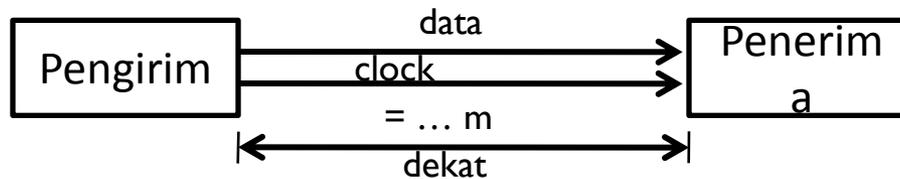


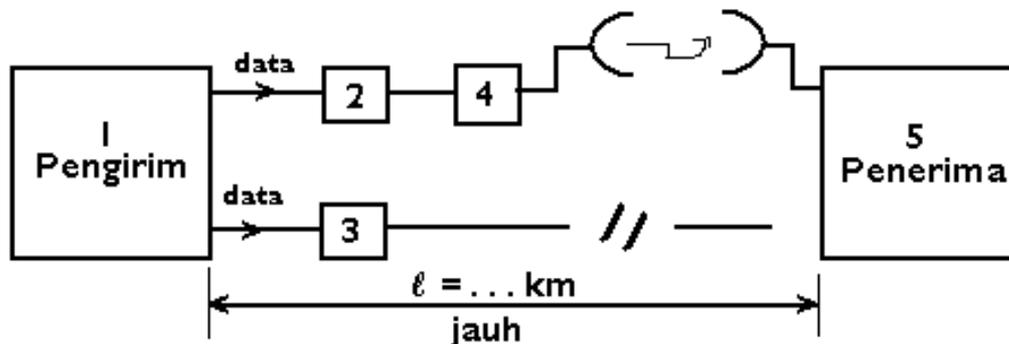
Line Coding dan Eye Patern

VI. LINE CODE

Sinyal PCM digital kode biner “0” dan “1” hanya dapat ditransmisikan untuk jarak pendek saja misal beberapa meter, misal dari satu multiplexer ke multiplexer berikutnya yang lebih tinggi, atau dari rak radio ke rak radio lain, atau dari rak terminal line serat optik ke rak terminal line serat optik berikutnya; yang letaknya tidak jauh.



Data sinyal biner tersebut di atas berupa sinyal unipolar NRZ atau RZ untuk transmisi sinyal PCM. Jarak jauh; clock tidak dikirimkan. Sinyal clock diperoleh dari data yang dikirim di pengirim, yaitu dengan rangkaian “clock recovery”.



Ket :

1. Pengirim
2. Code Converter =line interface
3. Code Converter
4. Modulator Digital : ASK, FSK, PSK, dll.

Untuk transmisi PCM jarak jauh; sinyal unipolar PCM diubah menjadi sinyal bipolar :
HDB₃ atau CMI.

- HDB₃ untuk transmisi dengan bit rate ≥ 34 Mbps
- CMI untuk transmisi dengan bit rate > 34 Mbps.

Ada beberapa tipe transmisi pulsa : tipe-tipe pulsa tersebut disebut sebagai “Line Coding”; alat untuk mengkonversi kode-kode tersebut disebut sebagai “Code Converter” atau “Line Interface”.

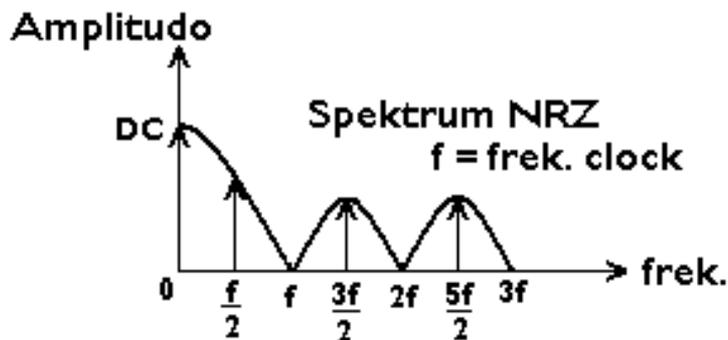
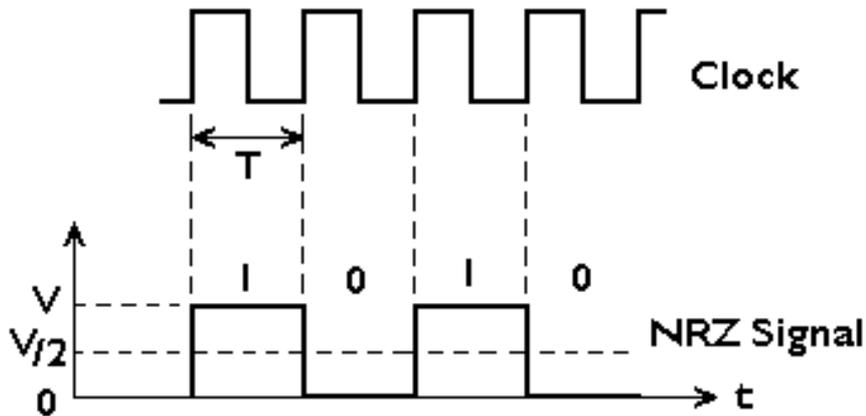
- * Ada 2 kategori utama dalam line code : unipolar dan bipolar.
- * Juga ada 2 kategori pulsa-pulsa dalam line code : RZ (Return to Zero) dan NRZ (Non Return to Zero).
- * Jenis-jenis line code yang sering digunakan (PCM 30) :
 - NRZ
 - RZ
 - AMI
 - HDB₃

* Ciri-ciri dasar pengkodean untuk pulsa (sinyal digital) harus memenuhi kondisi-kondisi berikut:

1. Tidak banyak (tidak) mengandung komponen arus DC, karena sistem transmisi saluran kawat menggunakan transformator (kopling induktif) atau kopling kapasitif, agar loop terhadap ground tidak muncul
2. Energi pada frekuensi rendah harus kecil, secara fisik komponen-komponen besar diperlukakn untuk equalisasi
3. Sinyal data “0” (0 Volt) deretan panjang harus dihindari, agar di sisi penerima proses perolehan sinyal clock dapat dilakukan
4. Sinyal yang telah dikodekan harus dapat dikodekan kembali di sisi penerima untuk memperoleh sinyal informasi biner orisinilnya
5. Efisiensi pengkodean harus tinggi untuk mengurangi bandwidth
6. Kode harus memiliki kesalahan yang rendah
7. Kesalahan harus mampu dideteksi (dikoreksi) agar didapat performan yang tinggi.

* **Line Code : NRZ (Non Return to Zero) : (100% unipolar)**

Kode-kode sinyal NRZ adalah “0” (0V) selama 1 siklus penuh jika data biner adalah “0”. Dan “1” (+V) selama 1 siklus penuh jika data biner adalah “1”.



Gb. Kode NRZ dan Spektrumnya

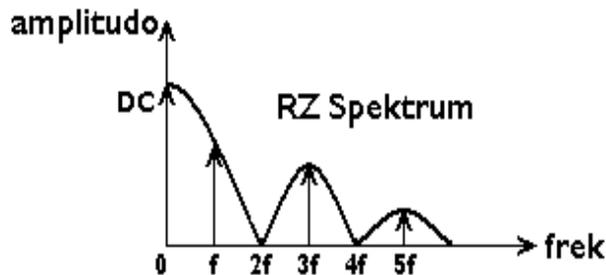
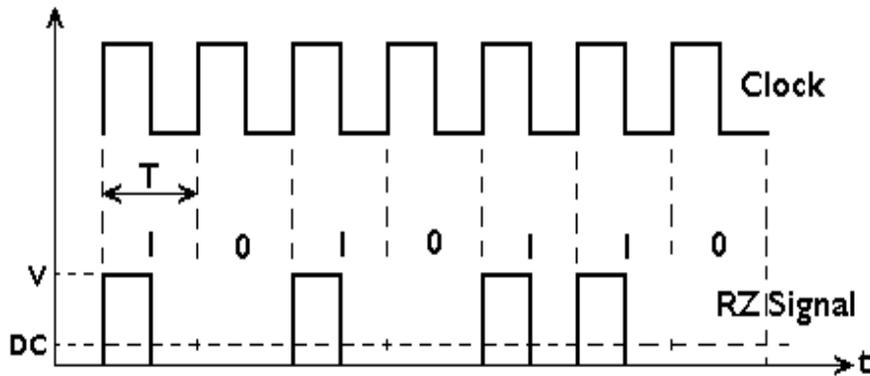
Sinyal kode NRZ :

- Spektrum memiliki komponen DC
- Frekuensi fundamental terjadi pada separoh frekuensi clock ($f/2$)
- Hanya frekuensi-frekuensi harmonisa bernomor ganjil yang muncul
- Tidak ada sinyal pada frekuensi clock f , sehingga tidak mungkin diperoleh clock di sisi penerima
- Jika terjadi noise puncak selama transmisi untuk sinyal “0”, maka sinyal ini nampak sebagai “1” sehingga tidak terdeteksi sebagai kesalahan

* **Line Code : RZ (Return to Zero) : (50% unipolar)**

Kode sinyal RZ :

- ✓ Biner “0” dikodekan sebagai 0 (0V) selama 1 siklus penuh
- ✓ Biner “1” dikodekan sebagai “1” (+V) selama $\frac{1}{2}$ siklus pertama.



Gb. Kode RZ dan Spektrumnya

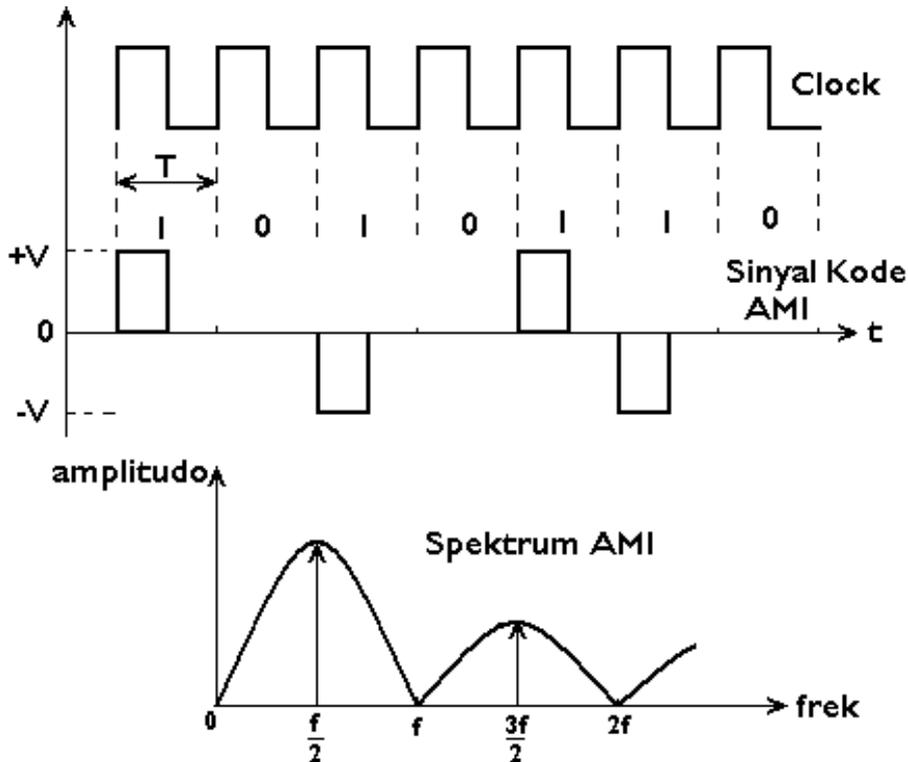
Sinyal kode RZ :

- Spektrum mengandung komponen DC
- Frekuensi fundamental pada frekuensi clock f
- Hanya frekuensi-frekuensi harmonisa nomor ganjil yang muncul
- Memungkinkan diperoleh sinyal (frekuensi) clock di penerima, jika data “0” urutan panjang tidak terjadi
- Deteksi kesalahan tidak mungkin dapat dilaksanakan
- Sinyal RZ unipolar ini jarang digunakan; lebih banyak digunakan sinyal RZ versi bipolar.

* **Line Code : AMI (Alternate Mark Inversion) : (bipolar code)**

Kode sinyal AMI :

- ✓ Sinyal bipolar
- ✓ Tiga tingkat amplitudo : yaitu $0V$, $+V$, $-V$
- ✓ Sinyal biner “0” dikodekan sebagai “0” ($0V$) selama 1 siklus
- ✓ Sinyal biner “1” dikodekan menjadi $+V$ atau $-V$ untuk $\frac{1}{2}$ siklus pertama, secara bergantian.



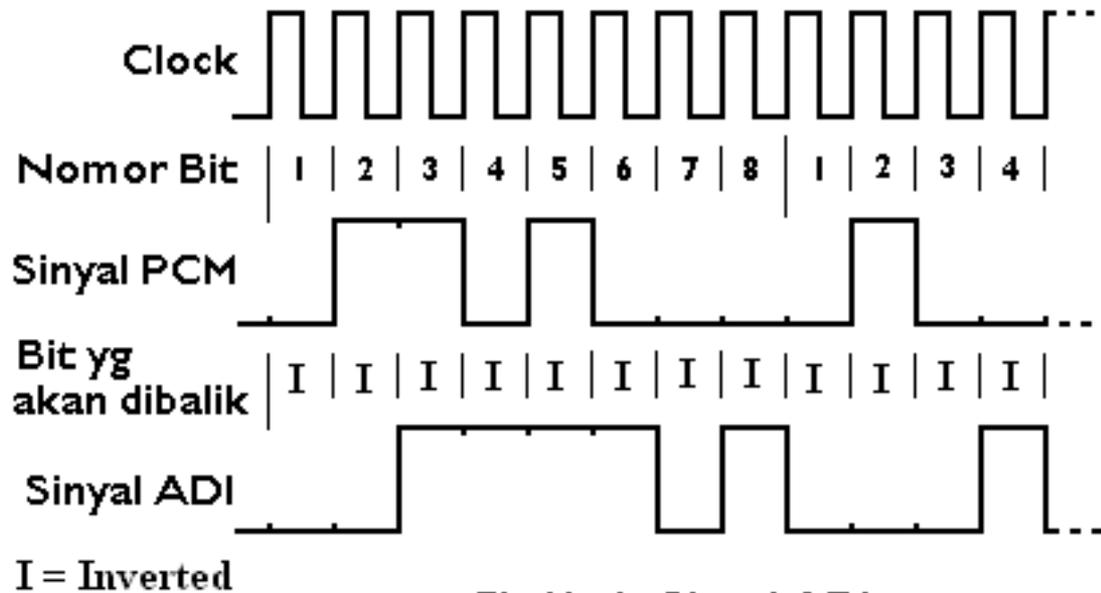
Gb. Kode AMI dan Spektrumnya

Sinyal kode AMI :

- Spektrum tidak mengandung komponen DC
- Koreksi kesalahan dapat dilakukan
- Pembangkitan kembali sinyal clock di penerima tidak mudah dilakukan jika data “0” urutan panjang dikirim
- Kode AMI digunakan untuk transmisi 1.544 Mbps dan 2.048 Mbps (REC.CCITT.G 703).

* **Line Code : ADI (Alternate Digit Inversion) :**

- ✓ ADI : unipolar 100% duty cycle
- ✓ Sinyal biner PCM ke dua dibalik polaritasnya pada sinyal kode ADI
- ✓ Sering digunakan ; mudah mendapatkan frekuensi clock di sisi penerima.



Gb. Kode Sinyal ADI

* Line Code HDB3

HDB3 = (High Density Bipolarity with a maximum of Three Zero)

Rekomendasi CCITT Rec.G.703 tentang aturan pengkodean HDB3 :

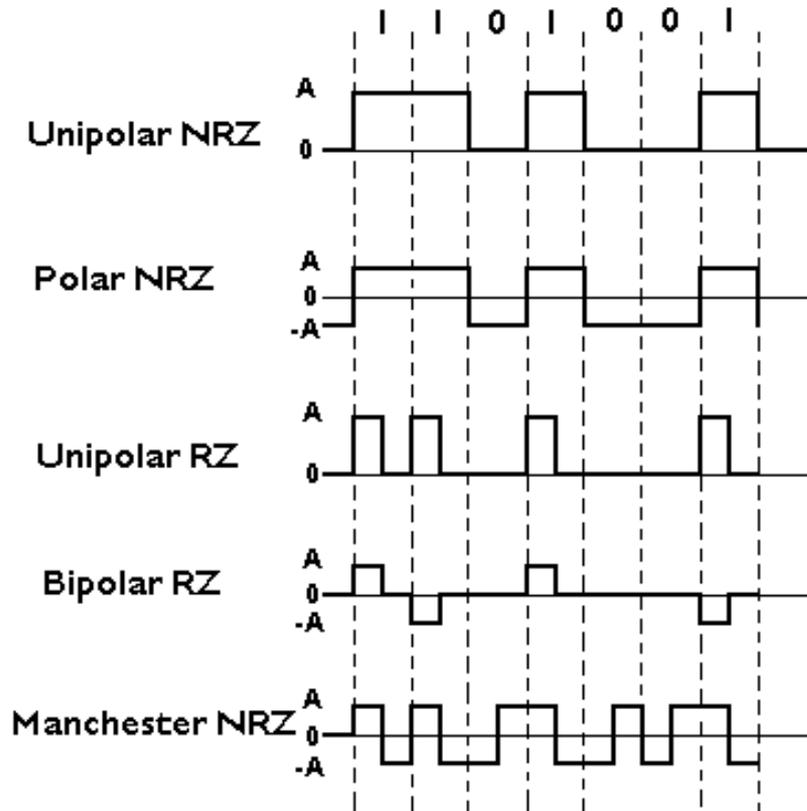
1. Sinyal kode HDB3 merupakan sinyal bipolar, tiga keadaan dinyatakan sebagai : B+, B- dan 0
2. Sinyal yang bukan merupakan data "0" sebanyak 4 bit berturut-turut, "1" pada sinyal biner (unipolar) dikodekan secara bergantian menjadi B+ dan B- pada sinyal HDB3
3. Sinyal yang merupakan data "0" sebanyak 4 bit berturut-turut pada sinyal unipolar, dikodekan sebagai :
 - a. Bit "0" pertama dikodekan sebagai "0" jika bit "1" sinyal HDB3 sebelumnya berpolaritas berlawanan dengan polaritas pulsa "Violation (V)" dan bukan merupakan pulsa violation itu sendiri. Dan dikodekan sebagai "1" (bukan violation) yaitu B+ dan B- jika pulsa (bit) "1" sinyal HDB3 sebelumnya berpolaritas sama dengan polaritas pulsa violation sebelumnya.
 - b. Bit "0" kedua dan ketiga selalu dikodekan sebagai "0"
 - c. Bit "0" keempat selalu dikodekan sebagai "1" (V) dengan polaritas selalu berlawanan dengan polaritas pulsa violation (V) sebelumnya.

A. Binary Line Coding

Data biner dapat ditransmisikan dengan berbagai macam bentuk pulsa-pulsa gelombang, bentuk-bentuk gelombang pulsa yang dipakai untuk mentransmisikan kode-kode tersebut disebut sebagai “Line Codes”. Bentuk kode-kode tersebut dinamakan :
(diantaranya)

- a. Unipolar NRZ (Non Return to Zero)
- b. Polar NRZ
- c. Unipolar RZ (Return to Zero)
- d. Bipolar RZ atau Ami (Alternate Made Indonesian)
- e. Manchester NRZ

Bentuk-bentuk gelombang tersebut adalah sebagai berikut :



* **Unipolar NRZ**

Bit 1 dinyatakan sebagai level tinggi (A Volt)

Bit 0 dinyatakan sebagai level 0

Disebut juga on off keying

* **Polar NRZ**

Bit 1 dinyatakan sebagai level positif (+A)

Bit 0 dinyatakan sebagai level negatif (-A)

* **Unipolar RZ**

Bit 1 dinyatakan sebagai level tinggi +A dari zero

Bit 0 dinyatakan sebagai level 0

* **Bipolar RZ**

Bit 1 dinyatakan sebagai level positif

Bit 0 dinyatakan sebagai level 0

* **Manchester NRZ**

Bit 1 dinyatakan sebagai level positif dan negatif berturut-turut

Bit 0 dinyatakan sebagai level negatif dan positif secara berturut-turut

Pembentukan kode-kode yang berbeda tersebut berdasarkan kepada kebutuhan-kebutuhan tertentu yang diperlukan dalam rangka transmisi sinyal, diantaranya :

- ✓ Self synchronization, dimana sinyal sinkronisasi antara pemancar dan penerima dapat diperoleh dari kode-kode tersebut
- ✓ Probabilitas kesalahan bit kecil
- ✓ Spektrum frekuensi yang sesuai dengan kanal transmisi
- ✓ Band width transmisi
- ✓ Kemampuan deteksi terhadap kesalahan bit

Kode-kode tersebut mempunyai sifat yang spesifik terhadap kendala transmisi di atas.

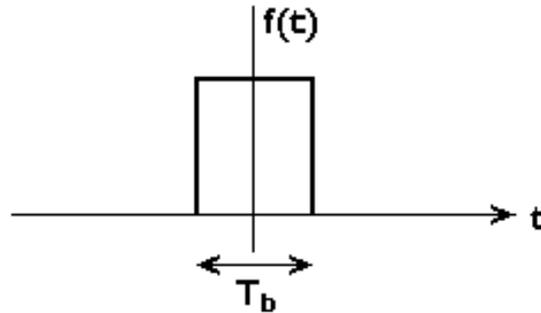
B. Spektral Daya untuk Kode-Kode Transmisi

I. Unipolar dan Polar NRZ

Power Spectral Density (PSD) untuk unipolar dan polar signaling

$$P(f) = \frac{1}{T_b} |F(f)|^2$$

$F(f)$ = transformasi Fourier dari bentuk polar dasar $f(t)$



$$f(t) = \text{rect}\left(\frac{t}{T_b}\right) \leftrightarrow F(f) = T_b \frac{\sin \pi f T_b}{\pi f T_b}$$

Power Spectral Density : (PSD)

$$P_{polar}(f) = T_b \left(\frac{\sin \pi f T_b}{\pi f T_b} \right)^2$$

$$P_{unipolar}(f) = \frac{1}{2} T_b \left(\frac{\sin \pi f T_b}{\pi f T_b} \right)^2 + \frac{1}{2} \delta(f)$$

2. Unipolar RZ

$$P(f) = \frac{|F(f)|^2}{T_b} \left[R(0) + 2 \sum_{k=1}^{\infty} R(k) \cos 2\pi k f T_b \right]$$

$F(f)$ = Spektrum dari bentuk polar

T_b = lebar pulsa

$R(k)$ = autokorelasi dari data

$$R(k) = \sum_{i=1}^I (a_n a_n + k) i P_i$$

$$F(f) = \frac{T_b}{2} \left[\frac{\sin \pi f (T_b/2)}{\pi f (T_b/2)} \right]$$

$$P(f)_{RZ} = \frac{T_b}{4} \left[\frac{\sin \pi f (T_b/2)}{\pi f (T_b/2)} \right]^2 \left[2 + 2 \sum_{k=1}^{\sim} \cos(2\pi k f T_b) \right]$$

$$= \frac{T_b}{4} \left[\frac{\sin \pi f (T_b/2)}{\pi f (T_b/2)} \right]^2 \left[1 + \sum_{k=-\sim}^{\sim} \rho^{jk\omega T_b} \right]$$

$$\sum_{k=-\sim}^{\sim} \rho^{jk2\pi f T_b} = \frac{1}{T_b} \sum_{n=-\sim}^{\sim} \delta \left(f - \frac{n}{T_b} \right)$$

$$P_{RZ}(f) = \frac{T_b}{4} \left[\frac{\sin \left(\pi f T_b/2 \right)}{\pi f T_b/2} \right]^2 \left[1 + \frac{1}{T_b} \sum_{n=-\sim}^{\sim} \delta \left(f - \frac{n}{T_b} \right) \right]$$

3. Bipolar RZ

$$P_{bipolar}(f)_{RZ} = \frac{T_b}{4} \left[\frac{\sin\left(\pi f T_b/2\right)}{\pi f T_b/2} \right]^2 (2 - 2 \cos 2\pi f T_b)$$

$$P_{bipolar\ RZ}(f) = T_b \left[\frac{\sin\left(\pi f T_b/2\right)}{\pi f T_b/2} \right] \sin^2 \pi f T_b$$

4. Manchester NRZ

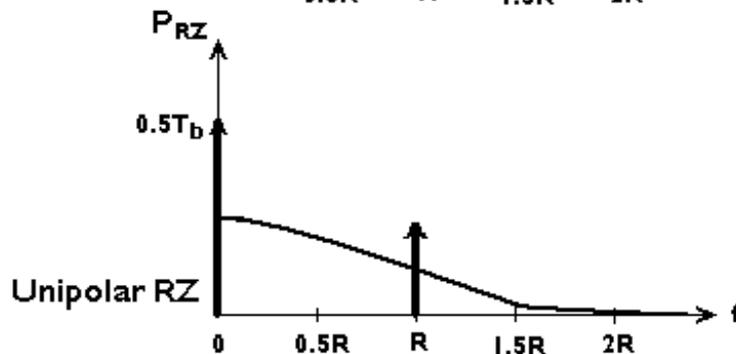
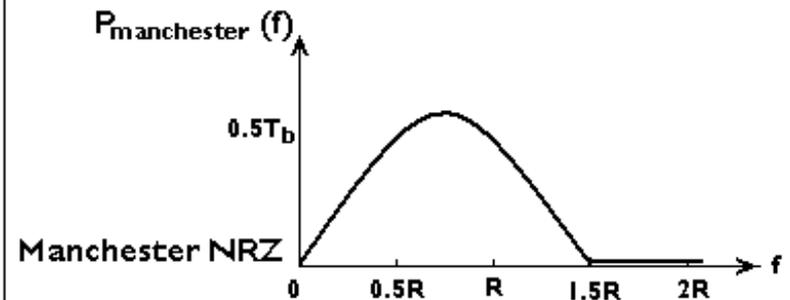
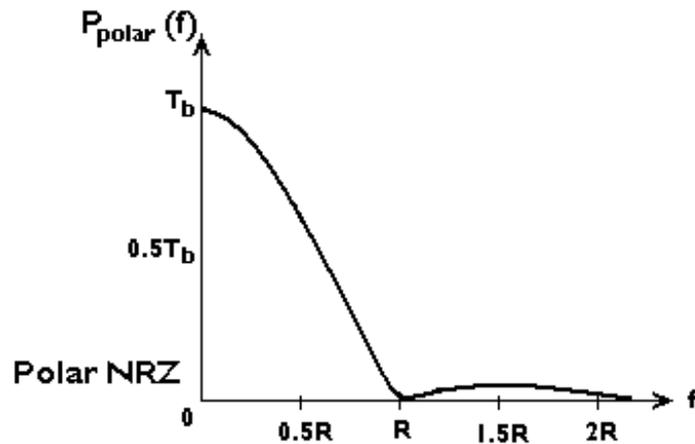
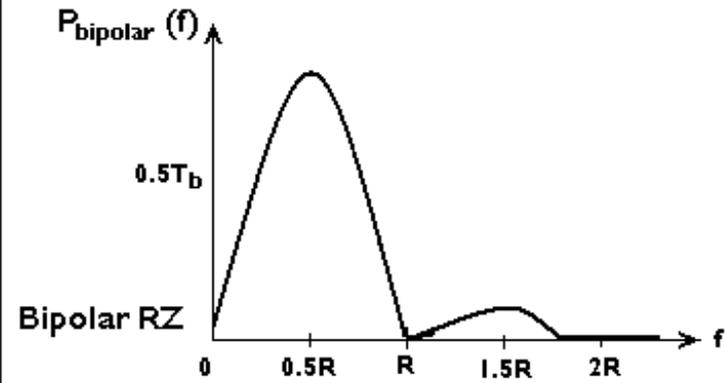
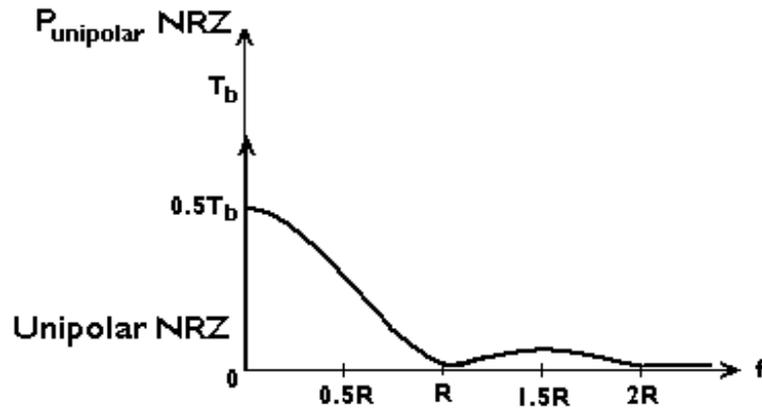
$$f(t) = \prod\left(\frac{t + T_b/4}{T_b/2}\right) - \prod\left(\frac{t - T_b/4}{T_b/2}\right)$$

Hasil spektrum pulsa :

$$F(f) = \frac{T_b}{2} \left[\frac{\sin\left(\pi f T_b/2\right)}{\pi f T_b/2} \right] \ell^{j\omega T_b/4} - \frac{T_b}{2} \left[\frac{\sin\left(\pi f T_b/2\right)}{\pi f T_b/2} \right] \ell^{-j\omega T_b/4}$$

$$P_{manchester}(f) = T_b \left[\frac{\sin\left(\pi f T_b/2\right)}{\pi f T_b/2} \right] \sin^2\left(\frac{\pi f T_b}{2}\right)$$

Power spektral density digambarkan sebagai berikut : (untuk frekuensi positif)



$R = \text{frekuensi impulse (diskrit)}$

$$R = \frac{1}{T_b}$$

Dari gambar-gambar kurva Power Spektral Density dapat dibedakan untuk masing-masing spektrum adalah sebagai berikut :

❑ Unipolar dan Polar NRZ

Spektrum menunjukkan bahwa pada level DC tidak mendekati 0, sehingga memerlukan rangkaian coupling DC. Keuntungan dari sinyal ini adalah mudah untuk dibangkitkan.

❑ Unipolar RZ

Nol bandwidth pertama = 2x nul bandwidth untuk sinyal unipolar atau polar NRZ. Komponen periodik ini dapat digunakan untuk clock recovery.

❑ Bipolar RZ

Bipolar RZ mempunyai spektrum 0 pada DC level sehingga rangkaian kopling AC dapat digunakan dalam transmisi. Clock recovery dapat dilakukan dengan mengubah terlebih dulu ke format unipolar RZ. Deretan bit-bit 0 menyebabkan kehilangan sinyal clock → diatasi dengan metoda HDBn.

❑ Manchester NRZ

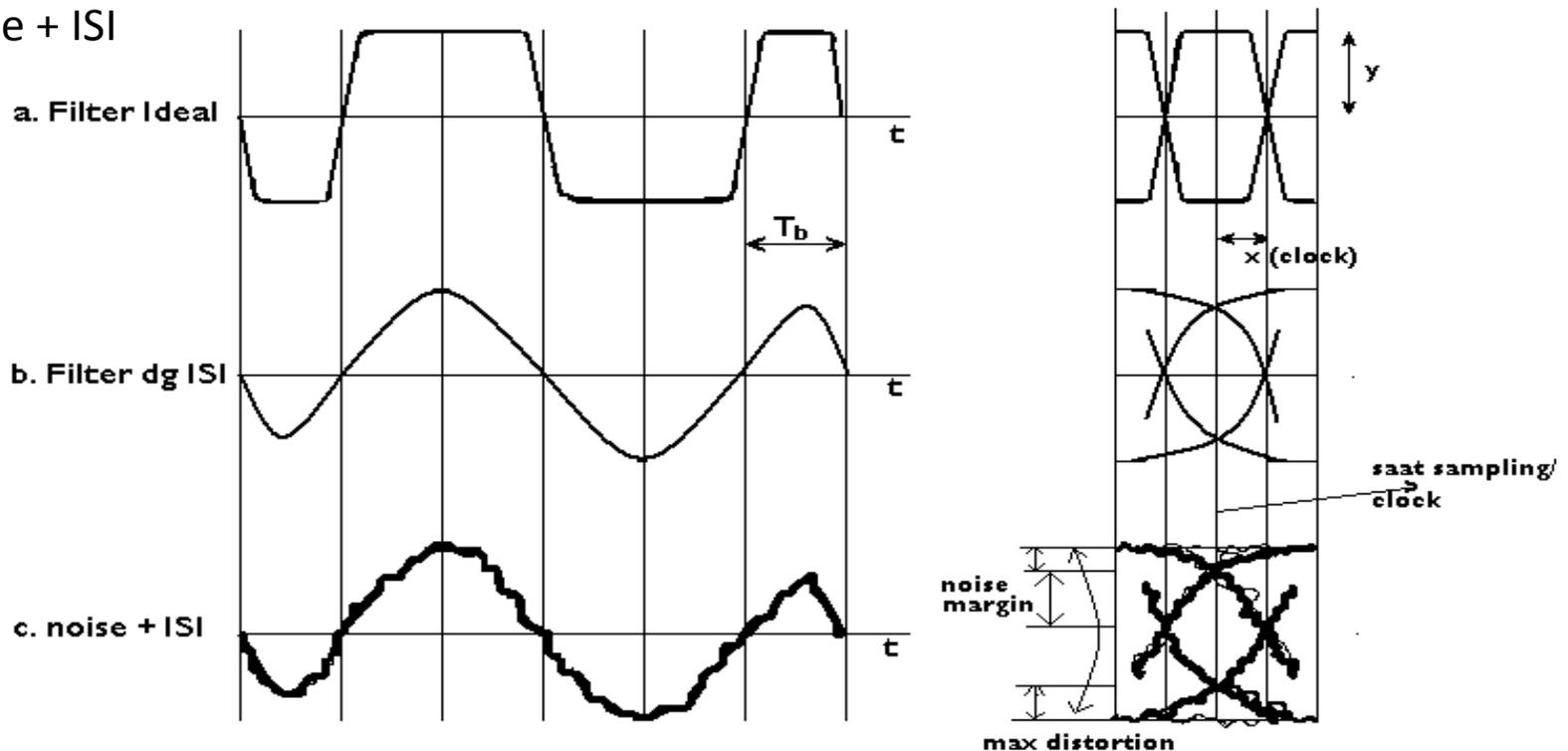
Spektrum mempunyai bandwidth 2x bipolar dan mempunyai zero DC level pada tiap-tiap bit, sehingga deretan bit-bit 0 tidak menyebabkan kehilangan sinyal clock.

C. Eye Pattern

Efek pemfilteran dan noise pada kanal transmisi menyebabkan sinyal yang diterima menjadi berubah, pulsa yang diterima bukan pulsa yang bagus.

Berikut ini menunjukkan gambaran akibat adanya :

- Channel Filtering Ideal
- Filtering yang mengakibatkan ISI (Inter Symbol Interference)
- Noise + ISI



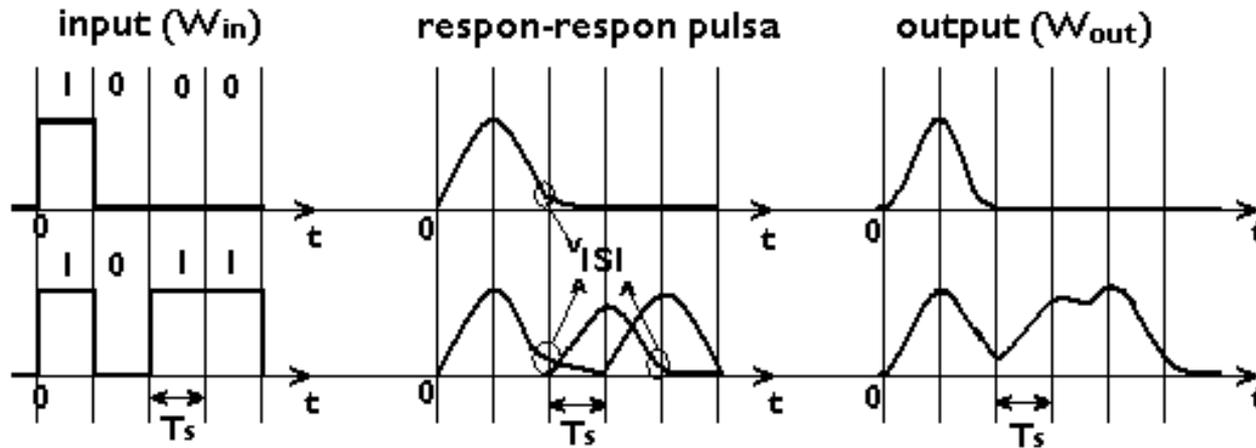
Pada sebelah kanan mempunyai bentuk seperti mata (eye pattern). Pada keadaan normal eye pattern akan terbuka. Pada saat terdapat banyak noise atau ISI mata akan menutup (menyempit)

Eye pattern memberikan beberapa informasi :

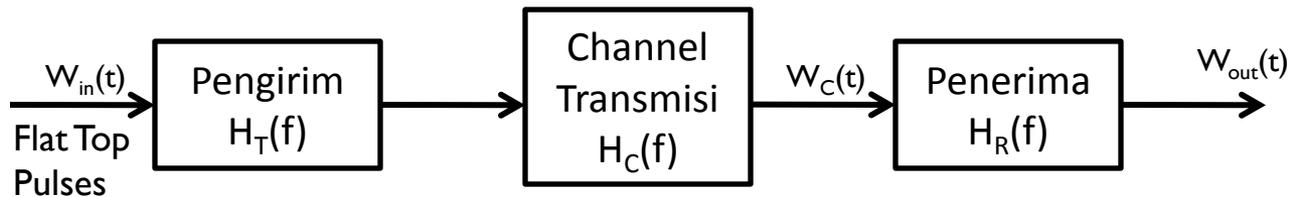
- ✓ Kesalahan timing yang diperbolehkan pada sampler pada receiver ditunjukkan oleh lebar bagian dalam dari mata. Timing sampler bagus apabila pembukaan vertikal mata paling besar.
- ✓ Sensitivitas kesalahan “timing” ditunjukkan oleh slope pembukaan mata. (dapat dilihat pada zero crossing)
- ✓ Noise margin sistem ditunjukkan dari ketinggian pembukaan mata.
- ✓ Distorsi maksimum diberikan oleh lebar pembukaan vertikal di atas atau di bawah bagian mata pada waktu sampling.

Bandwidth pada Flat top akan mendekati tak hingga sehingga perlu dibatasi oleh filter. Filter pembatas tersebut mengakibatkan pelebaran bentuk pulsa, sehingga memungkinkan terjadinya interferensi antar simbol-simbol yang berdekatan. Sehingga terjadi ISI.

Tahun 1928 Niquist menemukan metoda menghilangkan ISI tersebut. ISI juga timbul bukan hanya karena efek pemfilteran pada pengirim, melainkan terjadi pula akibat karakteristik-karakteristik channel transmisi. Contoh bentuk ISI adalah sebagai berikut :



Misal sitem signaling digital digambarkan sebagai berikut :



misal $W_{in}(t) = \sum_n a_n h(t - nT_s)$

$$h(t) = \prod \left(\frac{t}{T_s} \right) \quad \text{Rate Simbol} = D = \frac{1}{T_s} \text{ pulsa/det}$$

$W_{in}(t)$ dapat dituliskan sebagai berikut :

$$\begin{aligned} W_{in}(t) &= \sum_n a_n h(t) * \delta(t - nT_s) \\ &= \left[\sum_n a_n \delta(t - nT_s) \right] * h(t) \end{aligned}$$

$W_{out}(t)$ bukan hanya hasil kanvalasi terhadap respon filter input, melainkan terhadap respon equaliting:

$$W_{out}(t) = \left[\sum_n a_n \delta(t - nT_s) \right] * h_e(t)$$

$h_e(t)$ respon pulsa ekivalen dari sistem:

$$h_e(t) = h(t) * h_T(t) * h_C(t) * h_R(t)$$

Fungsi transfer ekivalen dari sistem adalah :

$$H_e(f) = H(f) H_T(f) H_C(f) H_R(f)$$

$$H(f) = \mathcal{F}e \left[\prod \left(\frac{t}{T_s} \right) \right] = T_s \left(\frac{\sin \pi f T_s}{\pi f T_s} \right)$$

$H(f)$ merupakan spektrum dari pulsa Flat Top yang dimasukkan ke filter input.

Respon filter pada penerima $H_R(f)$

$$H_R(f) = \frac{H_e(f)}{H(f) H_T(f) H_C(f)}$$

Jika $H_e(f)$ dipilih untuk mengurangi ISI, dan $H_R(f)$ diperoleh dari persamaan di atas maka $H_R(f)$ disebut sebagai equalizing filter. Karakteristik equalizing filter tergantung dari respon frekuensi dari kanal transmisi. Karena informasi (sinyal input) senantiasa berubah-ubah maka equalizing filter berupa adaptive filter yang dapat menyesuaikan dengan filter input.

$$\text{Sinyal output} \quad W_{out}(t) = \sum_n a_n h_e(t - nT_s)$$

Bentuk pulsa output dipengaruhi oleh :

- ✓ Bentuk pulsa input
- ✓ Filter pengirim
- ✓ Filter kanal transmisi
- ✓ Filter penerima

Karakteristik filter kanal transmisi sudah terbentuk, sehingga untuk mengurangi ISI dapat diupayakan dengan menentukan filter pada pengirim dan filter pada penerima.

D. Metoda Niquist I (Zero ISI)

Metoda pertama Nyquist untuk menghilangkan ISI menggunakan fungsi transfer ekuivalen $H_e(f)$, sedemikian sehingga respon pulsanya memenuhi syarat (kondisi) :

$$h_e(k T_s + \tau) = \begin{cases} C, & k = 0 \\ 0, & k \neq 0 \end{cases}$$

k = bilangan bulat

T_s = periode clock simbol

τ = ofset clock waktu sampling pada penerima dibandingkan dengan waktu sampling pada input pengirim

C = konstanta $\neq 0$

Jika diambil $\tau = 0$, $h_e(t)$ mempunyai fungsi :

$$h_e(t) = \frac{\sin \pi f_s t}{\pi f_s t} \quad ; \quad f_s = \frac{1}{T_s}$$

Respon pulsa ini memenuhi syarat untuk kriteria Nyquist untuk zero ISI. Konsekuensinya filter pengirim dan penerima di-desain sedemikian rupa sehingga fungsi transfer seluruh sistem :

$$H_e(f) = \frac{1}{f} \prod \left(\frac{f}{f_s} \right)$$

Kondisi ini bebas dari ISI. Bandwidth fungsi transfer in adalah $B = f_s/2$.

Realisasi dari filter ini akan mengalami kesulitan

1. Karakteristik transfer $H_e(f)$ harus mempunyai amplitudo yang flat untuk setiap f ($-B < f < B$)
2. Sinkronisasi pulsa clock pada rangkaian sampling decoder mendekati sempurna, $\tau = 0$.

Pemecahan ditempuh dengan membuat fungsi transfer $H_e(f)$ sebagai fungsi filter

“Raised Cosine-Roll off” dengan fungsi transfer :

$$H_e(f) = \begin{cases} 1 & , \quad |f| < f_1 \\ \frac{1}{2} \left\{ 1 + \cos \left[\frac{\pi(|f| - f_1)}{2f_\Delta} \right] \right\} & , \quad f_1 < |f| < B \\ 0 & , \quad |f| > B \end{cases}$$

B = Bandwidth absolut

$$f_\Delta = B - f_0$$

$$f_1 \cong f_0 - f_\Delta$$

f_0 = Bandwidth 6 dB dari fungsi filter Raised Cosine Roll off

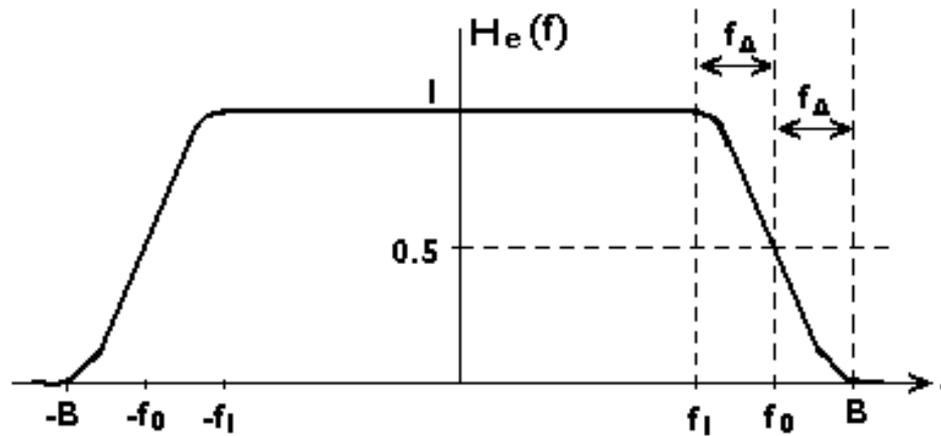
Roll off faktor didefinisikan sebagai r

$$r = \frac{f_\Delta}{f_0}$$

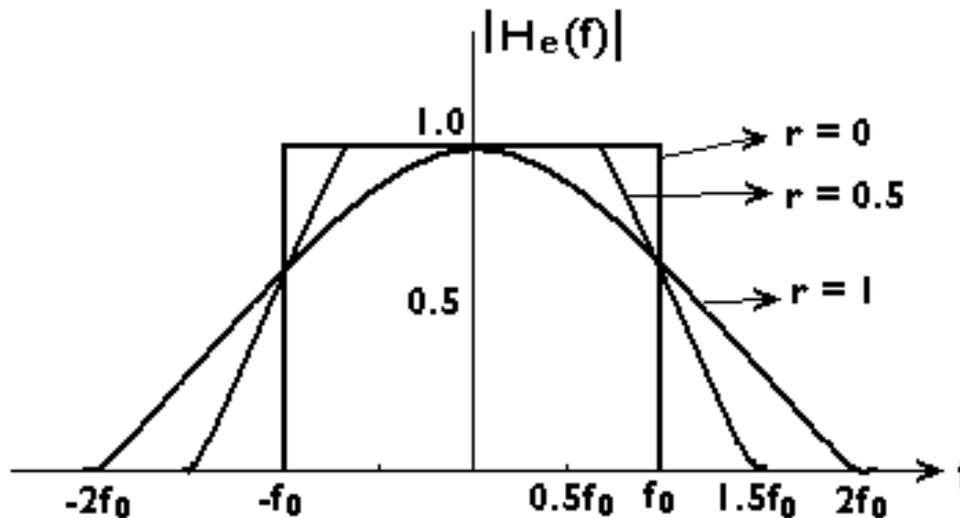
Sesuai dengan respon pulsa maka,

$$h_e(t) = \mathcal{F}e^{-1}[H_e(f)] = 2f_0 \left(\frac{\sin 2\pi f_0 t}{2\pi f_0 t} \right) \left[\frac{\cos 2\pi f_\Delta t}{1 - (4f_\Delta t)^2} \right]$$

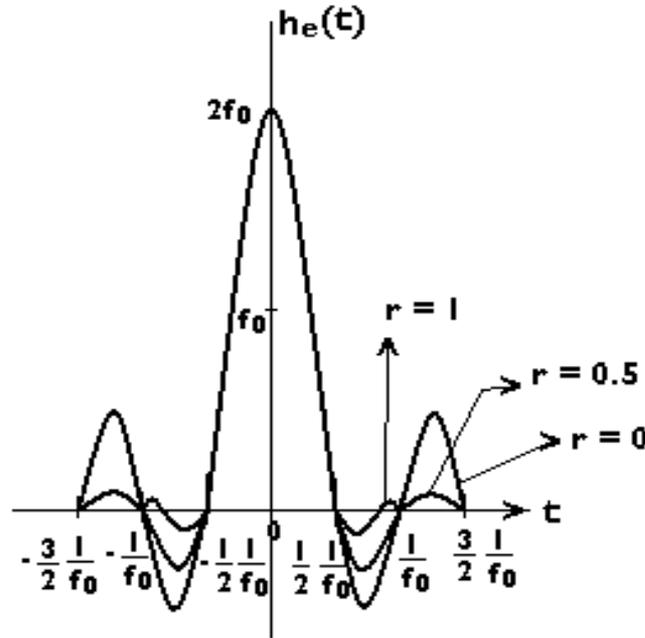
Respon frekuensi filter sebagai berikut :



Respon frekuensi untuk berbagai r (roll off faktor) :



Respon pulsa :



Dari kurva respon pulsa di atas dapat dilihat bahwa respon pulsa sistem = 0 untuk $t = n/(2f_0)$, $n \neq 0$
 Hal ini memenuhi syarat kriteria Nyquist untuk bebas ISI jika digunakan $\tau = 0$ dan periode sample $T_s = 1/(2f_0)$

$$\text{Baud Rate} = \frac{1}{T_s} = 2f_0 \text{ Simbol/sec}$$

$$\text{Dari } f_{\Delta} = B - f_0 \text{ dan } p = \frac{f_{\Delta}}{f_0}$$

$$\text{Baud rate} = 2f_0 = \frac{2B}{1+r}$$

B = Bandwidth absolut sistem

r = Roll off faktor

D. Regenerasi Sinyal Digital

Diagram blok :

