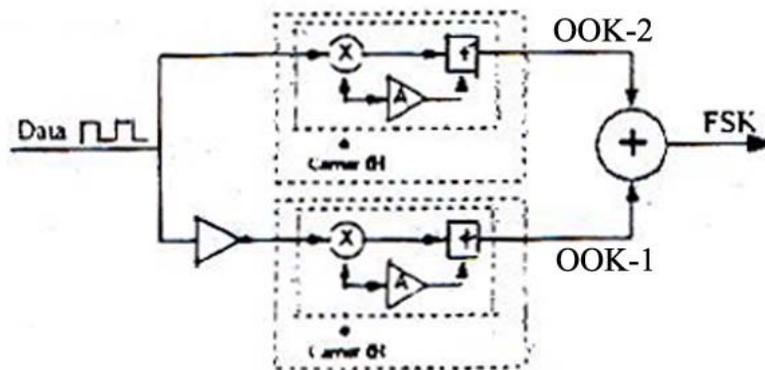
$$f(t) = f_c \pm K_f \frac{V}{2} = f_c \pm \Delta f \dots \dots \dots (11.14)$$

Modulasi FSK dapat juga direalisasikan sebagai penjumlahan dua buah sinyal OOK (On-Off Keying) yang saling bergantian untuk bit "1" dan bit "0", dengan frekuensi carrier f_H dan f_L . OOK-1 membawa data dengan frekuensi yang lebih tinggi f_H dan OOK-2 membawa data komplement dengan frekuensi yang lebih rendah f_L , jadi :

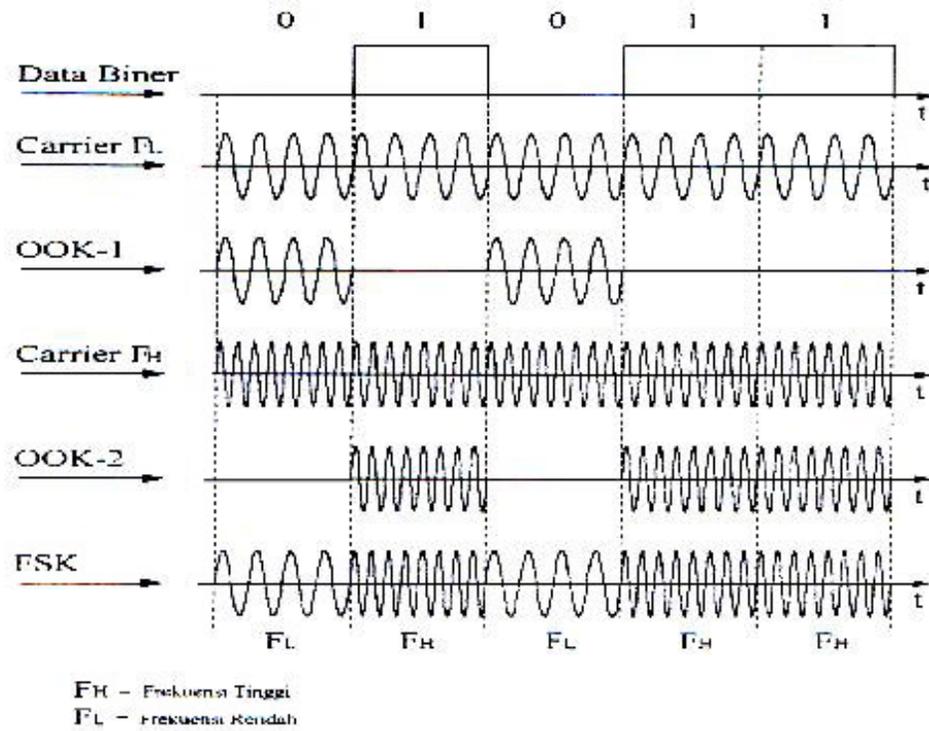
$$X(t)_{OOK"1"} \quad \text{pada frekuensi} \quad f_H = f_c + \Delta f$$

$$X(t)_{OOK"0"} \quad \text{pada frekuensi} \quad f_H = f_c - \Delta f$$

Diagram blok modulator FSK dapat dilihat pada gambar 11.5 di bawah ini :

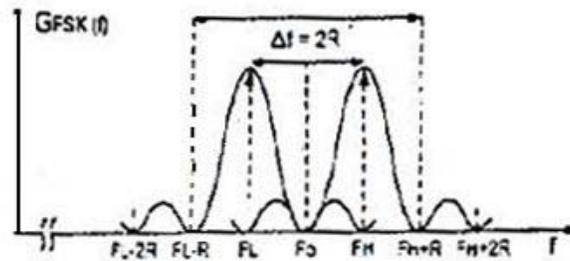


Gambar 11.5 Modulator FSK dari 2 Modulator OOK



Gambar 11.6 Proses Modulasi FSK

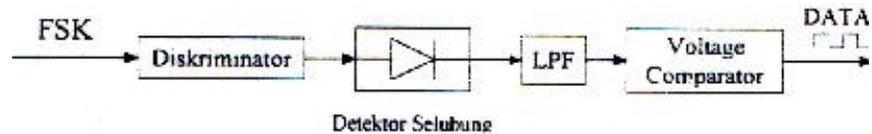
Spektrum frekuensi FSK merupakan gabungan ASK-1 dan ASK-2. Untuk kasus $\Delta f = R$ ($R = \text{bit rate data}$) maka spektrum sinyal FSK dapat digambarkan seperti pada gambar 7 di bawah ini :



Gambar 11.7 Spektrum FSK

11.2.2. Demodulasi FSK

Diagram blok demodulator FSK dapat digambarkan seperti pada gambar 8 di bawah ini :



Gambar 11.8 Diagram Blok Demodulator FSK

Adapun cara kerja dari demodulator FSK tersebut dapat dijelaskan sebagai berikut :

- Sinyal FSK masuk ke suatu diskriminator
Diskriminator merupakan penguat yang penguatannya bergantung pada frekuensi. Ada dua kemungkinan kebergantungan pada frekuensi tersebut yaitu saat frekuensi yang masuk ke penguat tersebut lebih tinggi dari sebelumnya, maka penguatannya naik atau sebaliknya saat frekuensi yang masuk ke penguat tersebut lebih tinggi dari sebelumnya maka penguatannya menurun. Dalam percobaan ini jenis diskriminator yang kita gunakan adalah diskriminator yang jika frekuensi sinyal yang masuk lebih tinggi dari sebelumnya maka penguatannya akan naik.
- Sinyal keluaran diskriminator merupakan sinyal FM-AM, yaitu selain frekuensinya berubah sesuai dengan pola data, amplitudonya pun juga demikian.
- Karena amplitudo sinyal FSK tersebut sudah berubah sesuai dengan pola data, maka dapat kita gunakan detektor selubung dan *Low Pass Filter* (LPF) untuk *me-recovery* sinyal data yang dibawa sinyal FSK tadi, namun demikian sinyal output LPF masih merupakan sinyal analog.
- Sehingga untuk mengembalikan pola data ke bentuk sinyal diskrit (digital) perlu dilakukan penentuan level sinyal, apakah sebagai sinyal data biner bit “1” atau bit “0”, dengan membandingkan kepada level referensi tertentu (proses regenerasi), yang dilakukan oleh *voltage comparator*.

11.3 Phase Shift Keying (PSK)

Jenis modulasi Phase Shift Keying (PSK) lebih sering dipakai pada transmisi digital jika dibandingkan dengan jenis modulasi yang lain karena kelebihan-kelebihan sebagai berikut:

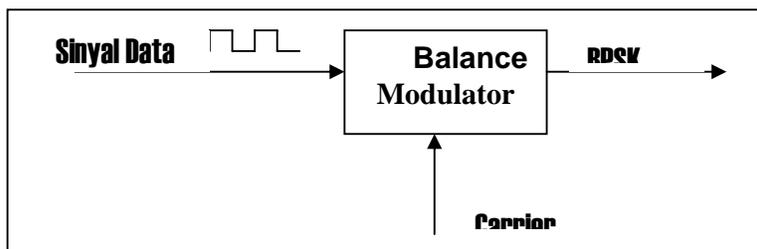
- Performansi interferensinya lebih baik
- Jumlah level yang dikodekan lebih banyak
- Bandwidthnya lebih kecil

Modulasi phase dapat dibedakan sebagai berikut:

11.2.1. Binary Phase Shift Keying (BPSK)

11.2.1.1. Modulasi BPSK

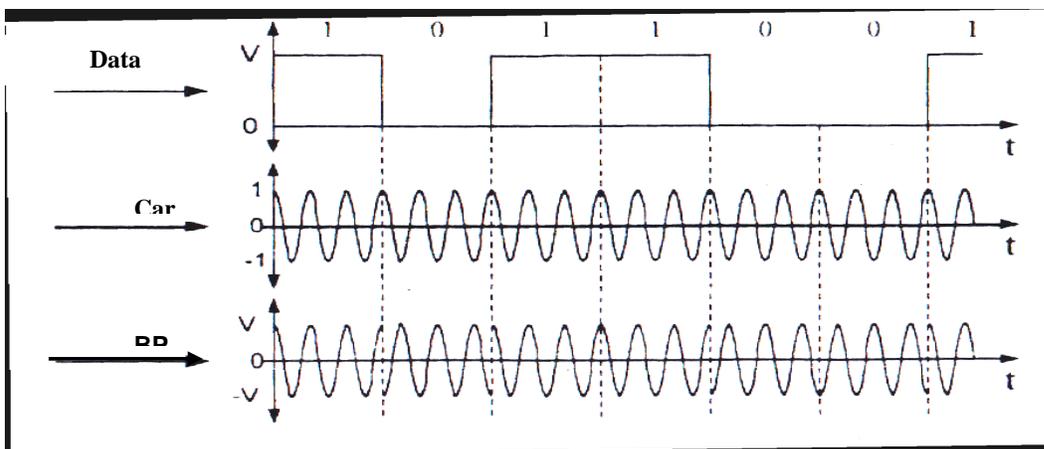
Teknik modulasi BPSK merupakan salah satu jenis modulasi digital. Diagram blok modulator BPSK terlihat pada gambar 1 dibawah ini.



Gambar 11.9 Diagram Blok Modulator BPSK

Phase Shift Keying-2Ø atau BPSK (*Binary Phase Shift Keying*) merupakan bentuk modulasi PSK dengan cara mengubah fasa dari frekuensi pembawa sesuai dengan data biner. Pada PSK-2Ø terdapat dua level sinyal, yaitu binary '0' yang dinyatakan dengan phase θ_1 dan binary '1' yang dinyatakan dengan phase φ_2 . Antara θ dan φ selalu berbeda phase 180° .

Jadi, pada modulasi BPSK, informasi yang dibawa akan mengubah fasa sinyal pembawa, seperti pada gambar 11.10 berikut:



Gambar 11.10 Proses Pembentukan Sinyal BPSK

Proses pembentukan sinyal BPSK dapat dijelaskan sebagai berikut:

- Sinyal data biner bipolar mempunyai dua level tegangan $+V$ dan $-V$, masing-masing menyatakan bit '1' dan '0'. Persamaan matematisnya :

$$d(t) = \begin{cases} +V & ; \text{ untuk bit "1"} \\ -V & ; \text{ untuk bit "0"} \end{cases} \dots\dots\dots(11.15)$$

- Oleh *Mixer*, data tersebut 'dikalikan' dengan sinyal pembawa sehingga keluaran *mixer* merupakan sinyal BPSK. Proses tersebut dijelaskan secara matematis sebagai berikut :

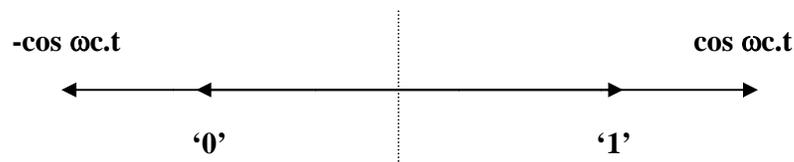
$$S_{BPSK}(t) = d(t) \times C(t) = \begin{cases} +V \cos \omega_c t & ; \text{ untuk bit '1'} \\ -V \cos \omega_c t & ; \text{ untuk bit '0'} \end{cases} = \begin{cases} V \cos(\omega_c t + 0) \\ V \cos(\omega_c t + \pi) \end{cases}$$

atau dapat dituliskan :

$$S_{BPSK}(t) = V \cos(\omega_c t + \phi) \cos \omega_c t \quad ; \text{ dengan } \phi = 0 \text{ atau } \pi \dots (11.16)$$

- Sinyal BPSK dapat dinyatakan dalam diagram kartesian dengan sumbu horizontal menyatakan cosinus dan sumbu vertikal menyatakan sinus. Diagram ini disebut sebagai diagram konstelasi sinyal.

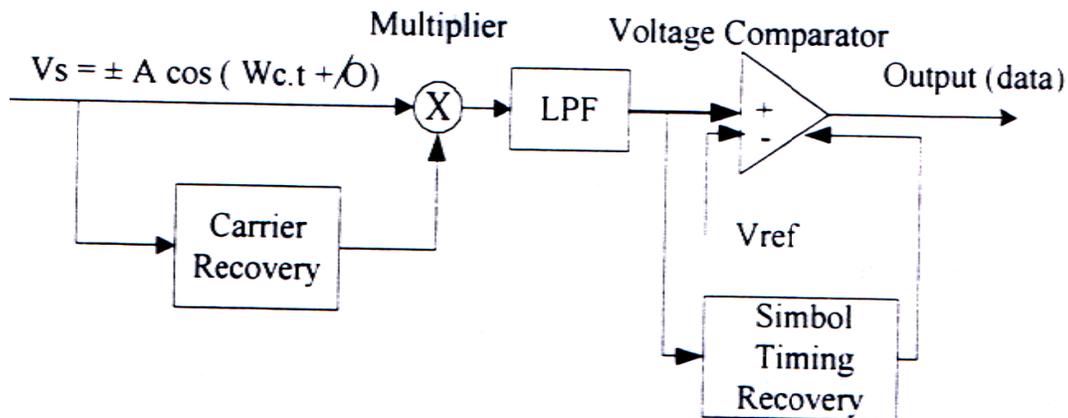
Diagram konstelasi untuk sinyal BPSK adalah :



Gambar 11.11 Diagram Konstelasi Sinyal BPSK

11.2.1.2. Demodulasi BPSK

Diagram blok dari penerima/demodulator BPSK dapat digambarkan seperti pada gambar 4 di bawah ini :



Gambar 11.12 Diagram Blok Demodulator BPSK

Proses demodulasi sinyal BPSK dapat dijelaskan sebagai berikut :

- Sinyal BPSK oleh *mixer* 'dikalikan' dengan sinyal pembawa yang dibangkitkan oleh *carrier recovery*. Secara matematis sinyal output *mixer* tersebut dapat dituliskan sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 S_{OM}(t) &= S_{BPSK}(t) \times S_c(t) = V \cos(\omega_c t + \phi) \cos \omega_c t \\
 &= V(\cos^2 \omega_c t \cos \phi - \sin \omega_c t \sin \phi \cos \omega_c t) \\
 &= V \left\{ \frac{1}{2} (1 - \cos 2\omega_c t) \cos \phi - \frac{1}{2} \sin 2\omega_c t \sin \phi \right\} \dots\dots\dots(11.17) \\
 &= \frac{V}{2} \cos \phi - \frac{V}{2} \cos 2\omega_c t \cos \phi - \frac{V}{2} \sin 2\omega_c t \sin \phi
 \end{aligned}$$

Kemudian oleh *Low Pass Filter (LPF)* komponen frekuensi tinggi diredam dan frekuensi rendah dilewatkan, sehingga dihasilkan sinyal frekuensi rendah yang polanya sama dengan data, sinyalkeluaran LPF ($S_{OLPF}(t)$) adalah :

$$S_{OLPF}(t) = \frac{V}{2} \cos \phi \dots\dots\dots(11.18)$$

- Karena ϕ hanya bernilai 0 dan π maka $S_{OLPF}(t)$ adalah berharga $+V/2$ atau $-V/2$ yang merupakan data yang dibawa oleh pembawa.
- *Voltage comparator* berfungsi melakukan '*decision*' dan sekaligus sebagai *regenerator*.
 - Bila input comparator $> V_{ref}$, maka outputnya = $+V$ (bit '1')
 - Bila input comparator $< V_{ref}$, maka outputnya = $-V$ (bit '0')

11.2.2. Phase Shift Keying-4 ϕ (PSK-4 ϕ)/QPSK

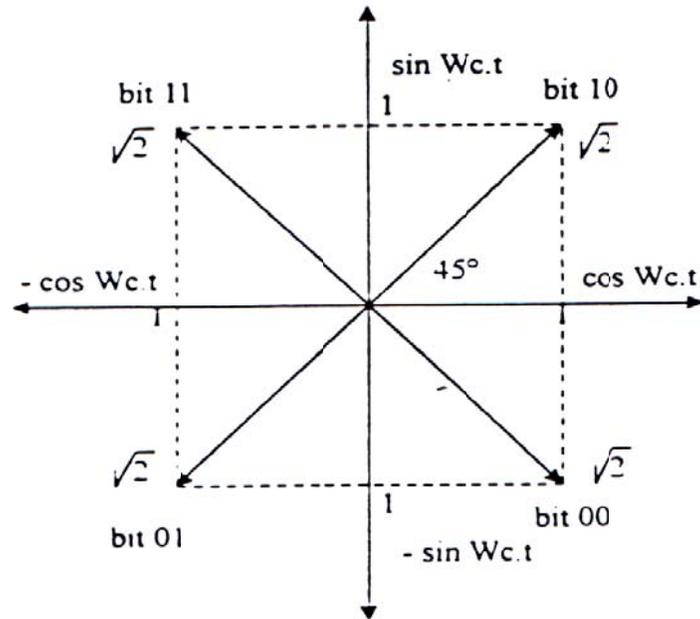
11.2.2.1. Modulasi QPSK

Modulasi QPSK merupakan modulasi yang sama dengan BPSK, hanya saja pada modulasi QPSK terdapat 4 (empat) level sinyal, yang merepresentasikan 4 kode binary yaitu '00', '01', '11', '10'. Masing-masing level sinyal disimbolkan pada perbedaan phasa sebesar 90° , sehingga sebagai salah satu contoh sinyal QPSK dapat direpresentasikan dalam persamaan matematisnya sebagai berikut :

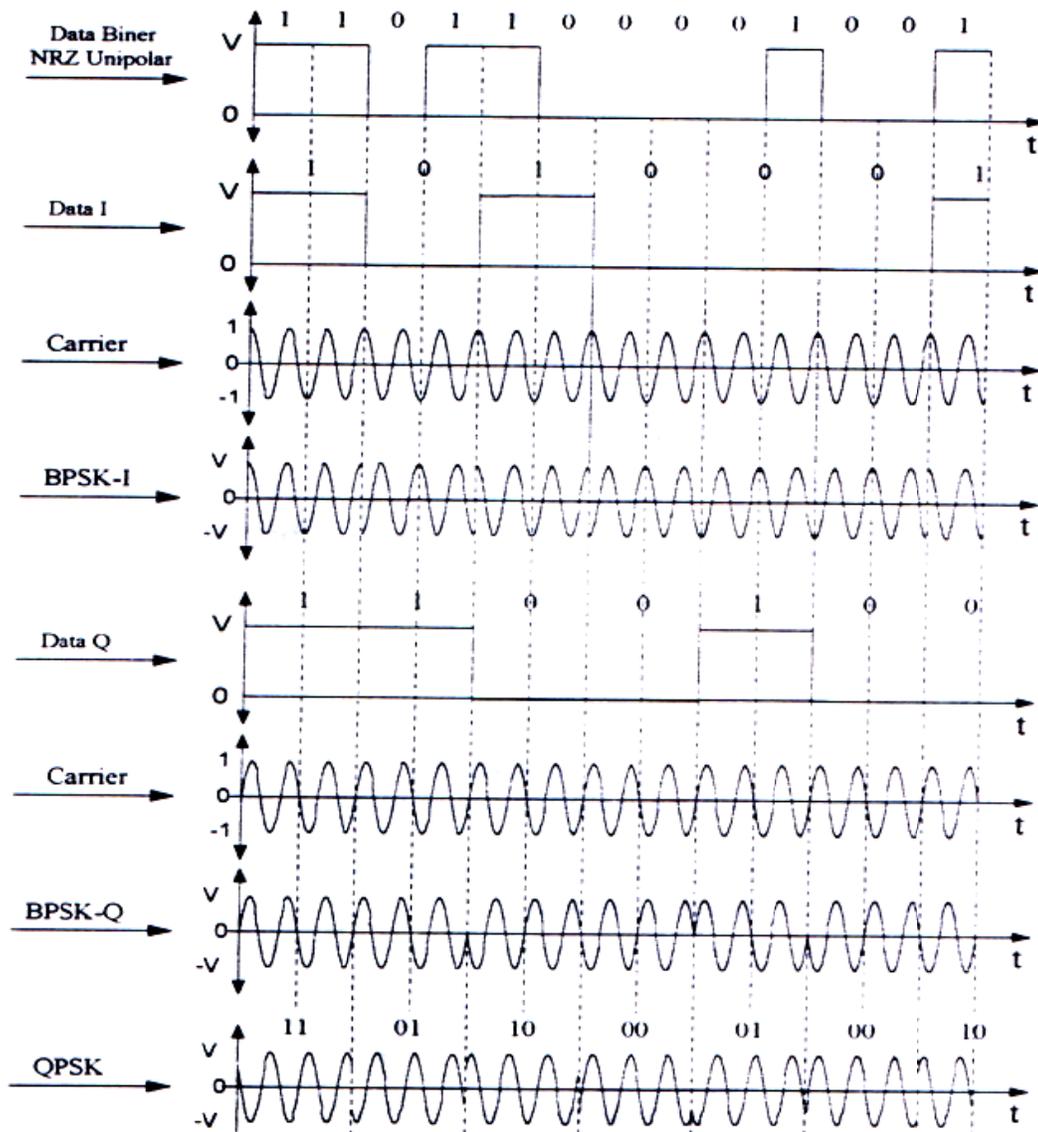
$$S_{QPSK}(t) = \begin{cases} A\sqrt{2} \cdot \cos(\omega_c t + 315^\circ) & ; \text{ untuk binary '00'} \\ A\sqrt{2} \cdot \cos(\omega_c t + 225^\circ) & ; \text{ untuk binary '01'} \\ A\sqrt{2} \cdot \cos(\omega_c t + 135^\circ) & ; \text{ untuk binary '11'} \dots\dots\dots(11.19) \\ A\sqrt{2} \cdot \cos(\omega_c t + 45^\circ) & ; \text{ untuk binary '10'} \end{cases}$$

Untuk lebih jelasnya perhatikan bentuk-bentuk sinyal pada gambar 5 berikut yang merupakan proses pembentukan sinyal QPSK.

Seperti halnya sinyal BPSK, sinyal QPSK dapat dinyatakan dalam diagram kartesian dengan sumbu horisontal menyatakan kosinus dan sumbu vertikal menyatakan sinus diagram dinamakan diagram konstelasi sinyal QPSK.

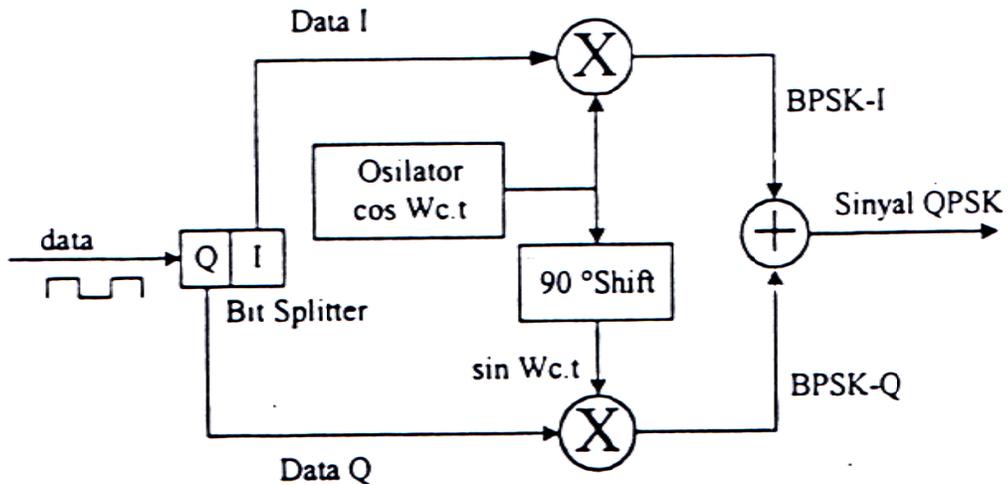


Gambar 11.13 Diagram Konstelasi Sinyal QPSK



Gambar 11.14 Proses Pembentukan Sinyal QPSK

Dari diagram konstelasi tersebut di atas dapat dibuat perangkat modulator QPSK dengan diagram bloknya sebagai berikut :



Gambar 11.15 Diagram Blok Modulator QPSK

Cara kerja modulator QPSK adalah sebagai berikut :

- Sinyal data dipisahkan oleh *bit splitter* menjadi data Q (bit urutan genap) dan I (bit urutan ganjil).
- Data Q (*Quadrature*) memodulasi sinyal *carier Quadrature* (sinyal sinus) dan data I (*In-phase*) memodulasi sinyal *carier In-phase* (sinyal cosinus), sehingga menjadi sinyal BPSK-Q dan BPSK-I. Persamaan matematisnya sebagai berikut :

$$S_{BPSK-Q}(t) = d_Q(t) \sin \omega_c t = V \sin(\omega_c t + \phi) \dots \dots \dots (11.20)$$

$$\text{dengan } \begin{cases} d_Q = '0' \rightarrow \phi = 0 \\ d_Q = '1' \rightarrow \phi = \pi \end{cases}$$

$$S_{BPSK-I}(t) = d_I(t) \cos \omega_c t = V \cos(\omega_c t + \phi) \dots \dots \dots (11.21)$$

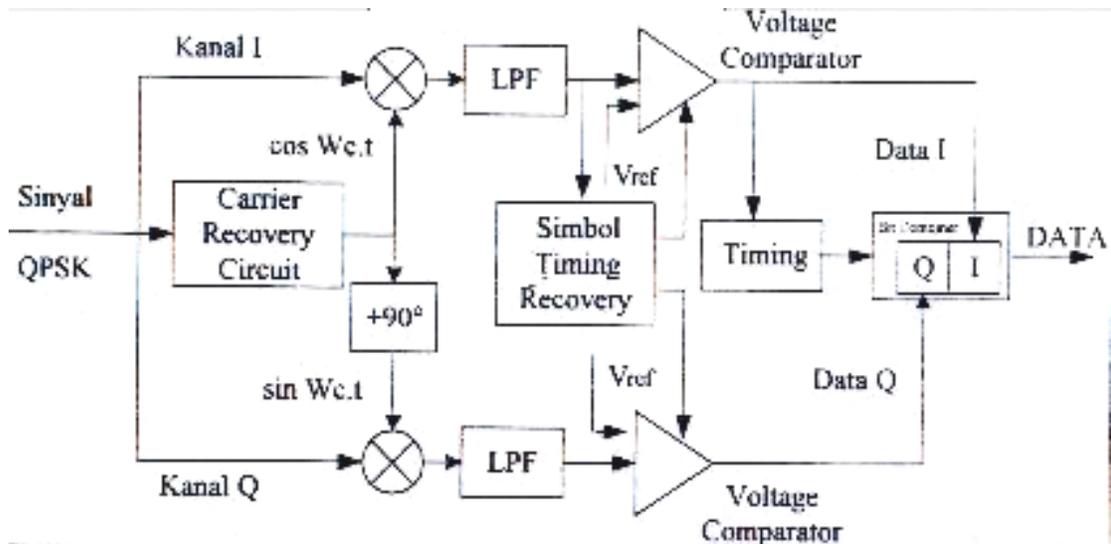
$$\text{dengan } \begin{cases} d_I = '0' \rightarrow \phi = 0 \\ d_I = '1' \rightarrow \phi = \pi \end{cases}$$

$$S_{QPSK}(t) = S_{BPSK-Q}(t) + S_{BPSK-I}(t) \dots \dots \dots (11.22)$$

- Kemudian BPSK-Q dan BPSK-I dijumlahkan oleh *adder* sehingga menjadi sinyal QPSK yang memiliki diagram konstelasi dan persamaan sinyal sebagaimana diatas.

11. 2.2.2 Demodulasi QPSK

Sistem demodulasi QPSK dapat dilakukan dengan cara seperti pada gambar 8.



Gambar 11.16 Diagram Blok Demodulator QPSK

Cara kerja sistem di atas secara garis besarnya adalah sebagai berikut:

- *Carrier recovery* membangkitkan sinyal pembawa dari sinyal QPSK yang mana sinyal pembawa tersebut adalah sinyal *carrier In-phase* (sinyal cosinus). Agar didapat sinyal *carrier Quadrature* (sinyal sinus), sinyal carier tersebut digeser sebesar 90^0 oleh penggeser fasa .
- Sinyal pembawa I dan Q masing-masing 'dikalikan' oleh *mixer* dengan sinyal QPSK sehingga dihasilkan sinyal yang polanya sama dengan data I dan data Q, tentu saja masing-masing masih terdapat komponen frekuensi tinggi.
- Komponen frekuensi tinggi pada kedua sinyal yang polanya sama dengan data I dan data Q masing-masing diredam dengan *Low Pass Filter (LPF)*.
- Agar diperoleh sinyal diskrit yaitu data I dan data Q kembali, haruslah dibandingkan dengan tegangan referensi tertentu untuk menyatakan apakah sebagai bit '1' atau bit '0'. Proses ini dilakukan oleh *voltage comparator*.
- Dengan diperolehnya sinyal data I dan Q maka untuk tahap terakhir diperlukan suatu perangkat yang dapat digunakan untuk mengkombinasikan kedua bit tersebut menjadi satu deretan bit. Perangkat tersebut adalah *bit combiner* atau *Paralel to serial Converter*.