

SISTEM KOMUNIKASI DIGITAL



Levy Olivia Nur, MT

I. Sistem Komunikasi Digital

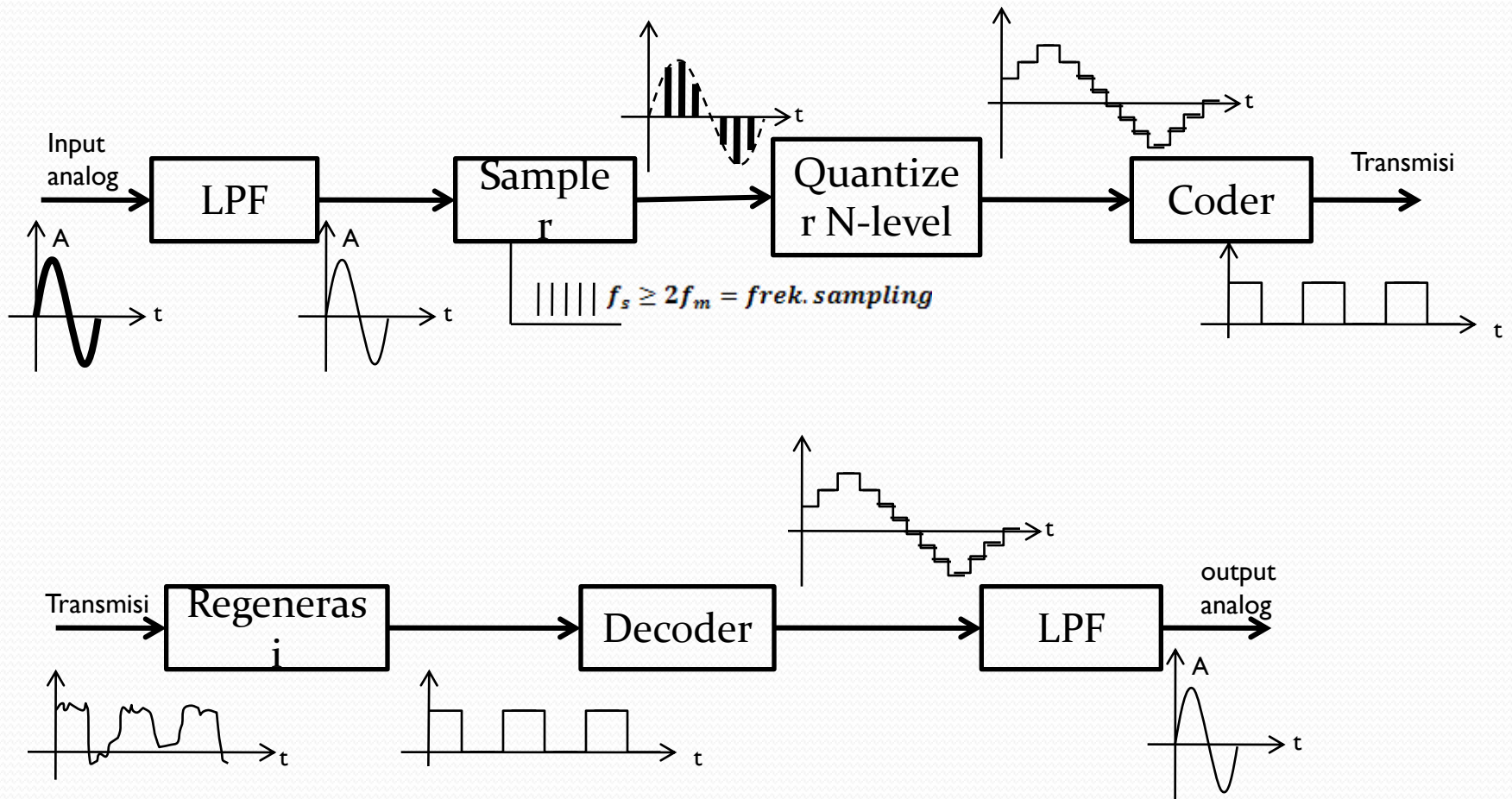
- Keuntungan-keuntungan sistem komunikasi digital Vs sistem komunikasi analog :
 - a. Perencanaan rangkaian digital relatif sederhana, lebih mudah menerapkan rangkaian terintegrasi pada rangkaian digital
 - b. Makin bertambahnya penggunaan dan tersedianya teknik-teknik pengolahan digital
 - c. Sinyal-sinyal digital dapat dibentuk kembali atau dibangkitkan kembali selama transmisi
 - d. Kemampuan kde sinyal digital untuk meminimumkan/ menekan pengaruh bising dan interferensi
 - e. Penggunaan yang meluas pada komputer dalam menangani sagala macam data
- Kerugian-kerugiannya :
 - a. Bandwidth relatif lebih lebar
 - b. Saat ini harga komponen rangkaian digital masih mahal

II. Modulasi Kode Pulsa

Modulasi Kode Pulsa PCM (Pulse Code Modulation)

- Merupakan salah satu teknik memproses suatu sinyal analog menjadi sinyal digital yang ekuivalen.
- Proses-proses pada sistem PCM :
 1. Proses Sampling (pencuplikan)
 2. Proses Quantizing (kuantisasi)
 3. Proses Codeng (pengkodean)
 4. Proses Decoding (pengkodean kembali)

Diagram Blok proses-proses PCM



Penjelasan

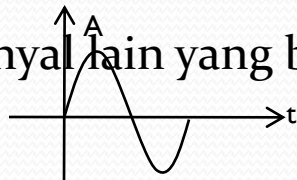
Pada pengirim proses-proses yang dilakukan : Filter (LPF); Sampler; Quantizer; Coder

Pada penerima proses-proses yang dilakukan : Regenerative Repeater; Decoder; Filter (LPF)

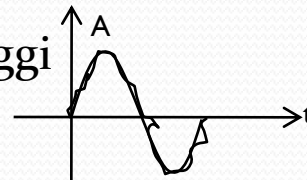
Pada Pengirim :

a. Sinyal analog input berfrekuensi f_m , masih bercampur dengan noise/ sinyal-

sinyal lain yang berfrekuensi lebih tinggi

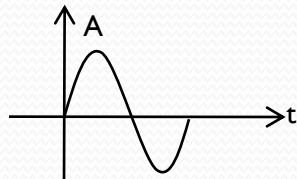


Sinyal input analog seharusnya



Sinyal input analog bercampur dengan noise

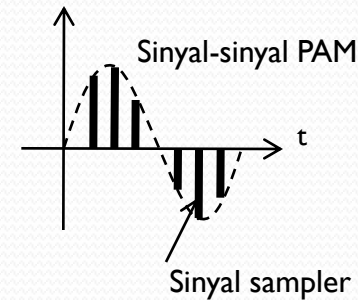
b. Sinyal output LPF berfrekuensi f_m



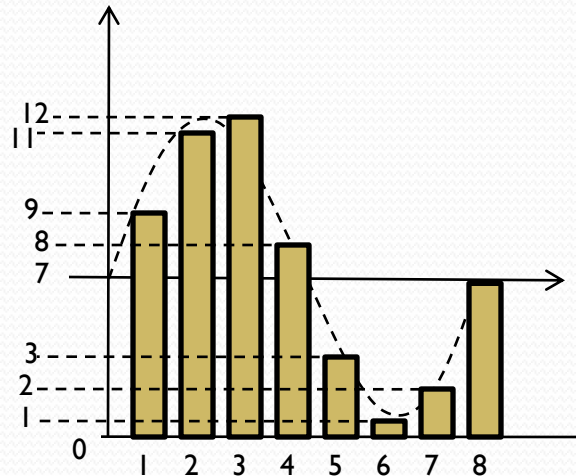
LPF menghilangkan sinyal-sinyal yang tak diperlukan

- c. Frekuensi sampling (pulsa-pulsa sampling) pada proses sampling $f_s \geq 2 f_m$ (Theorema Nyquist)

Sinyal output sampler disebut sinyal PAM (Pulse Amplitudo Modulation) = Modulasi Kode Pulsa



- d. Sinyal output Quantizer, memiliki level tertentu



Sinyal PAM 1 diberi level 9
Sinyal PAM 2 diberi level 11
Sinyal PAM 3 diberi level 12
Sinyal PAM 4 diberi level 8
Sinyal PAM 5 diberi level 3
Sinyal PAM 6 diberi level 1
Sinyal PAM 7 diberi level 2
Sinyal PAM 8 diberi level 7 dst

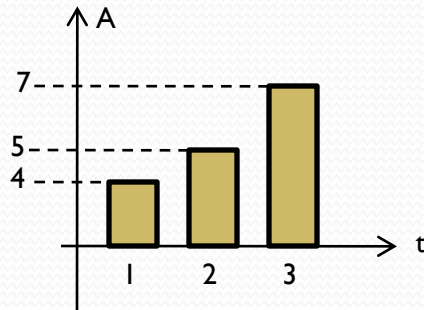
Besarnya level kuantisasi $N \rightarrow$ adalah $N = 2^n$

n = jumlah bit yang dikedokan untuk 1 sinyal sampler PAM

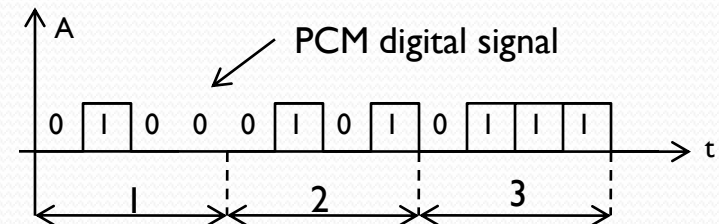
Misal 1 sinyal PAM dikodekan menjadi 4 bit, maka jumlah level kuantisasi $N = 2^4 = 16$

e. Coder

1 sinyal sampler PAM yang sudah dikuantisasi kemudian dikodekan menjadi n bit sinyal-sinyal PCM biner.



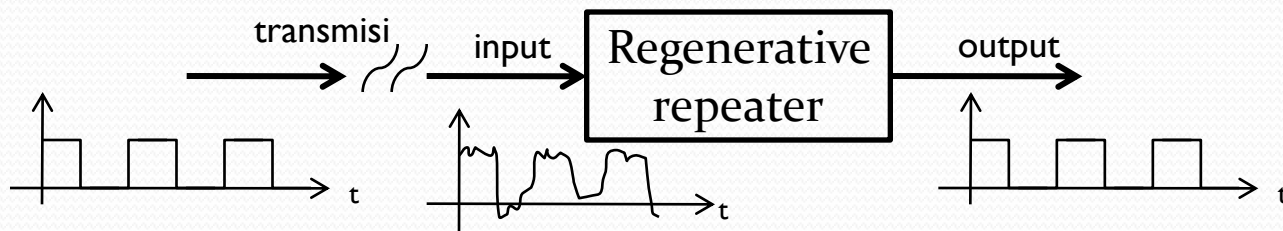
dikodekan menjadi

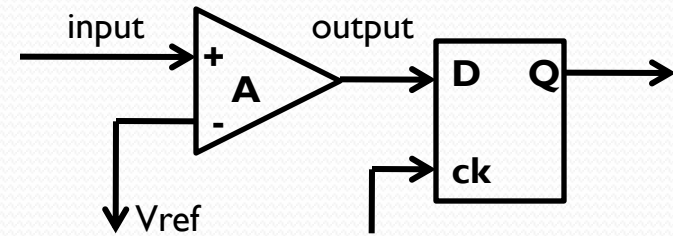
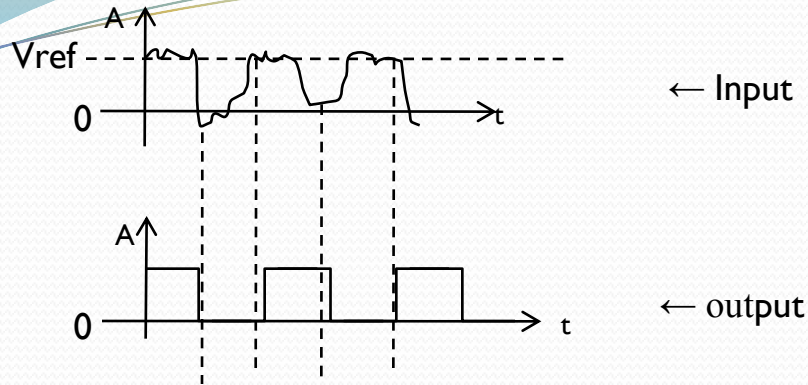


Bit rate = laju bit per detik = jumlah bit yang dikirim tiap detik.

e. Regenerasi

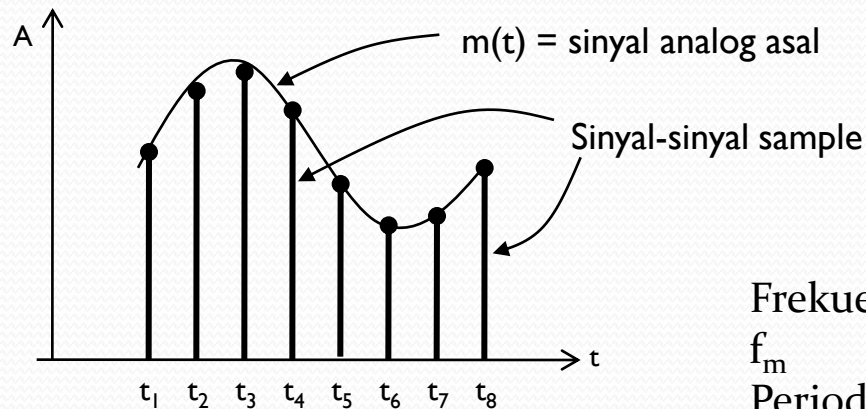
Selama transmisi, sinyal digital PCM mengalami redaman dan bercampur dengan noise transmisi, sehingga perlu diperbaiki sebelum proses pengkodean kembali dengan “regenerative repeater” (rangkaian penyegar sinyal).





Proses-Proses pad PCM

I. Sampling : mencari sample-sample dari beberapa informasi dengan menentukan titik-titik yang mewakili



Frekuensi sampling $f_s \geq 2$

f_m

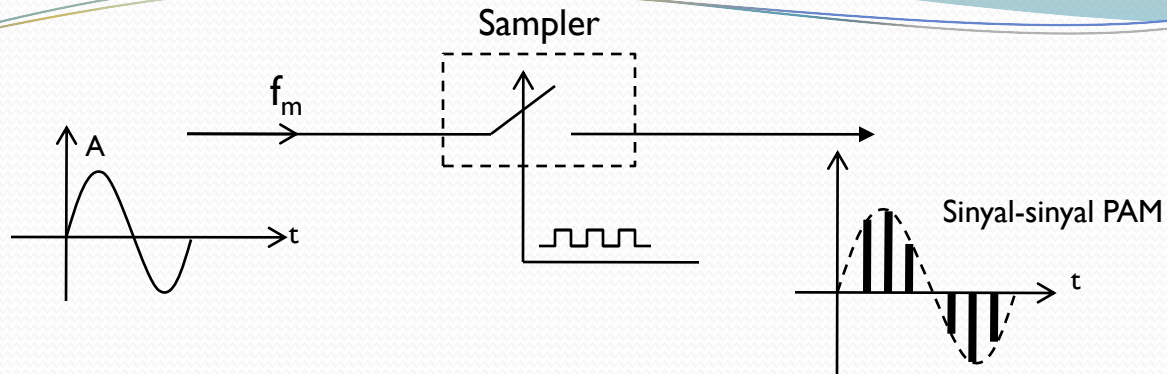
Periode sampling $T_s \leq 2$

f_m

mis : sinyal suara

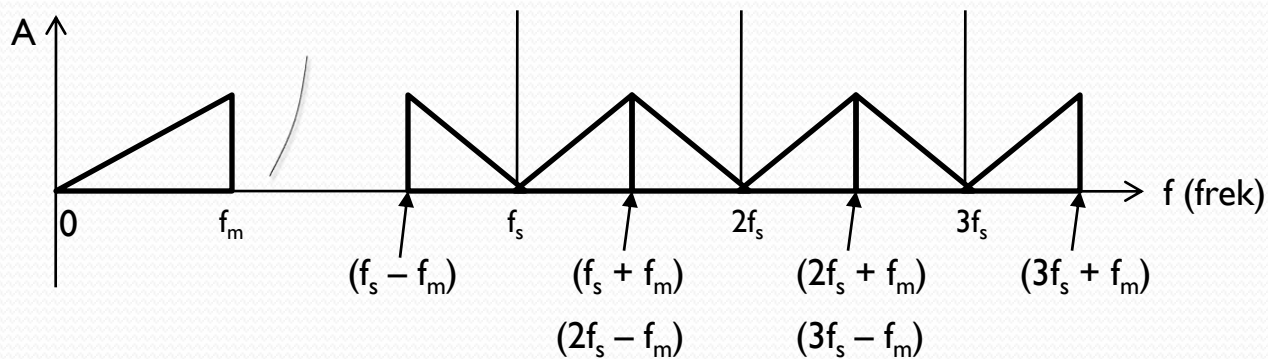
memiliki

$f_m = 4 \text{ kHz}; f_s \geq 8$

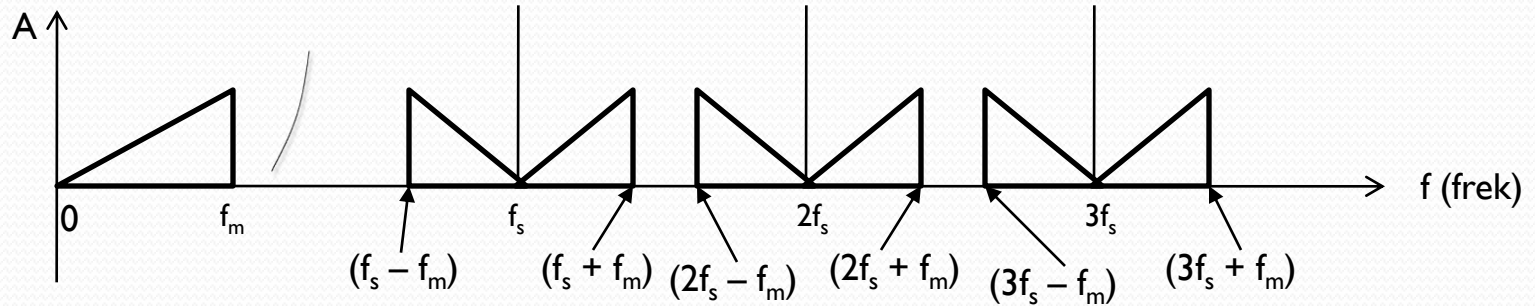


Theorema Nyquist bahwa $f_s \geq 2 f_m$; jika $f_s < 2 f_m$ maka spektrum sinyal PAM akan overload (menumpuk/tumpang tindih).

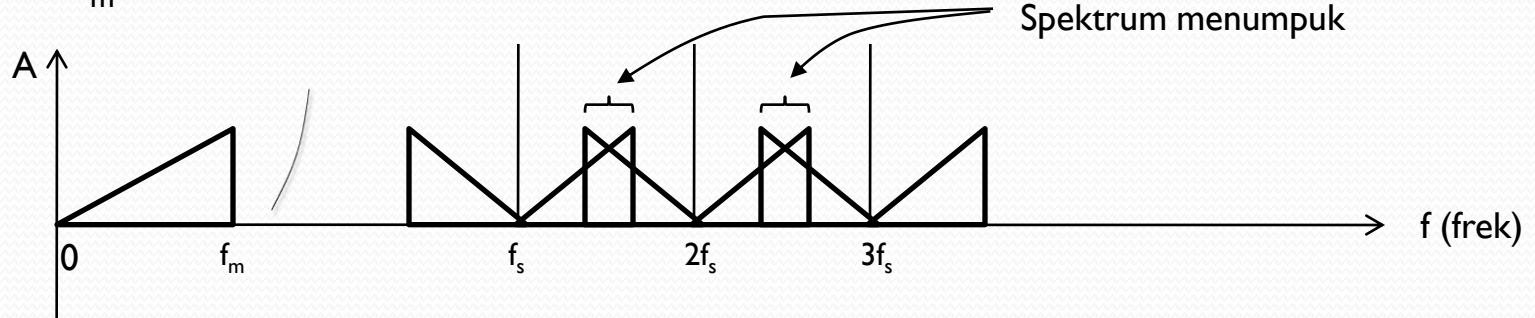
❖ $f_s = 2 f_m$



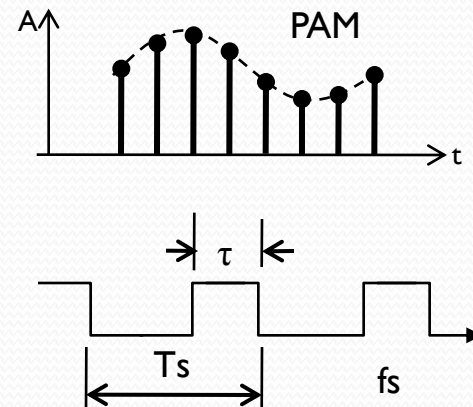
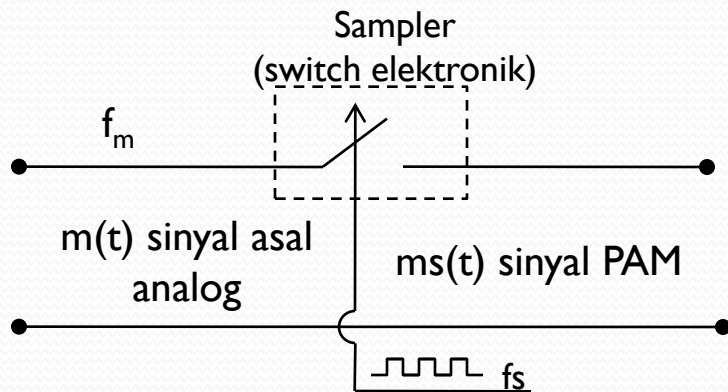
❖ $f_s > 2 f_m$



❖ $f_s < 2 f_m$

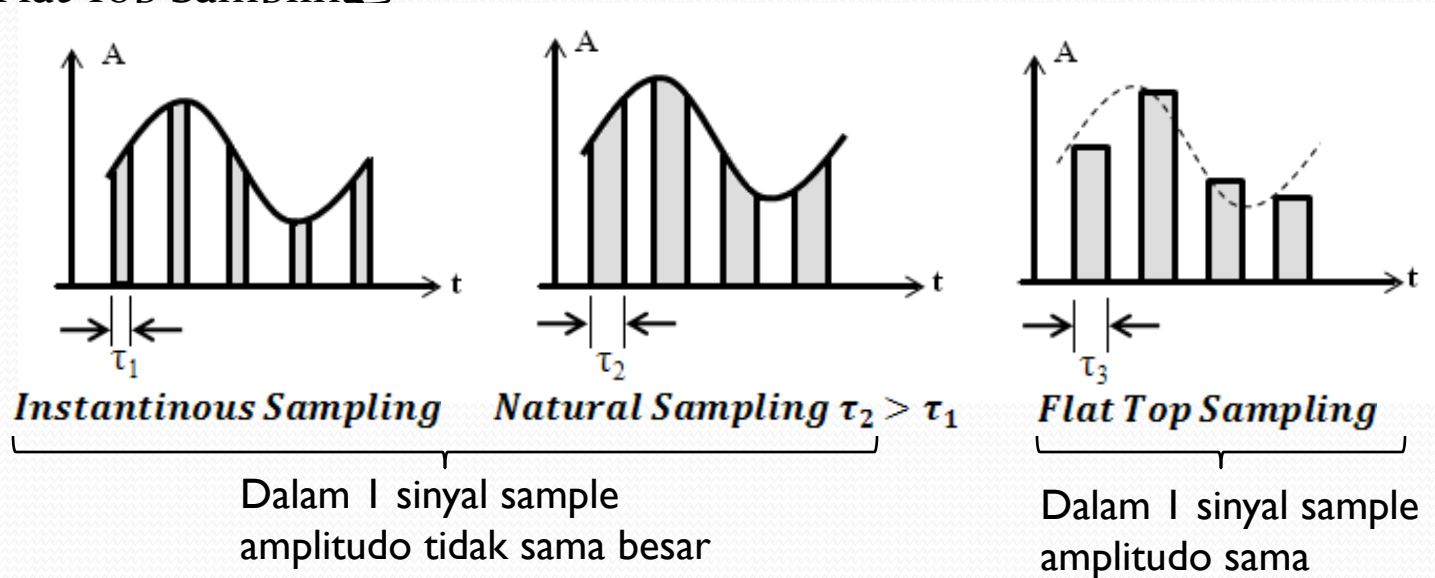


Teknik Pembangkitan Sinyal Sampling

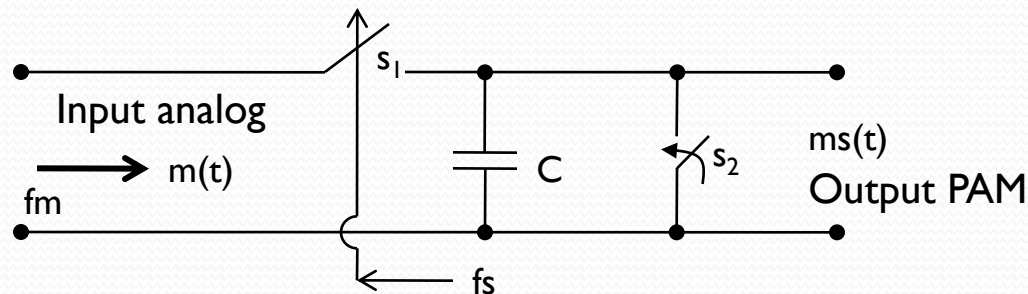


Macam-macam Metoda Sampling

1. Instantinuous Sampling → lebar pulsa $\tau_1 \ll$
 2. Natural Sampling
 3. Flat Top Sampling
- lebar pulsa $\tau_2 > \tau_1$



Untuk Flat Top Sampling, pembangkitnya :



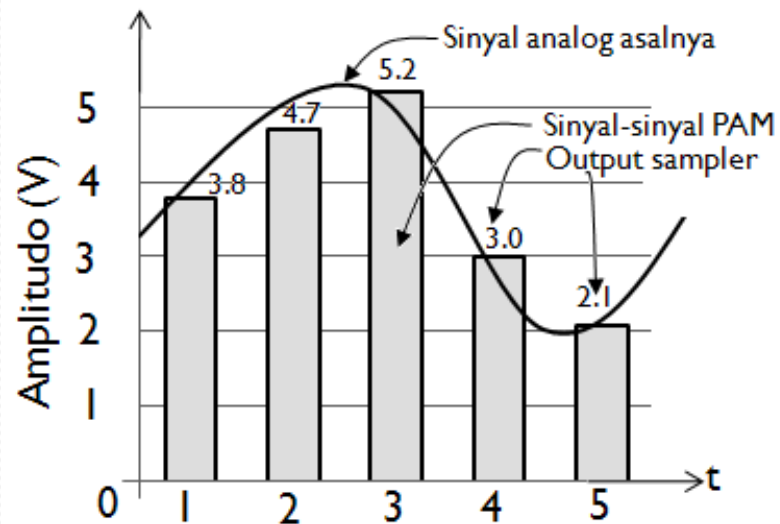
Pengaruh harga τ :

τ kecil \rightarrow energi sedikit,
cacat kecil

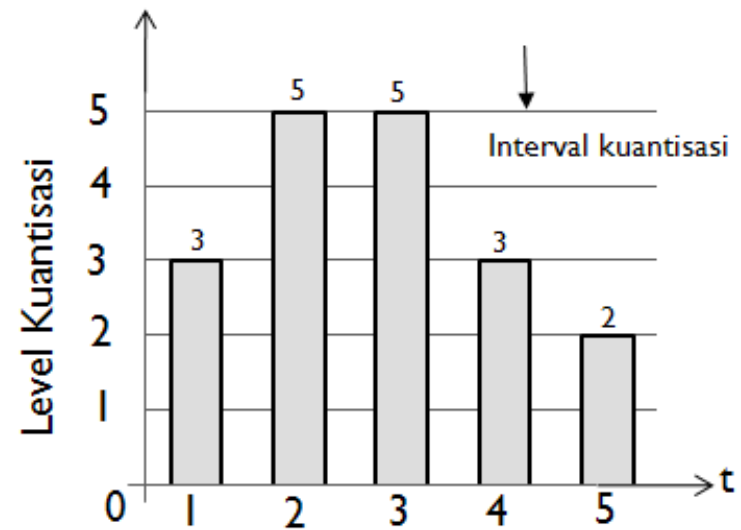
τ besar \rightarrow energi besar,
cacat besar

2. Kuantisasi

Sinyal-sinyal output rangkaian sampler kemudian dikuantisasi; artinya sinyal-sinyal sample tersebut diberi harga (level) tertentu.



Gb. Sinyal-Sinyal Sample PAM
belum terkuantisasi



Gb. Sinyal-Sinyal Sample PAM
terkuantisasi

Misal :

Sinyal PAM ke 1, amplitudo 2.8V diberi level 3
Sinyal PAM ke 2, amplitudo 4.7V diberi level 5
Sinyal PAM ke 3, amplitudo 5.2V diberi level 5
Sinyal PAM ke 4, amplitudo 3.0V diberi level 3
Sinyal PAM ke 5, amplitudo 2.1V diberi level 2

Contoh lain :

Sinyal PAM amplitudo 2.4 diberi level 2 ; dikodekan 0010
Sinyal PAM amplitudo 1.6 diberi level 2 ; dikodekan 0010
Sinyal PAM amplitudo 2.5 diberi level 3 ; dikodekan 0011
Sinyal PAM amplitudo 2.6 diberi level 3 ; dikodekan 0011
Sinyal PAM amplitudo 3.4 diberi level 3 ; dikodekan 0011
Sinyal PAM amplitudo 3.5 diberi level 4 ; dikodekan 0100

Dari contoh di atas terlihat bahwa :

$2.4 \rightarrow 2 \rightarrow 0010$; $1.6 \rightarrow 2 \rightarrow 0010$?

Amplitudo berbeda \rightarrow diberi level sama, kode sama : maka terjadi kesalahan

$2.4 \rightarrow 2 \rightarrow 0010$; $2.5 \rightarrow 3 \rightarrow 0011$?

Selisih amplitudo berbeda “besar” \rightarrow level sama \rightarrow kode sama

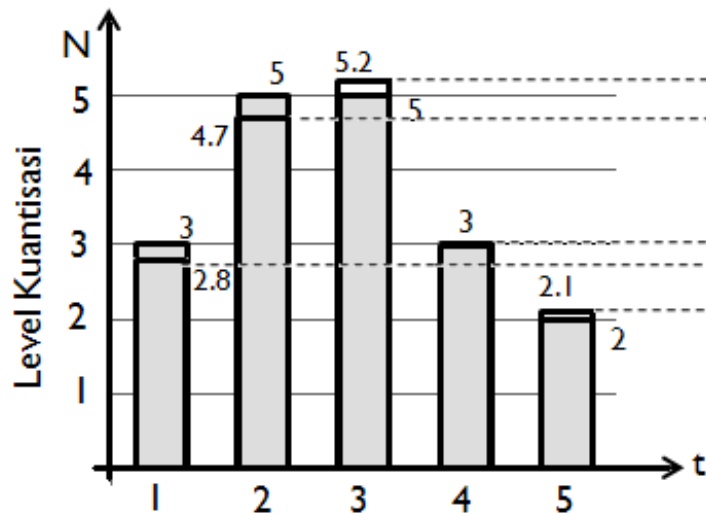
Selisih amplitudo berbeda sedikit \rightarrow level berbeda \rightarrow kode berbeda

Jelas terjadi kesalahan yang disebut sebagai “KESALAHAN KUANTISASI” atau
“DISTORSI KUANTISASI”

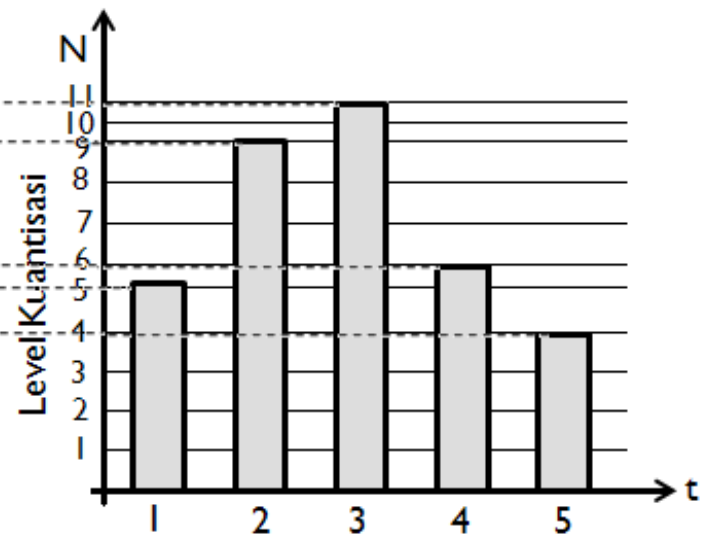
Kesalahan maksimum sebesar $D = \pm \frac{1}{2} V$; dimana V adalah besarnya interval kuantisasi; untuk kuantisasi linier.

Untuk memperkecil distorsi dapat diperoleh dengan cara :

1. Proses kuantisasi non linier (non Uniform)
2. Memperbesar/ memperbanyak level kuantisasi N (memperkecil/ mempersempit interval kuantisasi).



Gb. Kuantisasi Linier $N=5$



Gb. Kuantisasi Linier $N=10$

Dari gambar tersebut (kiri) :

Sinyal PAM ke 1, amplitudo 2.8 diberi level 3 dikodekan 0000 0011

Sinyal PAM ke 2, amplitudo 4.7 diberi level 5 dikodekan 0000 0101

Sinyal PAM ke 3, amplitudo 5.2 diberi level 5 dikodekan 0000 0101

Sinyal PAM ke 4, amplitudo 3.0 diberi level 3 dikodekan 0000 0011

Sinyal PAM ke 5, amplitudo 2.1 diberi level 2 dikodekan 0000 0010

Tetapi coba perhatikan gambar yang satu lagi (kanan) :

Sinyal PAM amplitudo 2.8 diberi level 5 ; dikodekan 0000 0101

Sinyal PAM amplitudo 4.7 diberi level 9 ; dikodekan 0000 1001

Sinyal PAM amplitudo 5.2 diberi level 11 ; dikodekan 0000 1011

Sinyal PAM amplitudo 3.0 diberi level 6 ; dikodekan 0000 0110

Sinyal PAM amplitudo 2.1 diberi level 4 ; dikodekan 0000 0100

Jelas bahwa dengan level kuantisasi yang lebih besar (interval kuantisasi dipersempit); distorsi kuantisasi makin kecil. Yang baik adalah level kuantisasi sebesar mungkin (interval kuantisasi sesempit mungkin).

Misal :

PAM amplitudo 2.00 \rightarrow 7 \rightarrow 0000 0111

PAM amplitudo 2.01 \rightarrow 8 \rightarrow 0000 1000

PAM amplitudo 2.02 \rightarrow 9 \rightarrow 0000 1001 dst

Lebih baik lagi :

PAM amplitudo 2.000 \rightarrow 7 \rightarrow 0000 0111

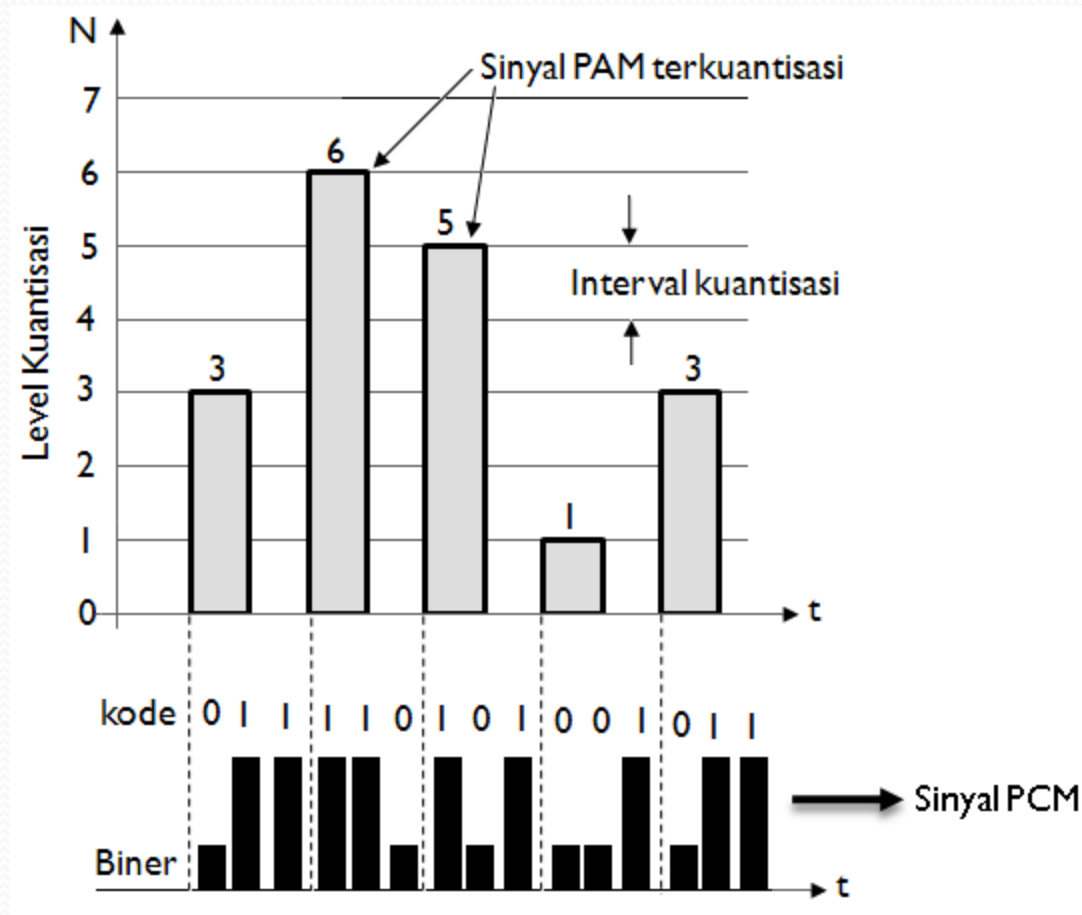
PAM amplitudo 2.001 \rightarrow 8 \rightarrow 0000 1000

PAM amplitudo 2.002 \rightarrow 9 \rightarrow 0000 1001 dst

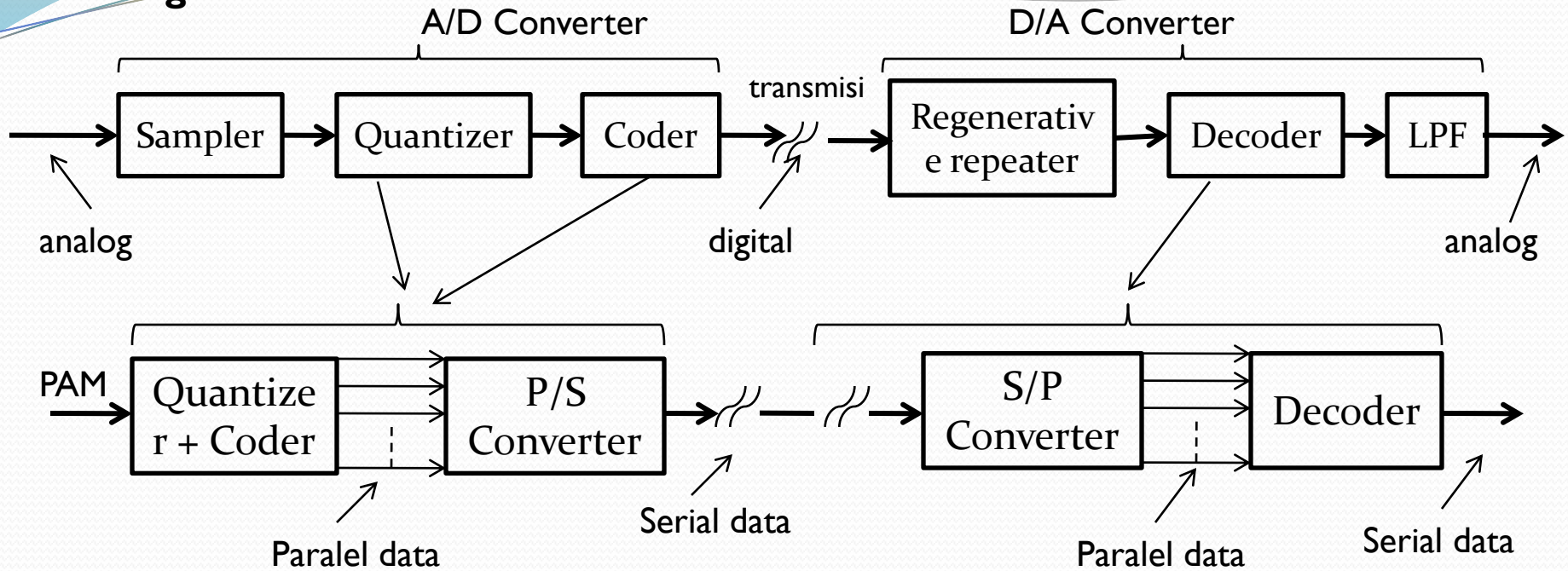
3. Pengkodean (Coding)

Sinyal PAM → dikuantisasi → dikodekan → sinyal biner PCM

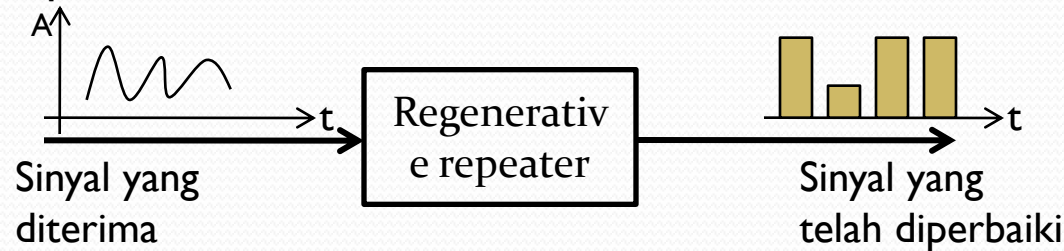
misal : 1 sinyal PAM terkuantisasi dikodekan menjadi 3 bit ($n = 3$).



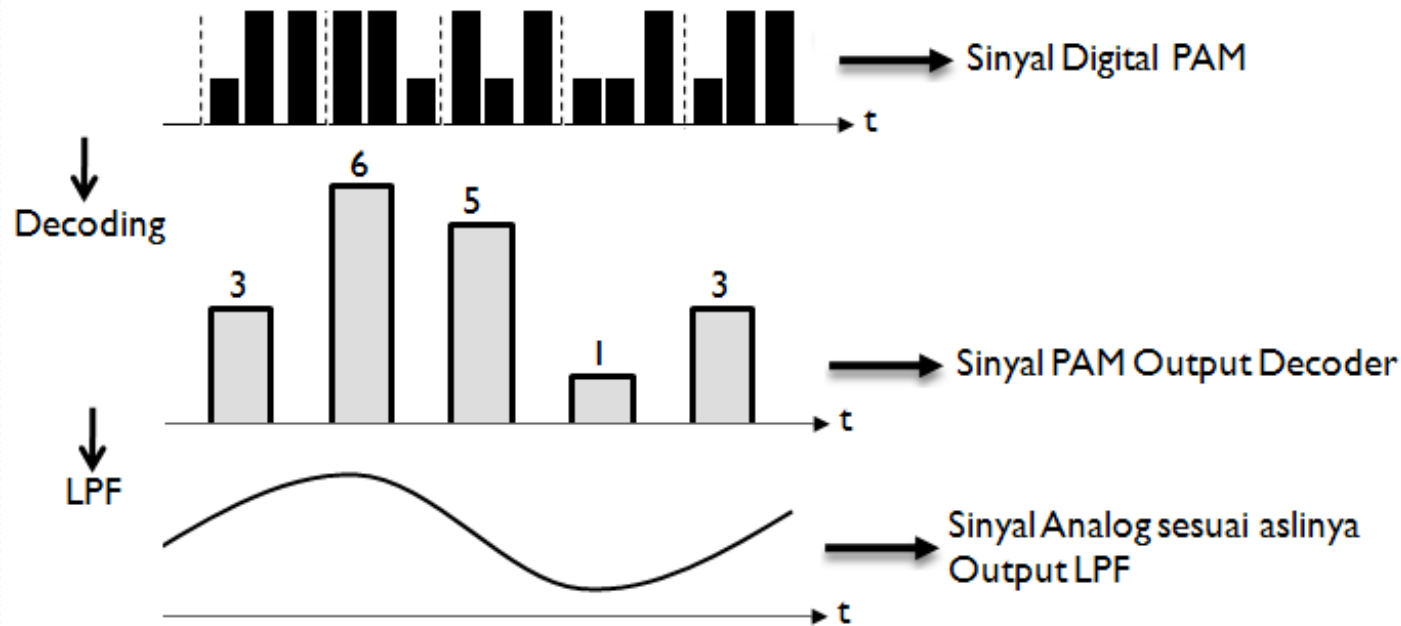
4. Regenerative



Selama transmisi sinyal diterima di penerima menjadi cacat karena adanya redaman, noise, dll. Untuk itu perlu diperbaiki dengan menggunakan “rangkaian penyegar sinyal”, yaitu “regenerative repeater”.



5. **DECODING** : Proses konversi dari sinyal digital → sinyal analog.



6. Sejenak ke Proses Kuantisasi

Kuantisasi :

- ✓ Kuantisasi Linier (Uniform)
- ✓ Kuantisasi Non Linier (Non Uniform)

- * Kuantisasi Linier (Uniform) : jika interval kuantisasi harganya sama besar (konstan).
- * Kuantisasi Non Linier (Non Uniform) : Jika interval kuantisasi tidak sama; sinyal beramplitudo kecil, intervalnya kecil; sinyal beramplitudo besar, intervalnya besar. Untuk sinyal beramplitudo kecil, noise kuantisasi dapat dikurangi (diperkecil).

Kuantisasi Linier :

$$\frac{S}{D_q} = 1.76 + 6n \text{ [dB]}$$

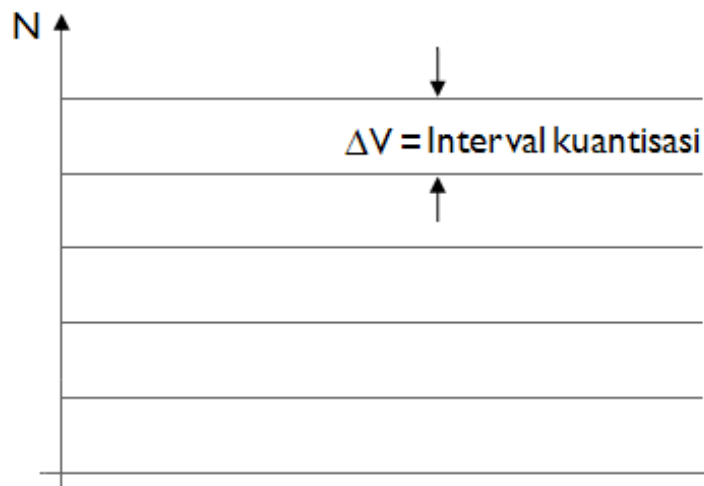
dimana : S = daya sinyal

D_q = distorsi kuantisasi

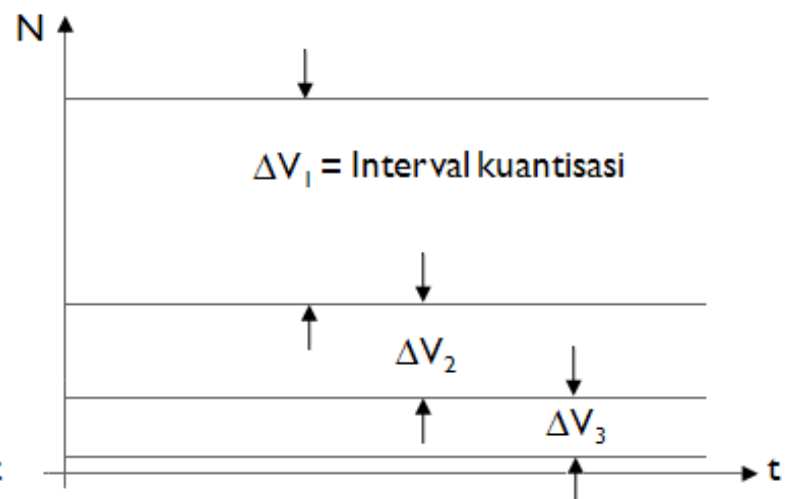
n = Jml bit dalam 1 sample sinyal PAM

7. Kuantisasi Non Uniform

dimaksud agar diperoleh noise kuantisasi yang kecil; dengan cara proses Compressing dan Expanding. Kedua proses ini disebut sebagai proses “COMPANDING”.



Gb.Interval Kuantisasi Uniform
 $\Delta V = \text{konstan}$



Gb.Interval Kuantisasi Non Uniform
 ΔV berbeda

- * Untuk kuantisasi linier : distorsi kuantisasi hampir-hampir selalu konstan, sedang amplitudo sinyal bervariasi; dari kecil sampai besar, dengan demikian S/D (perbandingan daya sinyal terhadap daya distorsi kuantisasi) untuk sinyal beramplitudo kecil \neq S/D untuk sinyal beramplitudo besar.

$$\left. \begin{array}{l} D_q = \text{konstan} \\ S = \text{kecil} \end{array} \right\} \frac{S}{D_q} = \text{kecil} \longrightarrow \text{jelek}$$

$$\left. \begin{array}{l} D_q = \text{konstan} \\ S = \text{besar} \end{array} \right\} \frac{S}{D_q} = \text{besar} \longrightarrow \text{Baik}$$

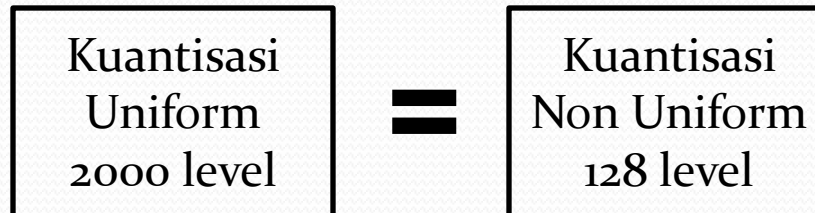
$$\text{Jadi } \left(\frac{S}{D_q} \right) \text{ sinyal "besar"} \gg \left(\frac{S}{D_q} \right) \text{ sinyal "kecil"}$$

- * Jika terjadi S/D seperti tersebut di atas pada suatu sistem kuantisasi maka sistem tersebut “JELEK” (Buruk).
- * Yang baik bagaimana ? Yang baik adalah S/D hampir-hampir konstan, baik untuk sinyal beramplitudo “kecil” maupun “besar”.

$$\left(\frac{S}{D_q} \right) \text{ sinyal "kecil"} \simeq \left(\frac{S}{D_q} \right) \text{ sinyal "besar"}$$

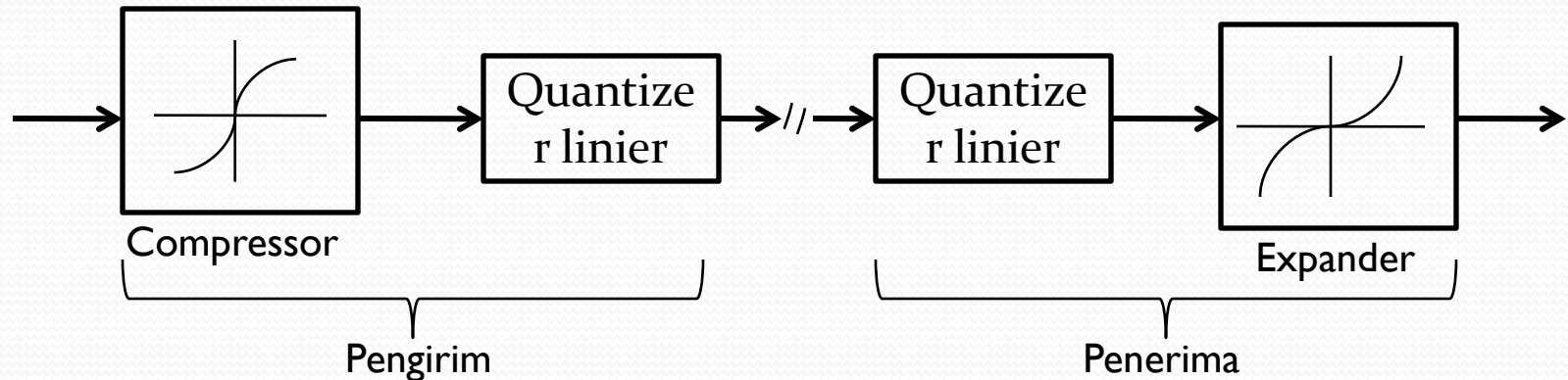
Dan besar S/D dimaksud sesuai dengan rekomendasi yang ada (atau lebih besar dari itu). Untuk itu dibuatlah proses kuantisasi non linier.

- * Apakah tidak bisa, dengan kuantisasi linier diperoleh kualitas sistem sebaik dengan kuantisasi non linier ? Hal tersebut BISA saja terjadi, yaitu dibutuhkan level kuantisasi sebesar (sebanyak) 2000 level agar kualitas sinyal beramplitudo rendah masih baik, atau kira-kira diperlukan 11 bit per sample sinyal PAM.
- * Dengan kuantisasi non linier, cukup diperlukan 128 level kuantisasi saja, atau ekuivalen dengan 7 bit per sample sinyal PAM. Rekomendasi CCITT Rec.G 7 11, kuantisasi non linier dengan level sebesar 256 atau ekuivalen dengan 8 bit per sample ($2^8=256$).

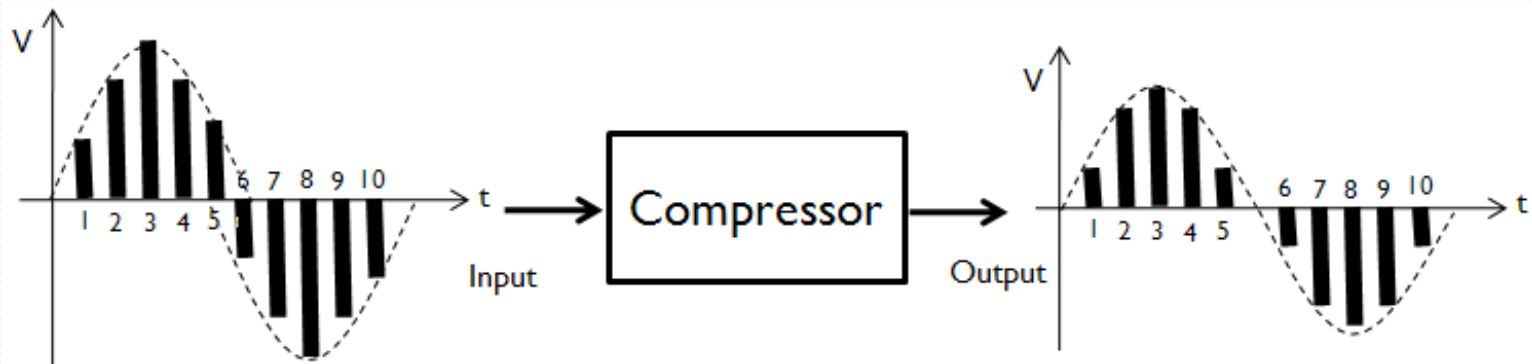


❖ Proses Comanding dan Coding

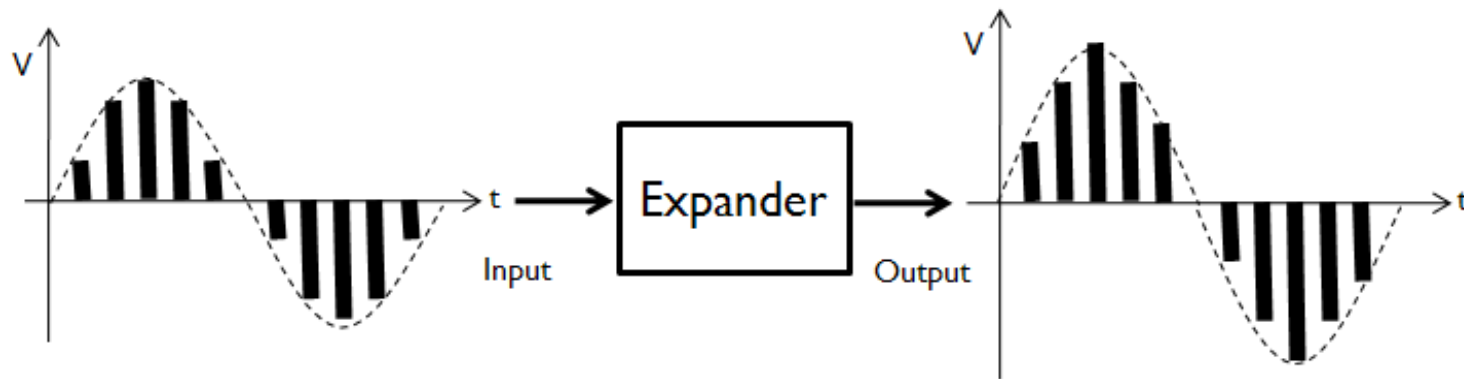
Proses komanding pada pentransmisi PCM : proses compressi di pengirim dan proses expensi di penerima.



- * Pada pengirim (Compressor), sinyal dengan level tinggi di kompres (ditekan)
- * Pada penerima (Expander) : proses kebalikan pada proses Compressor.

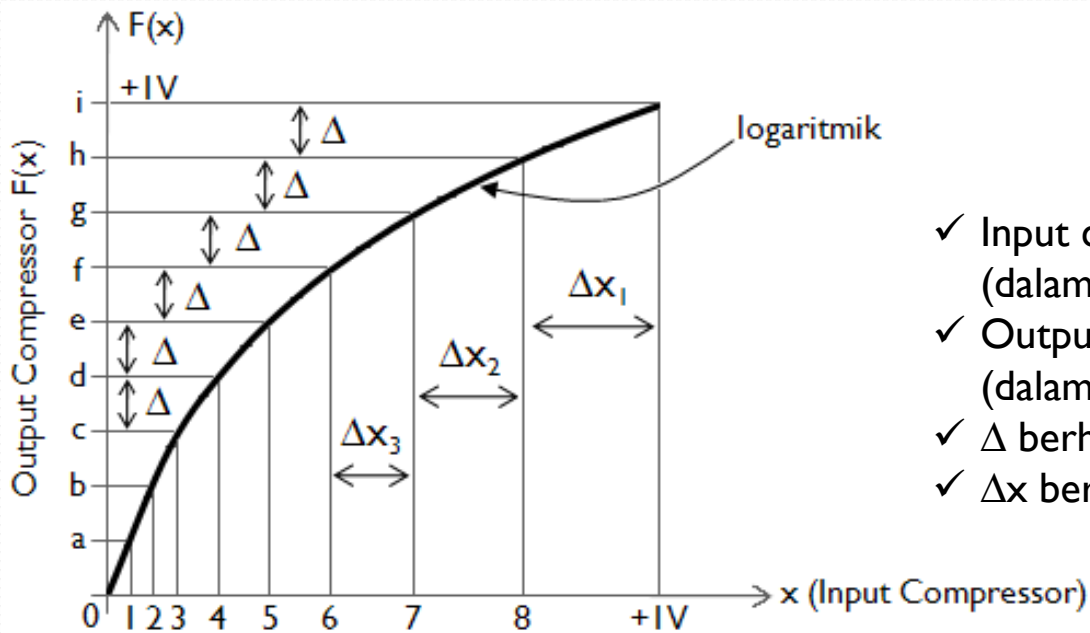


Gb. Proses Compressing



Gb. Proses Expanding

❖ Karakteristik Comanding : logaritmik



Gb. Karakteristik Compression

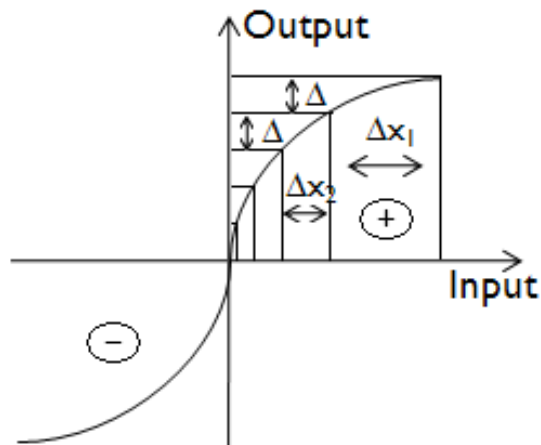
- ✓ Input compressor dibatasi +IV & -IV (dalam gambar hanya sinyal + saja)
- ✓ Output compressor dibatasi +IV & -IV (dalam gambar hanya +IV saja)
- ✓ Δ berharga sama
- ✓ Δx berharga tak sama

Misal :

- ✓ Input 1 sebesar x_1 volt di output menjadi output a sebesar Δ volt
- ✓ Input 2 sebesar x_2 volt di output menjadi output b sebesar 2Δ volt
- ✓ Input 3 sebesar x_3 volt di output menjadi output c sebesar 3Δ volt

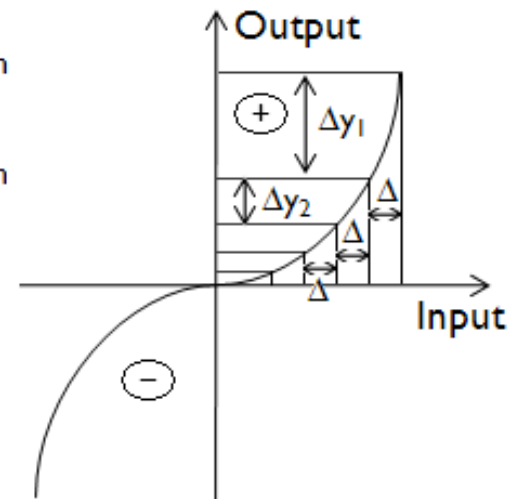
- ✓ Input 8 sebesar x_4 volt di output menjadi output h sebesar 8Δ volt

dst



Gb. Karakteristik Kompresi

- (+) : Untuk sinyal dengan amplitudo positif
- (-) : Untuk sinyal dengan amplitudo negatif



Gb. Karakteristik Ekspansi

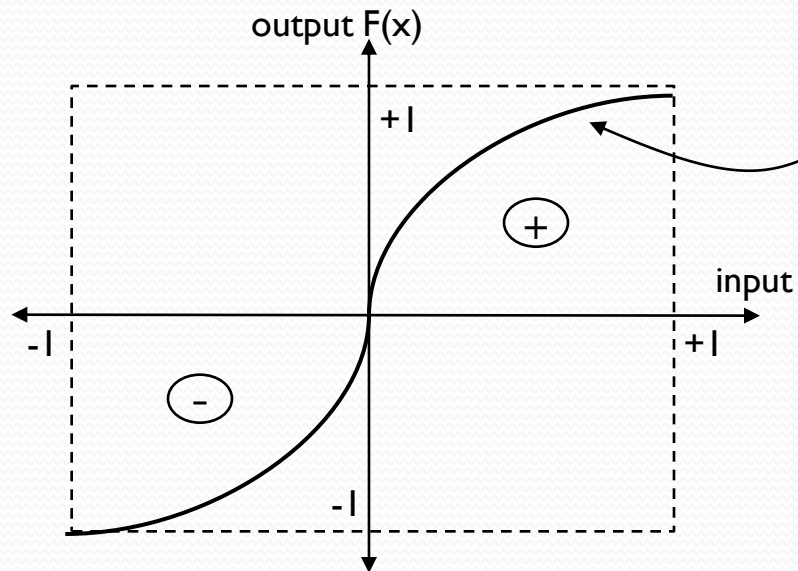
Ada 2 macam komponding logaritmik (Rec.CCITT) :

1. A-law (Eropa, Indonesia)
2. -law (Amerika (utara) & Jepang)

Kurva A-law dibagi menjadi 13 segmen

Kurva -law dibagi menjadi 15 segmen

Baik A-law maupun -law memiliki levelkuantisasi 256 step, tiap sample dikodekan menjadi 8 bit.



Kurva ini diperoleh dari

1. A-law :

$$F(x) = \pm \frac{A|x|}{1 + \ln A}$$

$$0 \leq |x| \leq \frac{1}{A}$$

$$F(x) = \pm \frac{1 + \ln(A|x|)}{1 + \ln A}$$

$$\frac{1}{A} \leq |x| \leq 1$$

2. -law :

$$F(x) = \pm \frac{\ln(1 + \mu|x|)}{\ln(1 + \mu)}$$

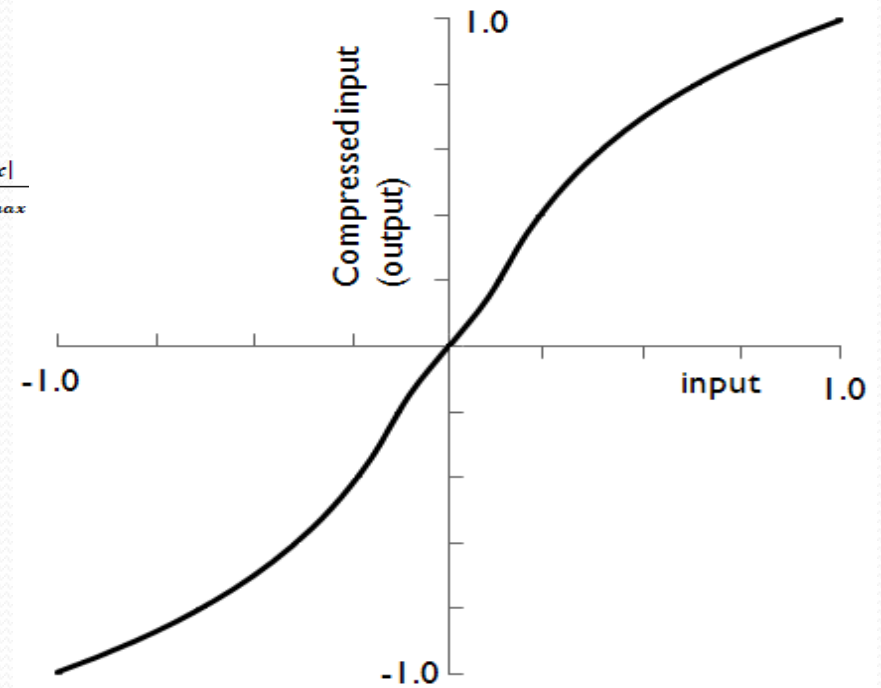
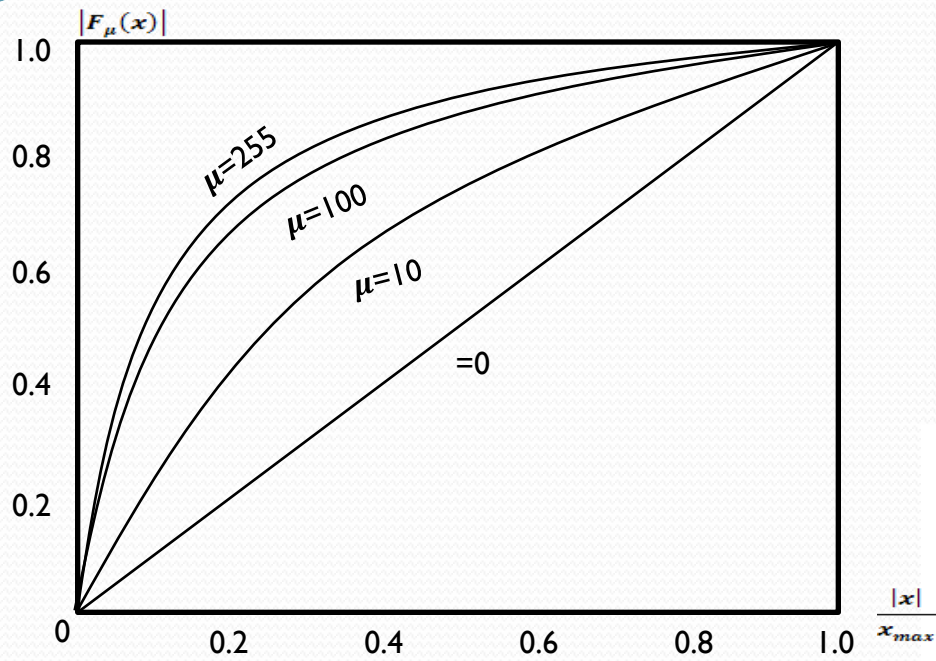
$$0 \leq |x| \leq 1$$

Dimana : $A = 87.6$
 $= 255$ } Rec.CCITT

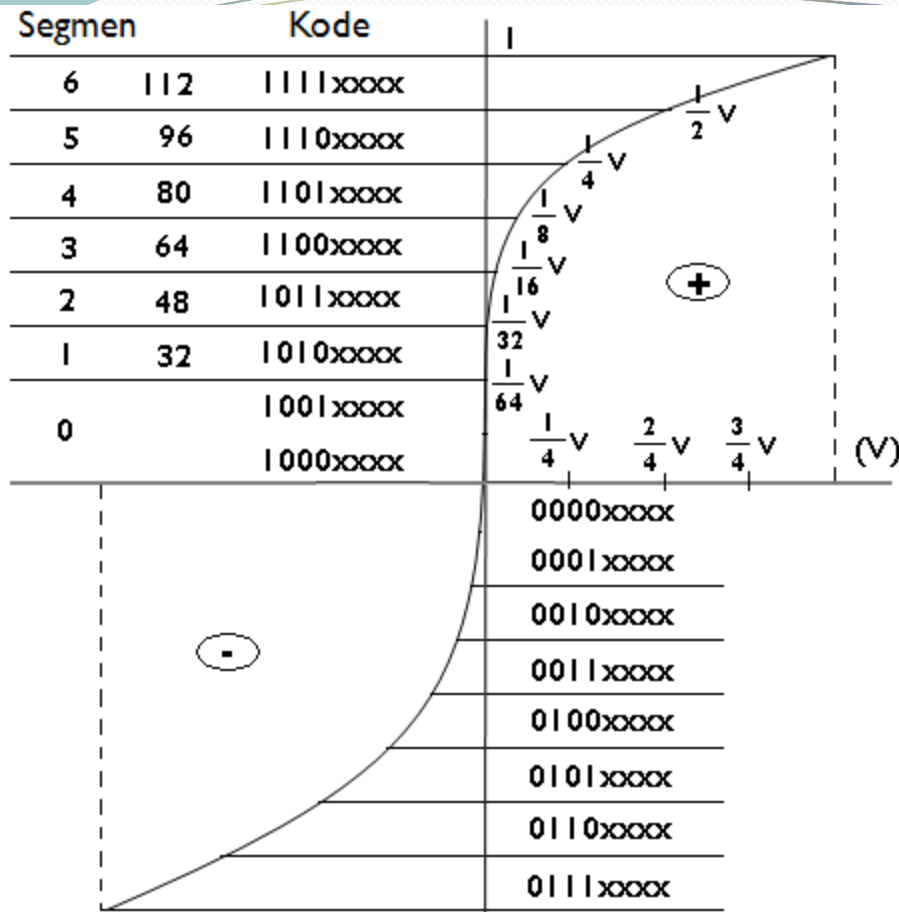
$X = \text{input}$

$F(x) = \text{output}$

Contoh dengan berbagai



Gb. Kurva Logaritmik untuk $\mu=100$ (7 segmen)

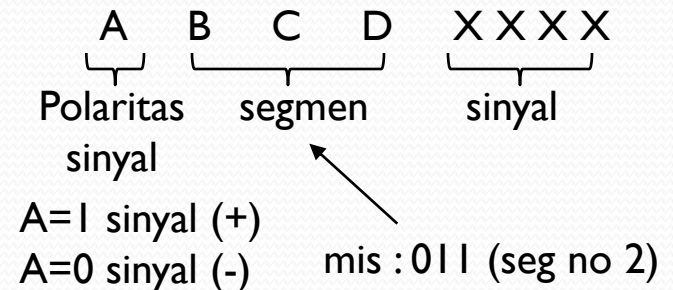


Gb. Kuantisasi dan Coding untuk Sistem PCM 30 (A-L)

- ✓ Misal sinyal positif, input dari $1/8V$ s/d $1/4V$ (segmen 4) dikodekan menjadi : 1101 xxxx

Keterangan :

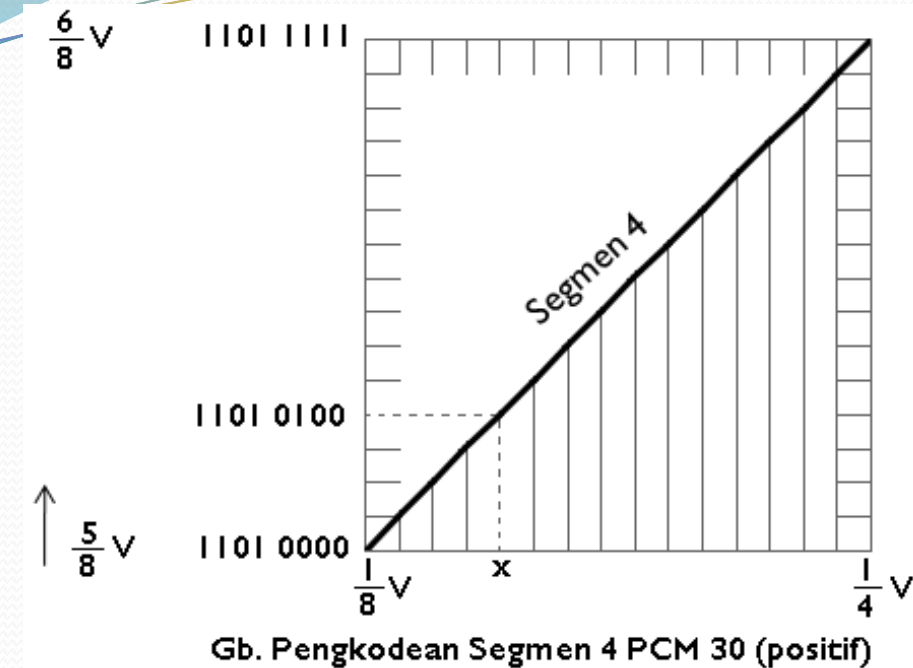
- ✓ Input Quantizer & Coder dibatasi $1V$ ($2V_{pp}$); begitu pula outputnya
- ✓ Terdapat 13 segmen
- ✓ Input sebesar $1/64V$; output menjadi $1/4V$
- ✓ Input sebesar $1/16V$; output menjadi $2/4V$
- ✓ Input $1/4V$; output menjadi $3/4V$
- ✓ Input $2/4V$; output menjadi $1/8V$
- ✓ Input $1V$; output menjadi $1V$
- ✓ Sumbu atas untuk sinyal positif (+); Sumbu bawah untuk sinyal negatif (-)
- ✓ Kode sebanyak 8 bit :



Keterangan :

Untuk menentukan harga kode sinyal xxxx. Contoh diberikan pada segmen 4.

- ✓ Segmen 4 ; sinyal input dari $\frac{1}{8} V$ s/d $\frac{1}{4} V$ dibagi menjadi 15
 - ✓ Input sebesar $\frac{1}{8} V$ dikodekan menjadi 1101 0000
 - ✓ Input sebesar $\frac{1}{4} V$ dikodekan menjadi 1101 1111
 - ✓ Input $\frac{1}{8} V + (4 \text{ bag}) = X$ dikodekan menjadi 1101 0100
- dst.



- ✓ Jadi sinyal input yang berada pada range segmen 4 dikodekan mulai dari 1101 0000 s/d 1101 1111.

Yaitu : 1101 0000

1101 0001

1101 0010

1101 0011 dst s/d 1101 1111

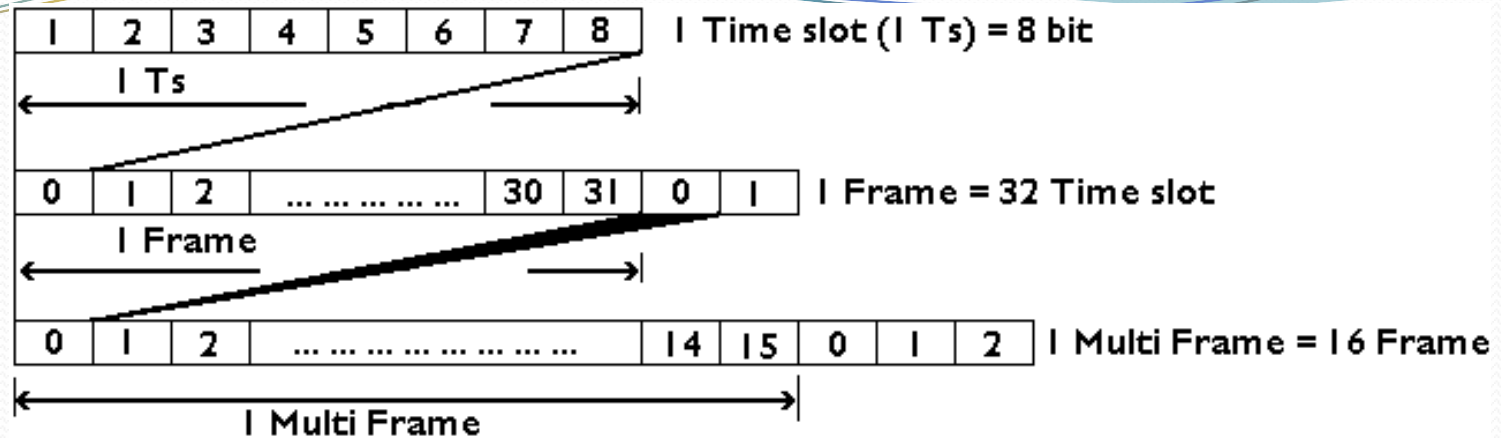
8. Susunan Frame

Sistem PCM :

- a. PCM 30 : Eropa, Indonesia
- b. PCM 24 : Amerika Utara (Amerika, Canada)

❖ PCM₃₀

- ✓ Jumlah kanal yang dimultiplex = 30 kanal pembicaraan
- ✓ Terdapat 32 time slot per frame (30 kanal voice + 2 kanal untuk framing dan sampling)
- ✓ Panjang word 8 bit (sinyal PAM terkuantisasi dikodekan menjadi 8 bit)
- ✓ Frekuensi sampling 8000 Hz
- ✓ Bit rate total 2.048 Mbps (Bit rate = kecepatan bit per detik)
- ✓ Kompanding yang digunakan : A-law
- ✓ 1 frame untuk transmisi memerlukan waktu sebesar 125 μ s
- ✓ 1 Ts perlu waktu sebesar 3.9 μ s

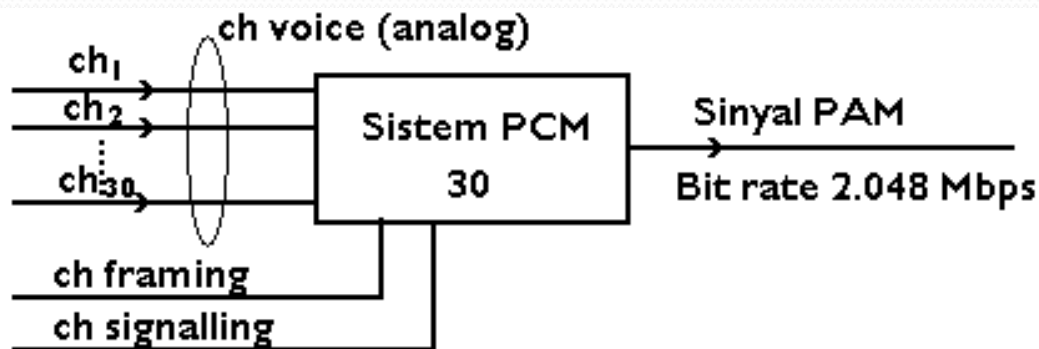


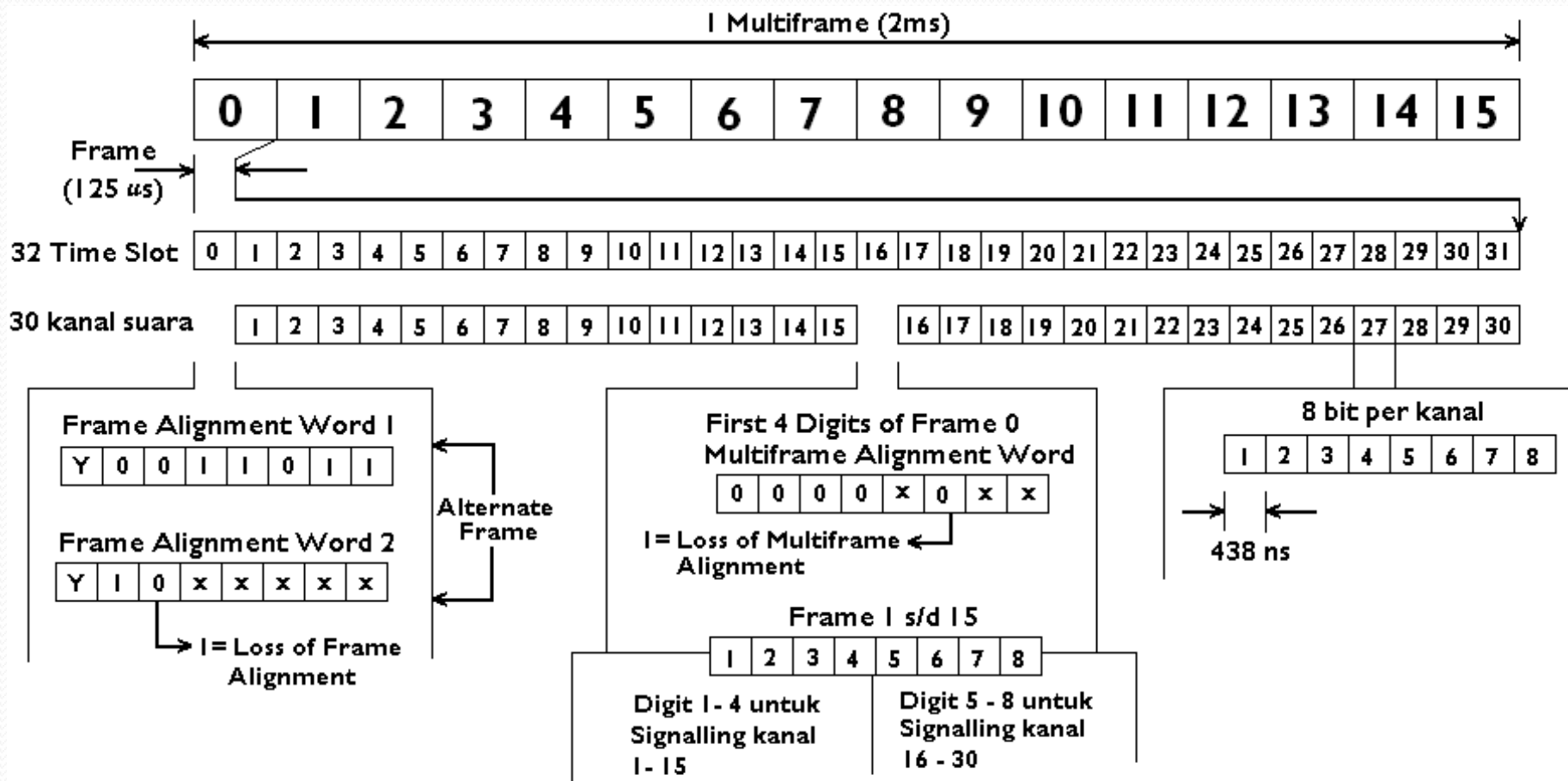
Gb. Susunan Frame PCM 30

Ts No 0 = Ts untuk framing (Frame Alignment)

Ts No 1 s/s Ts No 15 : untuk voice ; Ts No 17 s/d 31 \rightarrow voice

Ts No 16 : untuk signalling (Pensinyalan)





Gb. Detail Multiframe PCM 30

| Frame No | Time Slot 0 Bit No | | | | | | | | Time Slot 16 Bit No | | | | | | | |
|----------|-----------------------|---|---|---|---|---|---|---|------------------------|---|---|---|-----------|---|---|---|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
| 0 | Y | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | X | Z | X | X |
| 1 | Y | 1 | Z | X | X | X | X | X | Sig ch 1 | | | | Sig ch 16 | | | |
| 2 | Y | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | Sig ch 2 | | | | Sig ch 17 | | | |
| 3 | Y | 1 | Z | X | X | X | X | X | Sig ch 3 | | | | Sig ch 18 | | | |
| 4 | Y | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | Sig ch 4 | | | | Sig ch 19 | | | |
| 5 | Y | 1 | Z | X | X | X | X | X | Sig ch 5 | | | | Sig ch 20 | | | |
| 6 | Y | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | Sig ch 6 | | | | Sig ch 21 | | | |
| 7 | Y | 1 | Z | X | X | X | X | X | Sig ch 7 | | | | Sig ch 22 | | | |
| 8 | Y | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | Sig ch 8 | | | | Sig ch 23 | | | |
| 9 | Y | 1 | Z | X | X | X | X | X | Sig ch 9 | | | | Sig ch 24 | | | |
| 10 | Y | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | Sig ch 10 | | | | Sig ch 25 | | | |
| 11 | Y | 1 | Z | X | X | X | X | X | Sig ch 11 | | | | Sig ch 26 | | | |
| 12 | Y | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | Sig ch 12 | | | | Sig ch 27 | | | |
| 13 | Y | 1 | Z | X | X | X | X | X | Sig ch 13 | | | | Sig ch 28 | | | |
| 14 | Y | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | Sig ch 14 | | | | Sig ch 29 | | | |
| 15 | Y | 1 | Z | X | X | X | X | X | Sig ch 15 | | | | Sig ch 30 | | | |

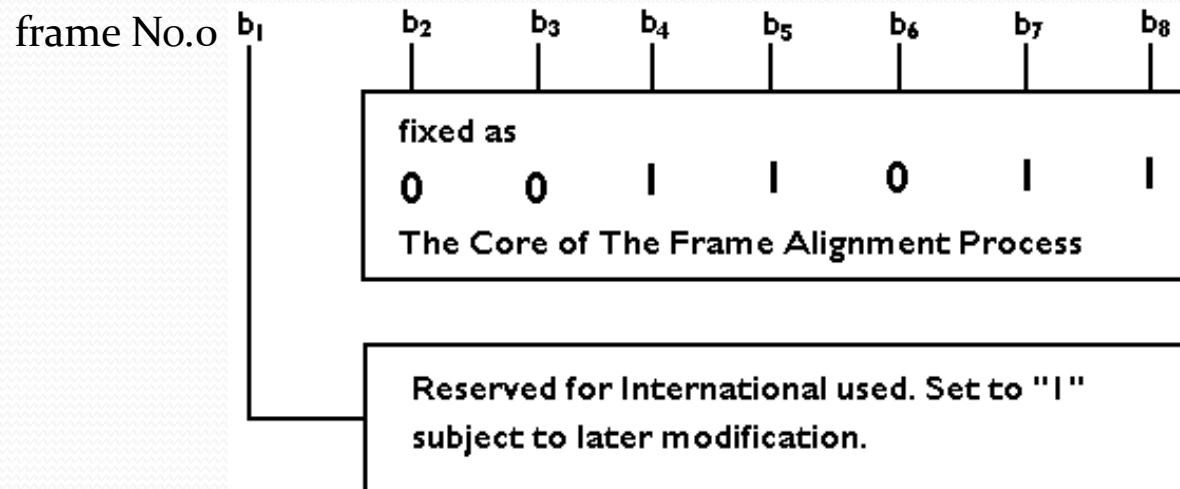
Tabel : bit-bit aktual untuk Time Slot o dari multiframe untuk kondisi normal (tidak ada alarm).

Ket : X = bit-bit yang tidak dialokasikan untuk tujuan-tujuan tertentu, normal diset "1"

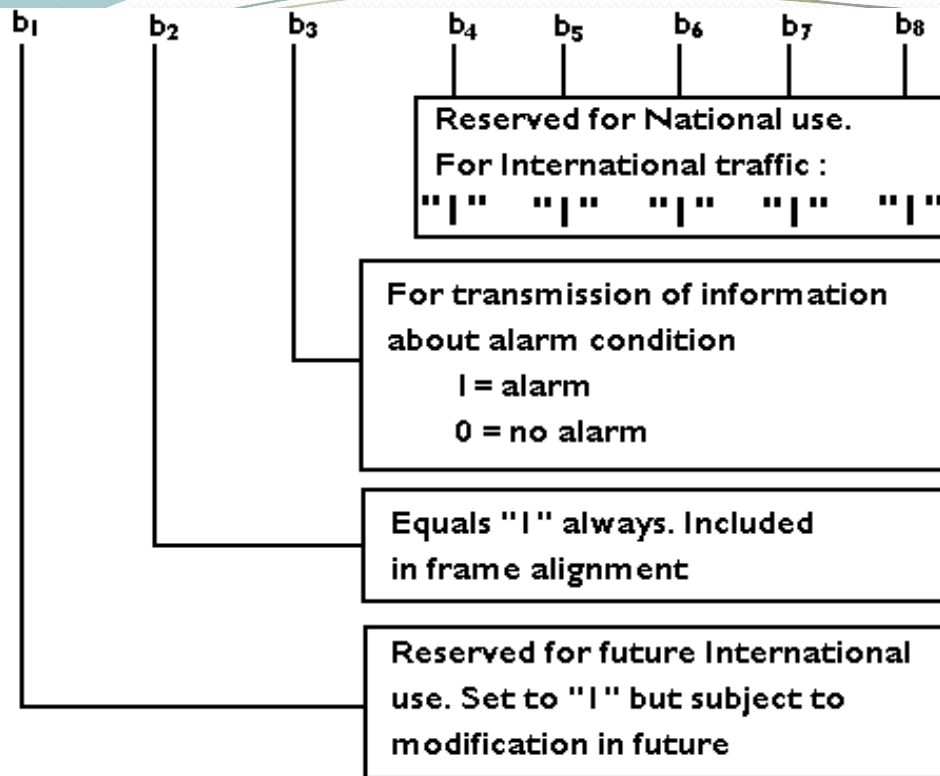
Y = bit-bit reserve untuk penggunaan Internasional, normal diset "1"

Z = bit-bit yang digunakan untuk menginformasikan selang akhir jika terdeteksi adanya "frame alignment loss" ; normal = 0 ; alarm = 1

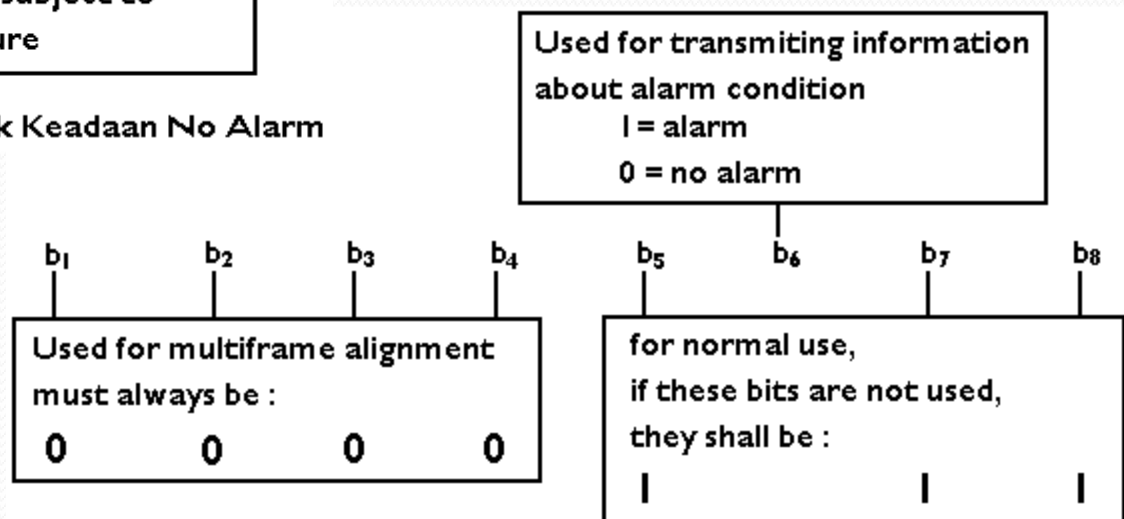
- Sinyal frame alignment (menyamakan frame) 0011011 dikirim selama Ts No.o untuk frame nomor genap
- Multiframe alignment signal 0000 dikirim hanya sekali per multiframe pada Ts No.16



Gb. Susunan Frame Alignment Word (FAW) I



Gb. Susunan Frame Alignment Word 2 untuk Keadaan No Alarm



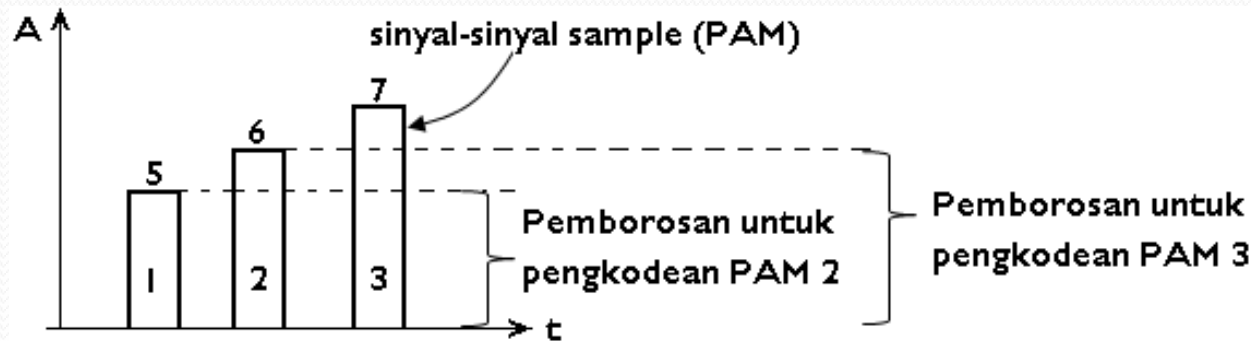
Gb. Susunan Multiframe Alignment (Synchronizetion) Word

Perbandingan Sistem PCM 24 dan PCM 30

| | PCM 24 | PCM 30 |
|--------------------------------|------------|----------------|
| Sampling frequency (kHz) | 8 | 8 |
| Duration of time slot (s) | 5.2 | 3.9 |
| Bit width (s) | 0.65 | 0.49 |
| Bit transfer rate (Mbps) | 1.544 | 2.048 |
| Frame periode (s) | 125 | 125 |
| No. of bits per word | 8 | 8 |
| No. of frames per multiframe | 12 | 16 |
| Multiframe periode (ms) | 1.5 | 2 |
| Frame alignment signal in | Odd frame | Even frame |
| Multiframe alignment signal in | Even frame | Ts 16 of frame |
| Frame alignment word | 101010 | 0011011 |
| Multiframe alignment word | 001110 | 0000 |

III. DPCM : Differensial PCM

- * Pada sistem PCM, jika sinyal audio atau sinyal video dicuplik (sampling), biasanya diperoleh sinyal-sinyal sample (PAM) yang berdekatan memiliki level yang tidak terlalu jauh (level sinyal-sinyal sample yang berdekatan hampir sama). Dengan pengkodean seperti sistem PCM berarti banyak terjadi “redudansi” pada sinyal-sinyal sample tersebut; yang menyebabkan “bandwidth” dan “dynamic range” pada sistem PCM menjadi boros (terbuang) jika sinyal-sinyal redudansi tersebut dikirimkan.



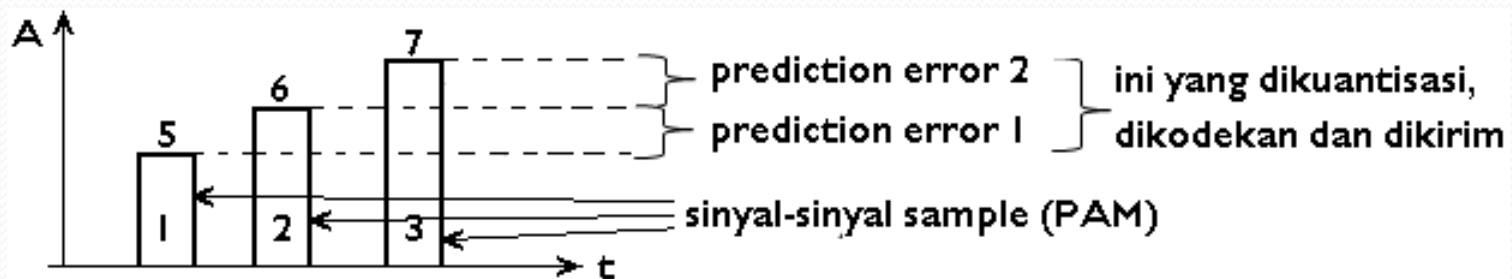
Gb. Sinyal-Sinyal PAM

Sinyal PAM no 1, level 5 → dikodekan mis 0101 1001

Sinyal PAM no 2, level 6 → dikodekan 0101 1010

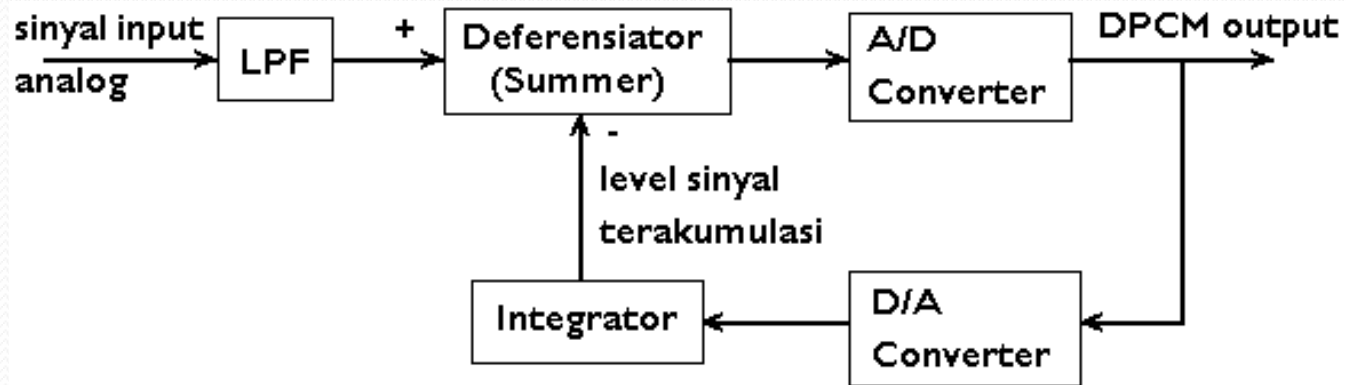
Sinyal PAM no 3, level 7 → dikodekan 0101 1011
Pemborosan

- * Untuk mengurangi redudansi dan mengurangi bandwidth yang dikirim, jika menggunakan PCM; digunakan teknik DPCM; sebagai pengganti proses kuantisasi dan coding sinyal-sinyal sample pada sistem PCM.
- * Pada sistem DPCM, perbedaan amplitudo 2 sinyal sample yang berdekatan (sinyal sample terdahulu dengan sinyal sample berikutnya) yang dikirimkan.
- * Pada DPCM, suatu perkiraan harga sinyal sample berikutnya dibuat berdasar atas harga sinyal sample terdahulu, harga perkiraan ini kemudian dikurangkan dengan harga sinyal sample sebenarnya, perbedaan (selisih) antara 2 sinyal ini disebut “prediction error” (kesalahan prediksi). Prediction error ini kemudian dikuantisasi, dikodekan dan dikirim ke penerima (decoder).

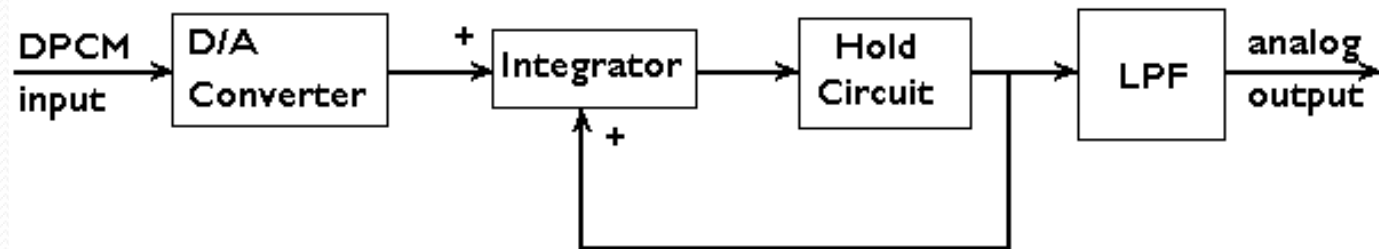


Gb. Sinyal-Sinyal Selisih PAM

Disisi penerima (deecoder), proses kebalikan terjadi : yaitu membentuk kembali sinyal orisinil dari kesalahan-kesalahan prediksi terkuantisasinya.

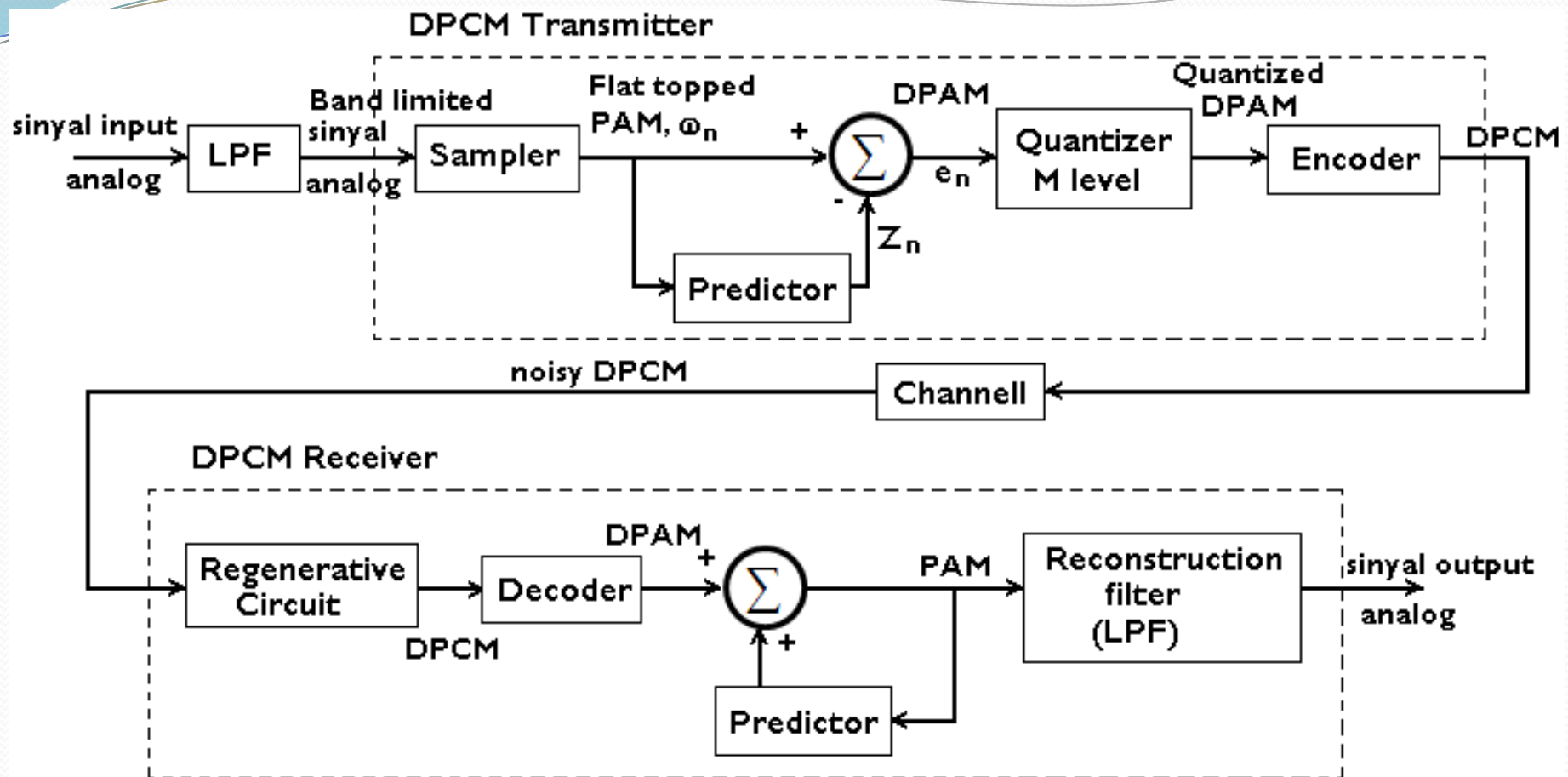


Gb. Pengirim DPCM



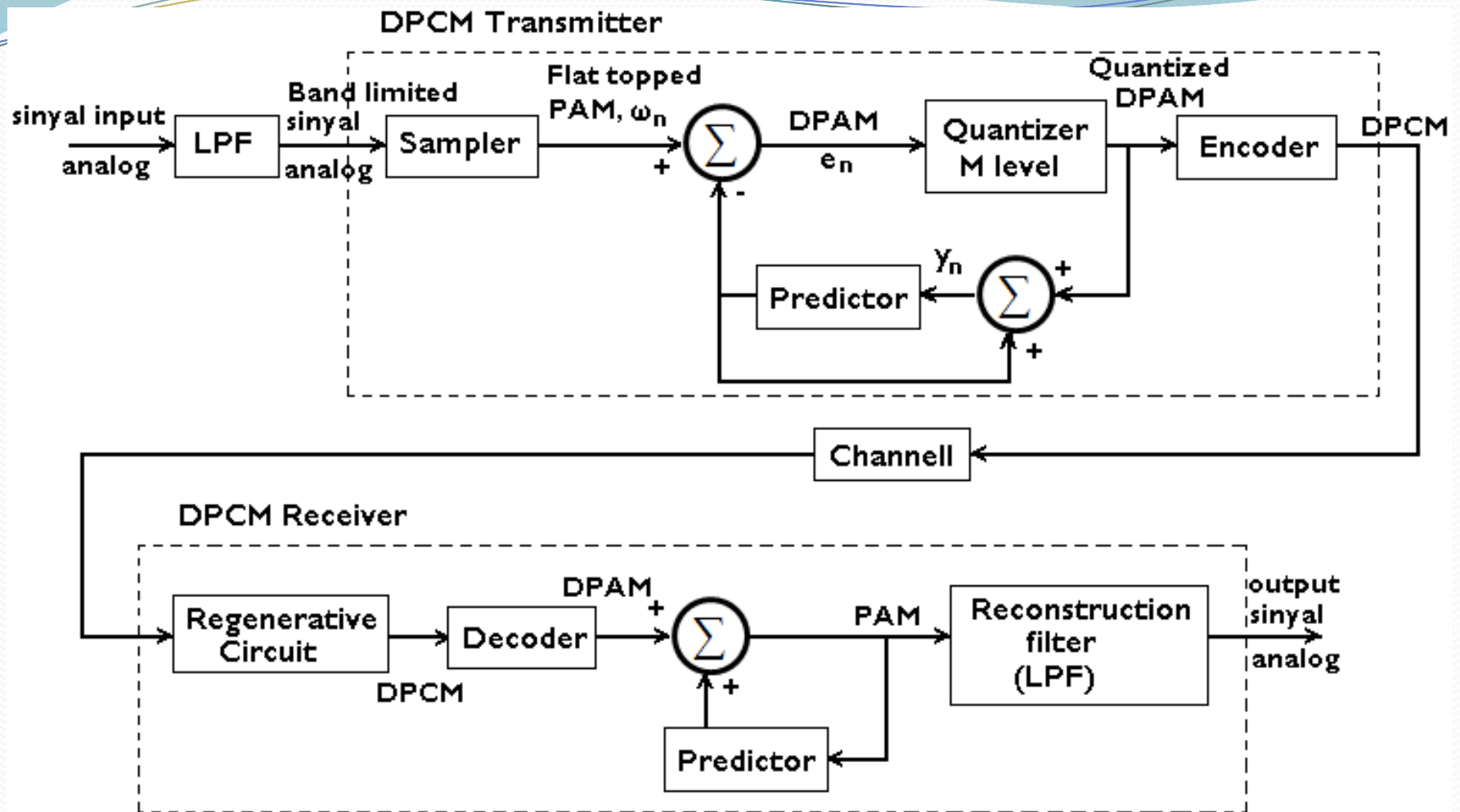
Gb. Penerima DPCM

- * Pada Pengirim : sinyal-sinyal analog input dibandingkan dengan level sinyal terakumulasi, di rangkaian diferensiator; output diferensiator merupakan selisih antara 2 sinyal tersebut, selisih tersebut kemudian dikodekan dengan PCM dan dikirimkan; rangkaian (blok) A/D converter prinsip kerja, sama seperti pada konsep PCM, hanya bedanya, dengan menggunakan lebih sedikit bit per sample.
- * Pada Penerima : tiap-tiap sinyal sample diubah kembali ke bentuk sinyal analog, disimpan dan dijumlahkan dengan sinyal-sinyal sample berikutnya yang diterima.



Gb. DPCM dengan Menggunakan Prediksi dari Sample-Sample Sinyal Input

Pada Gambar di atas, menggunakan prediktor untuk memperoleh selisih sinyal-sinyal termodulasi amplitudo pulsa (DPAM) yang selanjutnya dikuantisasi dan dikodekan untuk memperoleh sinyal DPCM.



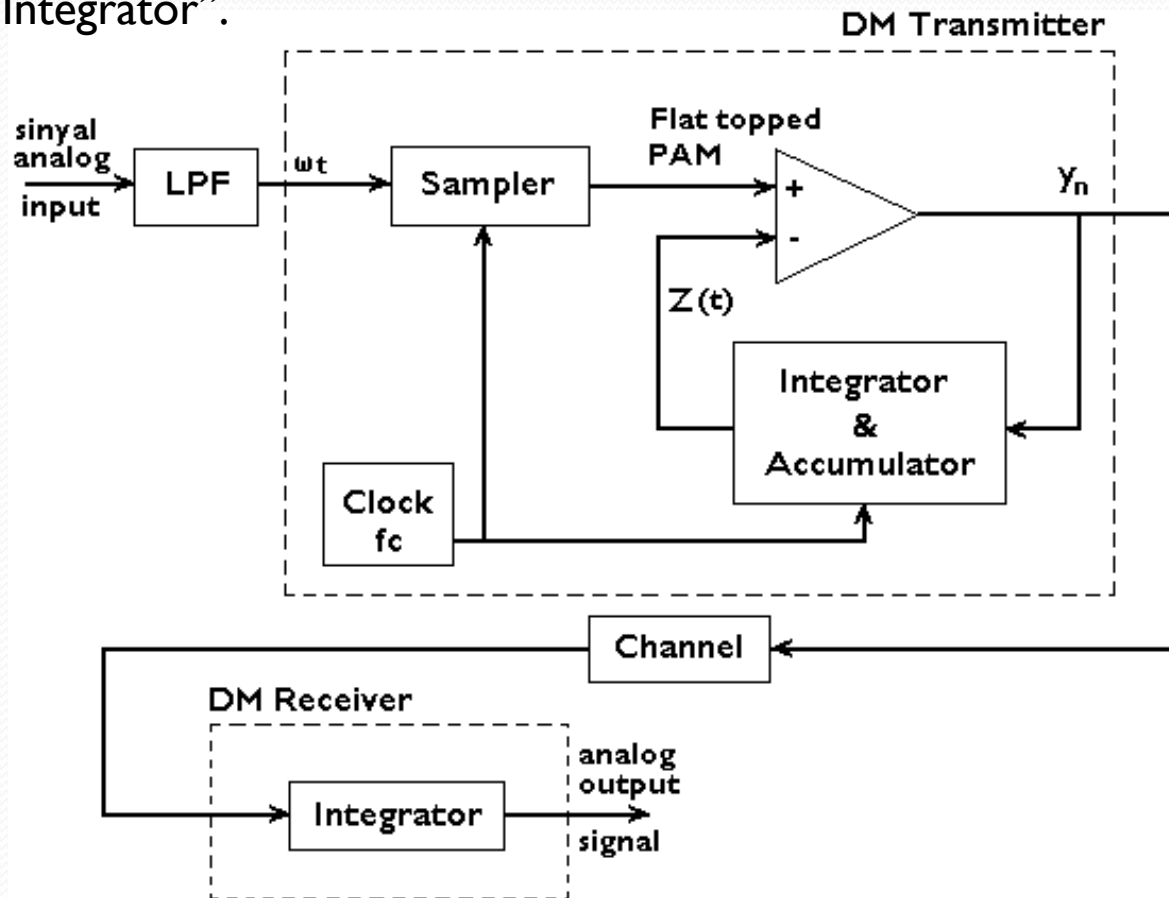
Gb. DPCM dengan Menggunakan Prediksi Selisih Sinyal-Sinyal Terkuantisasi

Pada Gambar di atas, prediktor bekerja pada harga-harga terkuantisasi dengan maksud agar noise kuantisasi dapat diminimumkan.

IV. Modulasi Delta (Modulasi Segitiga)

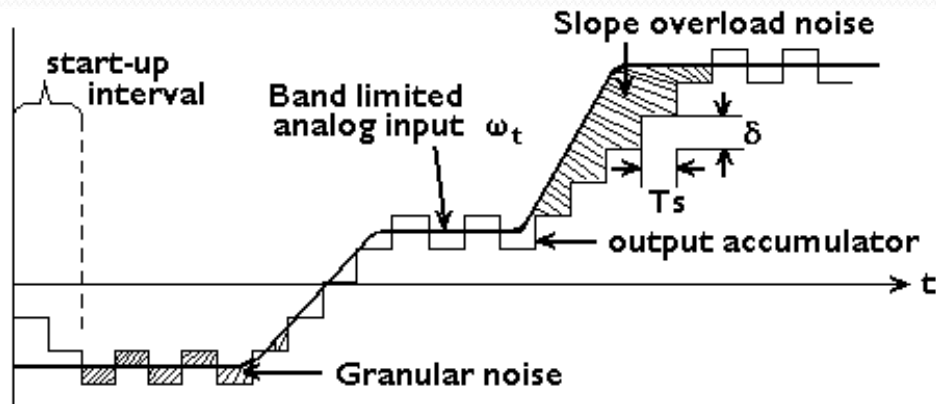
- * Modulasi delta merupakan suatu versi penyederhanaan dari DPCM, yang merupakan kasus khusus dari DPCM, dimana ada 2 level kuantisasi (1 bit) yang harganya $\pm\Delta$.
- * Modulasi delta merupakan 1 kode elemen, yang tentu saja proses-proses perbandingan sinyal seperti pada DPCM tetap ada.
- * Bit “1” dikirim ke line jika sinyal sample yang datang memiliki amplitudo yang lebih besar jika dibanding dengan amplitudo sinyal sample sebelumnya.
- * 2 level kuantisasi ($M=2$), dalam hal seperti gambar DPCM dengan menggunakan prediksi selisih sinyal-sinyal terkuantisasi, maka sinyal-sinyal DPAM terkuantisasi merupakan sinyal biner, sehingga Encoder tidak diperlukan, begitu pula rangkaian A/D dan D/A converter tidak diperlukan.

- * Pada gambar berikut : cara kerja “Subtractor” dan “Quantizer” 2 level direalisasikan dengan rangkaian “Komparator” dengan output $\pm V_c$ ($\pm \Delta$) yang merupakan sinyal “biner bipolar”. Pada sisi penerima, sinyal DM diubah kembali ke sinyal analog dengan rangkaian “Integrator”.

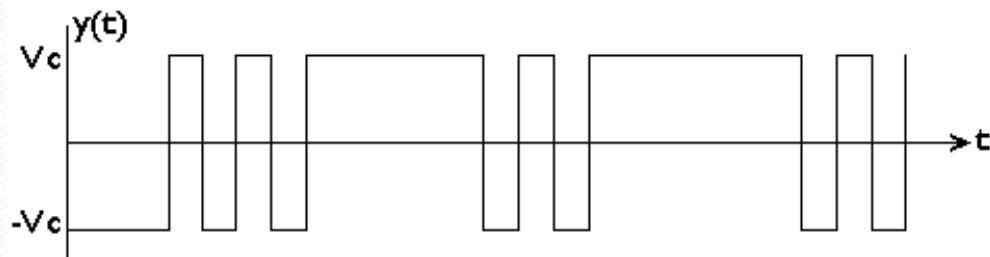


Gb. Delta Modulation (DM)

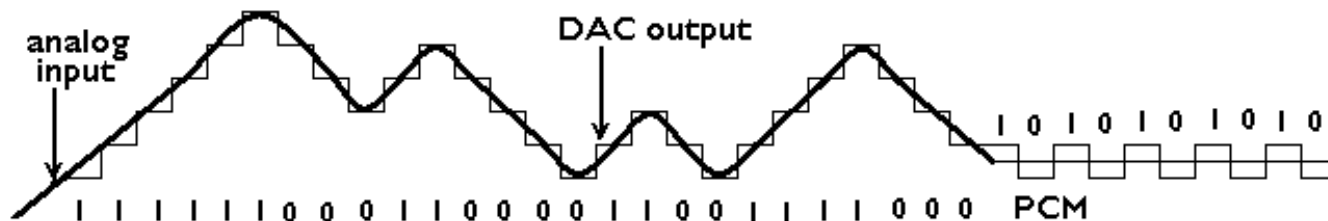
- * Gambar berikut adalah bentuk gelombang sinyal analog input dan sinyal output dari akumulator, serta bentuk gelombang sinyal output DM (Delta Modulator).



Gb. Input Analog dan Output Accumulator



Gb. Bentuk Gelombang Sistem DM



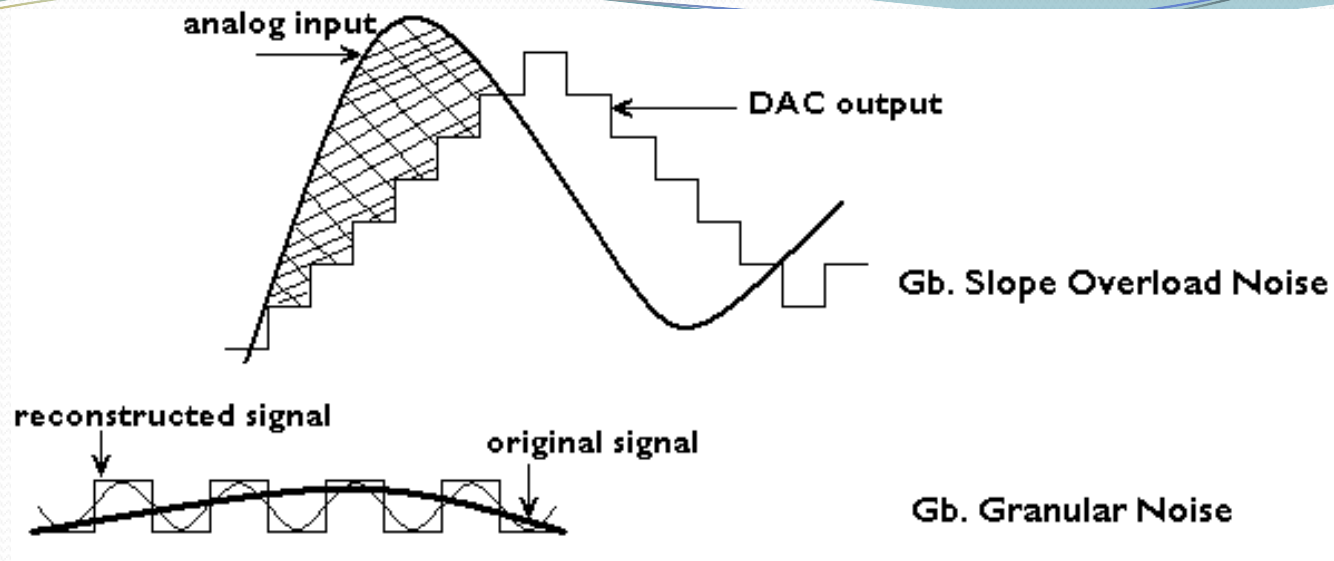
Gb. DM Encoder

* Granular Noise dan Slope Overload Noise

- ✓ Sinyal output akumulator tidak selalu sesuai dengan sinyal input analog
- ✓ Sinyal error noise kuantisasi dapat diklasifikasikan menjadi 2 tipe :
 1. Slope overload noise
 2. Granular noise

❑ **Slope overload noise (slope overload distortion)** : terjadi jika stepsize terlalu kecil untuk output akumulator untuk mengikuti perubahan yang cepat gelombang input (sinyal input analog berubah secara cepat/ terlalu cepat dibanding output DAC (accumulator), jadi slope overload noise terjadi pada transisi sinyal input yang besar dan cepat).

❑ **Granular Noise** : terjadi jika sinyal analog memiliki amplitudo yang relatif konstan. Granular noise identik dengan “noise kuantisasi” pada sistem PCM.



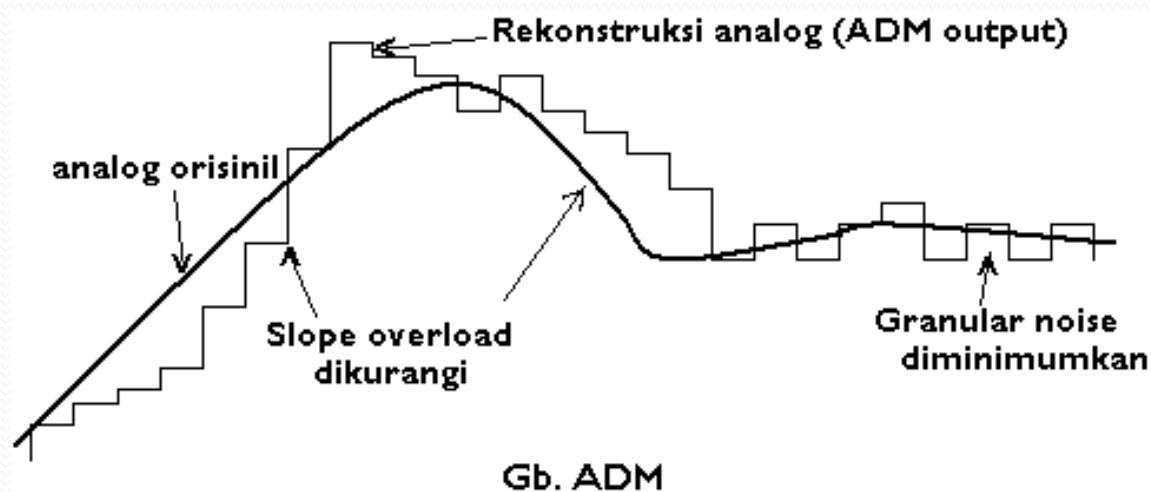
V. ADM-PCM (Adaptive Delta Modulation PCM)

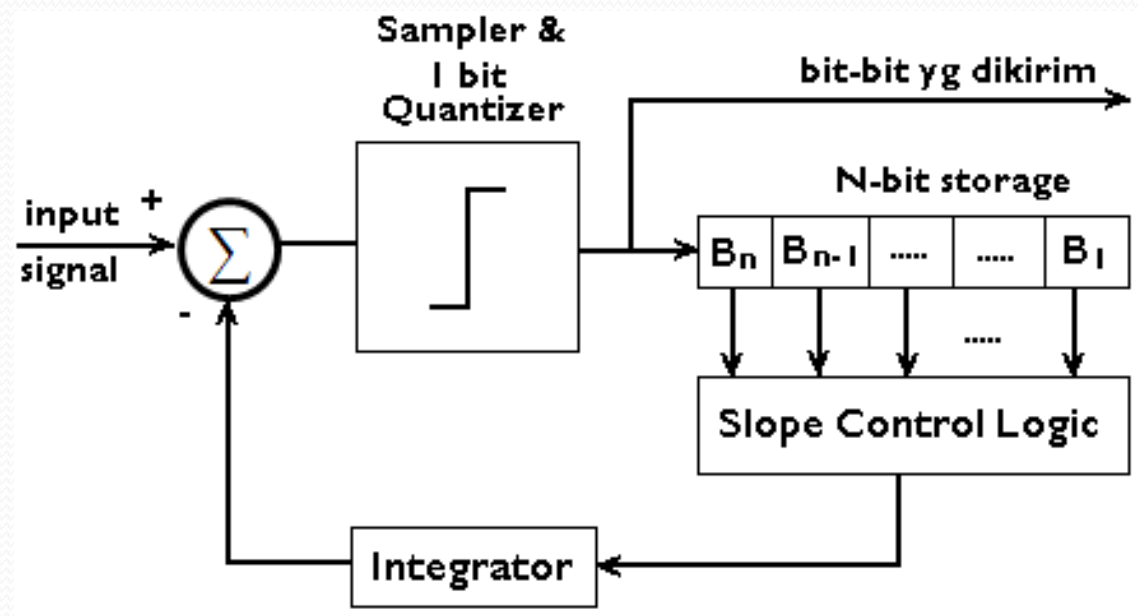
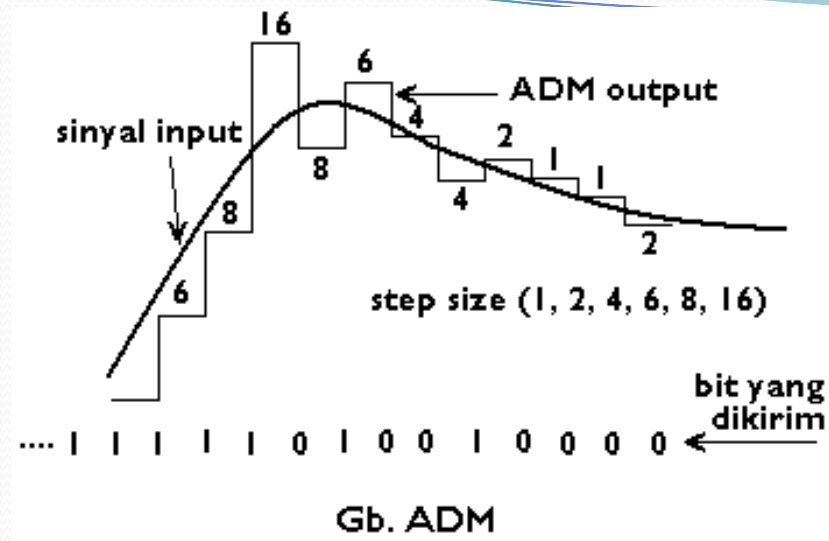
- * Untuk meminimumkan slope overload noise, sementara granular noise pada harga yang dapat diterima, maka digunakan teknik ADM.
- * Step size δ output DAC, bervariasi sebagai fungsi waktu mengikuti perubahan bentuk gelombang sinyal input (δ tidak sama, δ bervariasi sesuai dengan amplitudo sinyal input).
- * Step size δ dijaga agar tetap kecil untuk meminimumkan granular noise, sehingga slope overload noise mulai dominan, kemudian δ ditambah agar slope overload noise berkurang.

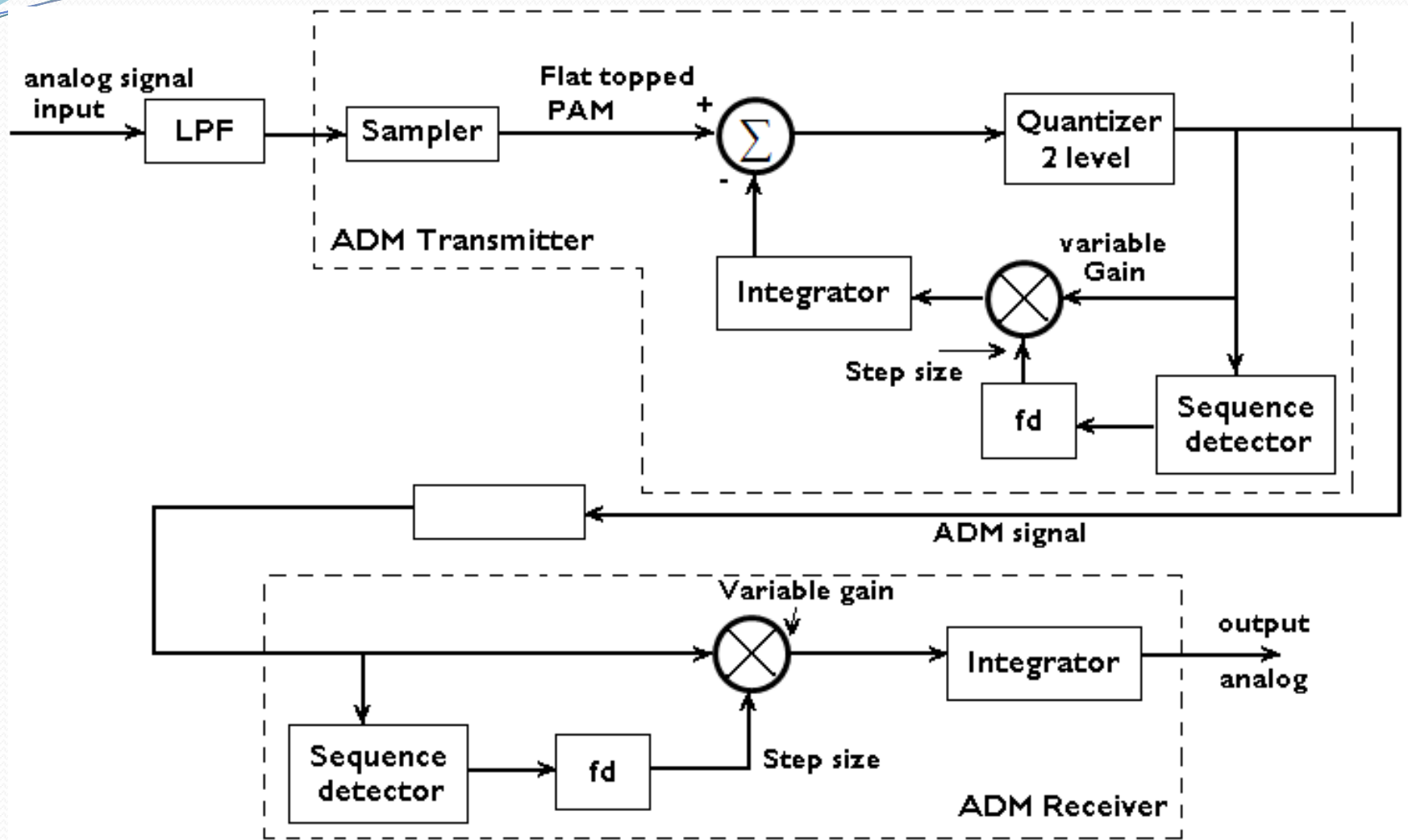
- * Contoh : saat pulsa-pulsa DM berupa deretan pulsa-pulsa dengan polaritas positif, step size ditambah hingga pulsa-pulsa DM mulai berubah polaritas, kemudian δ berubah.

| Urutan Delta | Jl. Biner 1 atau 0 berturut-turut | Step size $f(d)$ |
|--------------|-----------------------------------|------------------|
| XX o 1 | 1 | δ |
| X o 1 1 | 2 | δ |
| o 1 1 1 | 3 | 2δ |
| 1 1 1 1 | 4 | 4δ |

X = don't care







Gb. ADM System