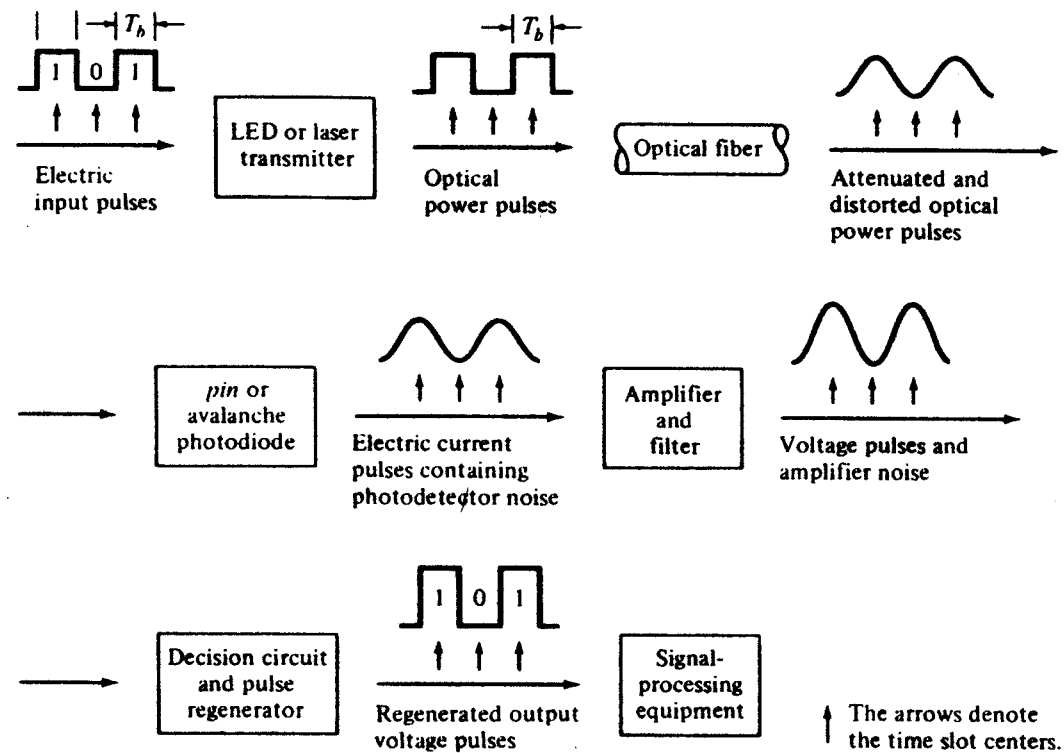


# OPTICAL RECEIVER

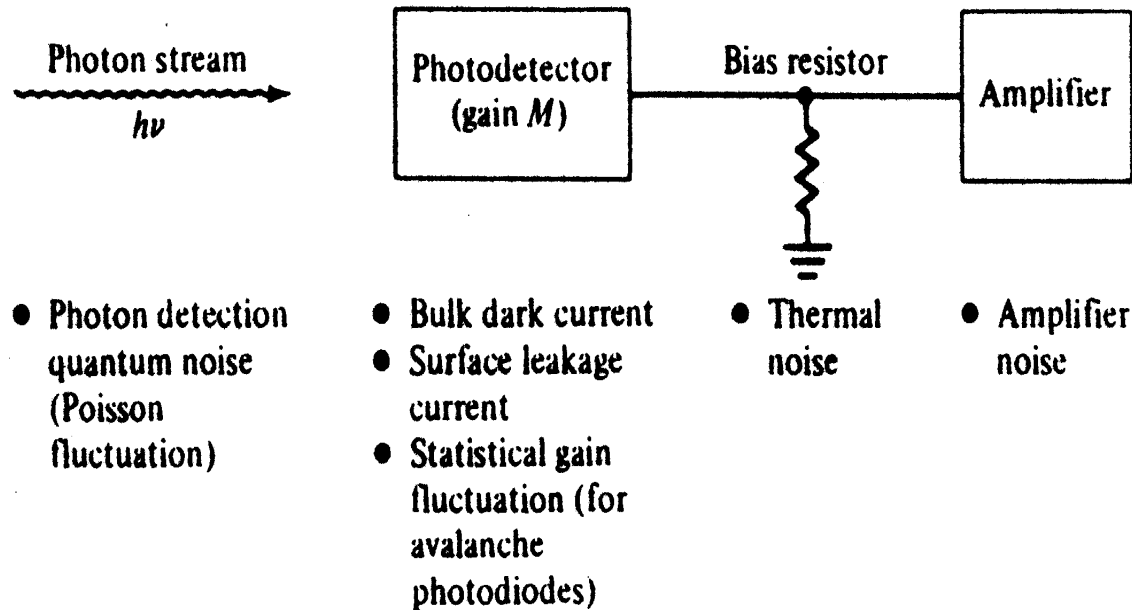
Ref : Keiser

# Transmisi Sinyal Digital



Lintasan sinyal melalui link data optis

## Sumber Error



Sumber noise dan gangguan pd mekanisme deteksi pulsa optis

**Jumlah pasangan elektron-hole rata2 yg dibangkitkan dlm waktu  $\tau$  :**

$$\bar{N} = \frac{\eta}{hf} \int_0^{\tau} P(t) dt = \frac{\eta E}{hf}$$

**$\eta$  : efisiensi kuantum detektor**

**$hf$  : energi photon**

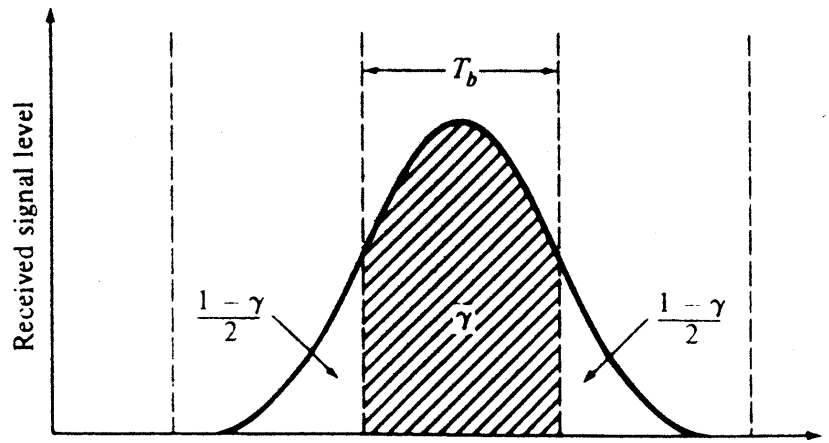
**$E$  : energi yg diterima dlm interval waktu  $\tau$**

**Jumlah pasangan elektron-hole nyata yg dibangkitkan n berfluktuasi dr rata2 menurut distribusi Poisson.**

**Probabilitas diemisikan n elektron pd interval  $\tau$**

$$P_r(n) = \bar{N}^n \frac{e^{-\bar{N}}}{n!}$$

Selain kuantum noise dan excess noise yg dapat mengakibatkan error, sumber error lain adalah ISI (Inter Symbol Interference) yg diakibatkan oleh pelebaran pulsa di fiber optik.



### Pelebaran pulsa yg mengakibatkan ISI

$\gamma$  : bagian energi pd timeslot yg cocok.

1-  $\gamma$  : bagian energi yg melebar ke timeslot sebelahnya

# Konfigurasi Penerima

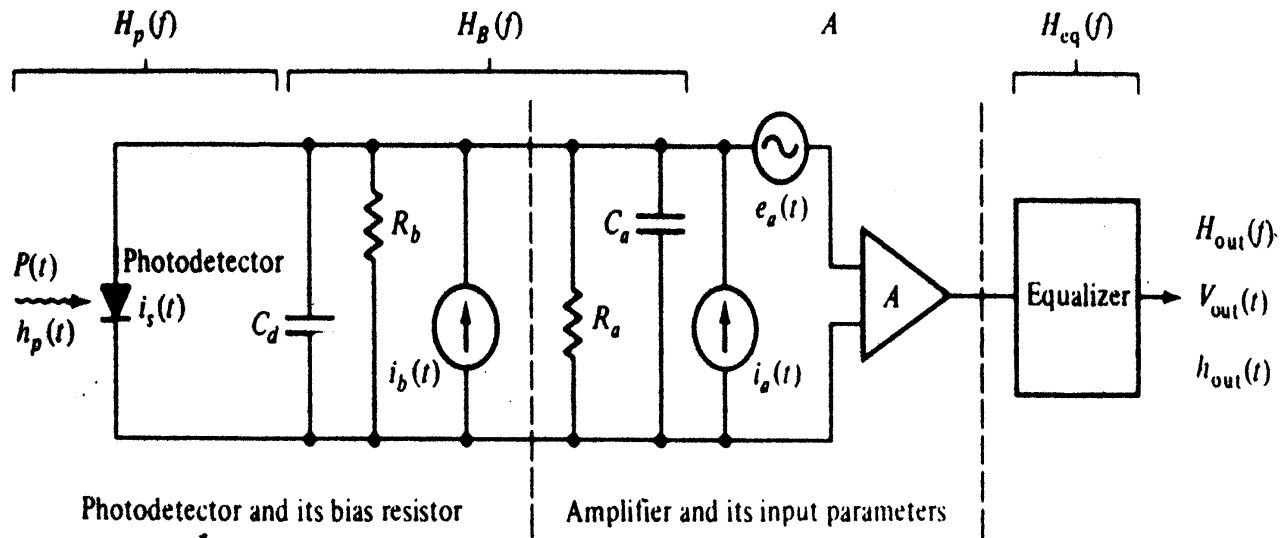


Diagram suatu penerima optik

# Perhitungan Unjuk Kerja Penerima Digital

**Probabilitas error.**

$$BER = \frac{N_e}{N_t} = \frac{N_e}{Bt}$$

**$N_e$  : jumlah error terjadi pd interval waktu t**

**$N_t$  : jumlah pulsa yg ditransmisikan selama waktu t**

**$B = 1/T_b$  laju bit (yi laju transmisi pulsa)**

**Utk menghitung BER di penerima, harus diketahui distribusi probabilitas sinyal di keluaran ekualiser.**

**Probablitas teg keluaran ekualiser  $< v$  jika dikirim pulsa 1 :**

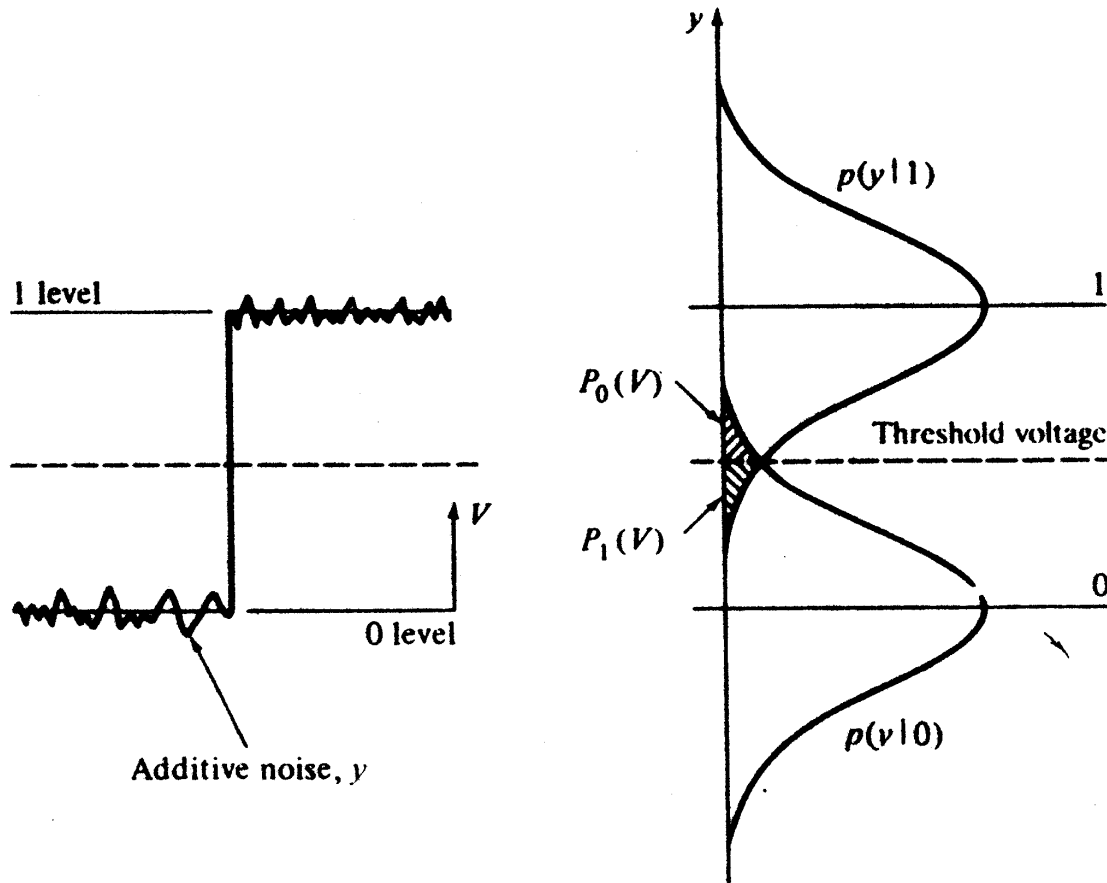
$$P_1(v) = \int_{-\infty}^v p(y|1)dy$$

**Probablitas teg keluaran ekualiser  $> v$  jika dikirim pulsa 0 :**

$$P_0(v) = \int_v^{\infty} p(y|0)dy$$

**$p(y | 1)$  dan  $p(y | 0)$  adalah fungsi distribusi probabilitas kondisional, yi  $p(y | x)$  adalah probabilitas keluaran = y jika dikirimkan x.**





**Probabilitas distribusi sinyal level 0 dan 1**

Jika tegangan threshold  $v_{th}$ , maka probabilitas error :

$$P_e = aP_1(v_{th}) + bP_0(v_{th})$$

a, b : faktor beban ditentukan oleh distribusi a priori dr data.

a : probabilitas terjadinya 1, dan b : probabilitas terjadinya 0

**Masalah** : memilih harga decision threshold dimana  $P_e$  minimal

**Andaikan** noise terdidtribusi Gaussian dgn rata2 nol.

**Probabilitas** sample terukur  $n(t_1)$  pd daerah  $n$  s/d  $n+dn$  :

$$f(n)dn = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} e^{-n^2/2\sigma^2} dn$$

$\sigma^2$  : variansi noise

$f(n)$  : fungsi densitas probabilitas

**Andaikan amplitudo pulsa  $V$  dan teg threshold  $v_{th} = V/2$ , maka probabilitas error jika dikirim 0 :**

$$P_0(v_{th}) = \int_{v/2}^{\infty} p(y|0)dy = \int_{v/2}^{\infty} f_0(y)dy$$

$$P_0(v_{th}) = \int_{v/2}^{\infty} \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} e^{-v^2/2\sigma^2} dv$$

**Serupa dgn itu jika dikirim 1, fungsi densitas probabilitas :**

$$f_1(v) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} e^{-n^2/2\sigma^2}$$

**Probabilitas error jika dikirim 1 :**

$$P_1(v_{th}) = \int_{-\infty}^{V/2} p(y|1)dy = \int_{-\infty}^{V/2} f_1(v)dv$$

$$P_1(v_{th}) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} \int_{-\infty}^{V/2} e^{-(v-V)^2 / 2\sigma^2} dv$$

**Shg utk a = b = 0,5, maka probabilitas error :**

$$P_e = \frac{1}{2} \left[ 1 - \operatorname{erf} \left( \frac{V}{2\sqrt{2\sigma}} \right) \right]$$

**Dimana :**

$$\operatorname{erfx} = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^x e^{-y} dy$$

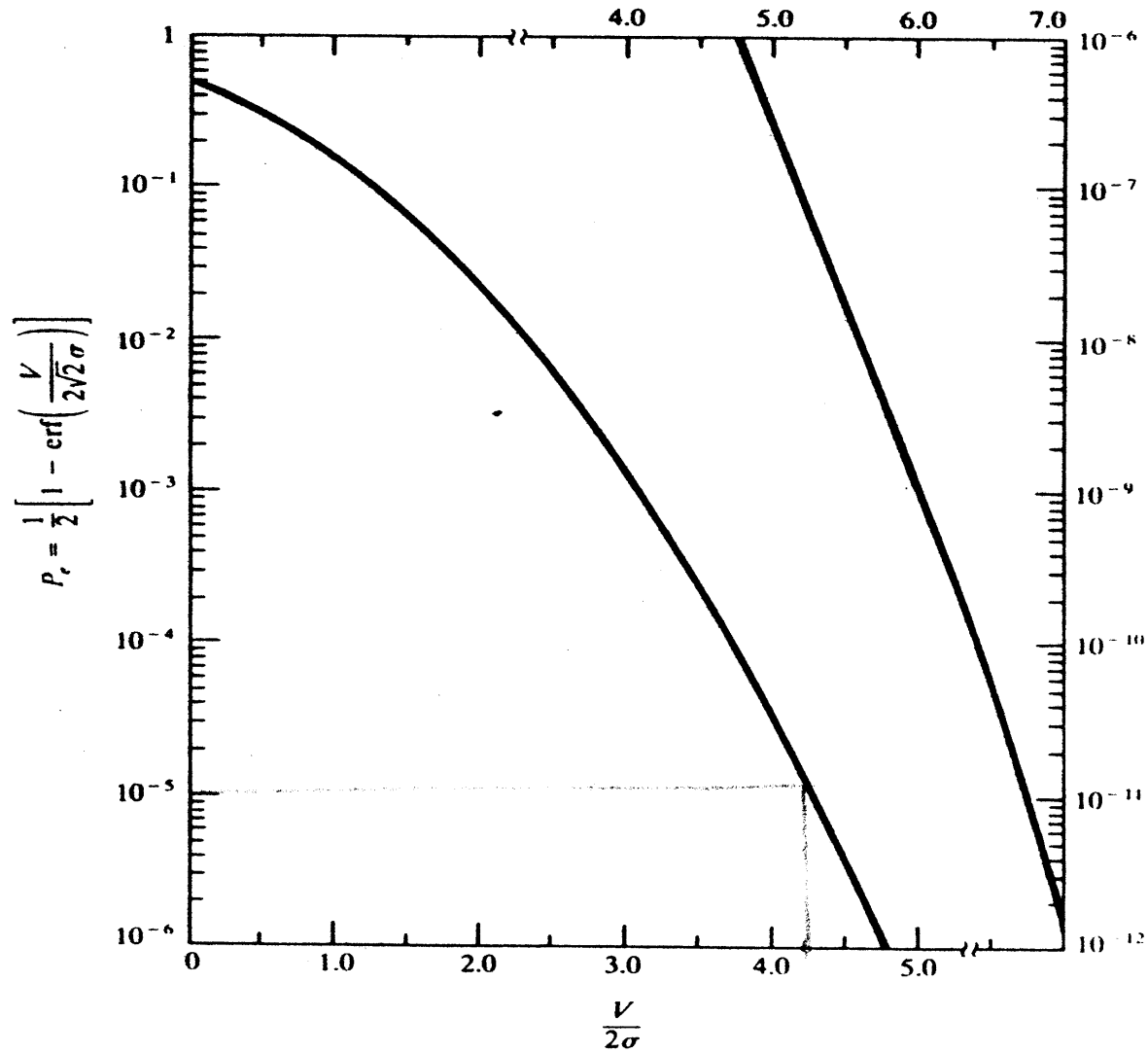
**Pe hanya tergantung pd parameter  $V/\sigma$ .**

**V : amplitudo sinyal**

**$\sigma$  : deviasi standard noise (rms noise)**

**$V/\sigma$  : perbandingan peak signal dng rms noise**

$$\left( \frac{S}{N} \right)_{dB} = 20 \log \frac{V}{\sigma}$$



**BER sbg fungsi S/N**

Fakultas Teknik

# Contoh

Dr grafik untuk  $S/N = V/\sigma = 8,5$  kali →

$$S/N = 20 \log 8,5 = 18,6 \text{ dB}$$

$V/2\sigma = 4,25 \rightarrow P_e = 10^{-5}$ , atau Setiap dikirim  $10^5$  buah bit, maka 1 buah bit diinterpretasikan salah.

Jika sinyal diperkuat shg  $S/N = 12,0$  kali = 21,6 dB)

$$V/2\sigma = 6 \rightarrow P_e = 10^{-9}$$

# Quantum Limit

Andaikan detektor foto ideal yi memiliki efisiensi kuantum 1 dan tidak ada dark current → memungkinkan mendapatkan daya optis terima minimal (quantum limit) pd BER tertentu.

Pulsa optis berenergi E mengenai detektor foto dlm interval waktu  $\tau$ , akan diinterpretasikan oleh penerima sbg pulsa 0 jika tak ada pasangan elektron hole yg dibangkitkan.

Dari 
$$P_r(n) = \frac{\bar{N}^n e^{-\bar{N}}}{n!}$$

Maka, probabilitas diemisikan  $n = 0$  elektron pd interval  $\tau$

$$P_r(0) = \frac{e^{-\bar{N}}}{1} \quad \text{dimana} \quad \bar{N} = \frac{\eta E}{hf}$$

$E$  : energi yg diterima pd interval  $\tau$

$\bar{N}$  : Jml pasangan elektron-hole dibangkitkan

Shg utk  $P_r(0)$  tertentu, terdapat energi minimal yg dibutuhkan pd panjang gel tertentu. Fakultas Teknik



# Contoh

Fiber optik link bekerja pd panjang gelombang 850 nm memerlukan BER maksimum  $10^{-9}$  , efisiensi kuantum detektor 1

Hitunglah :

- Rata2 pasangan hole-elektron perlu dibangkitkan  $\bar{N}$
- Daya dibutuhkan jika laju data 10 Mb/s (untuk laju 0 dan 1 sama  $\rightarrow 1/\tau = B/2$ ).