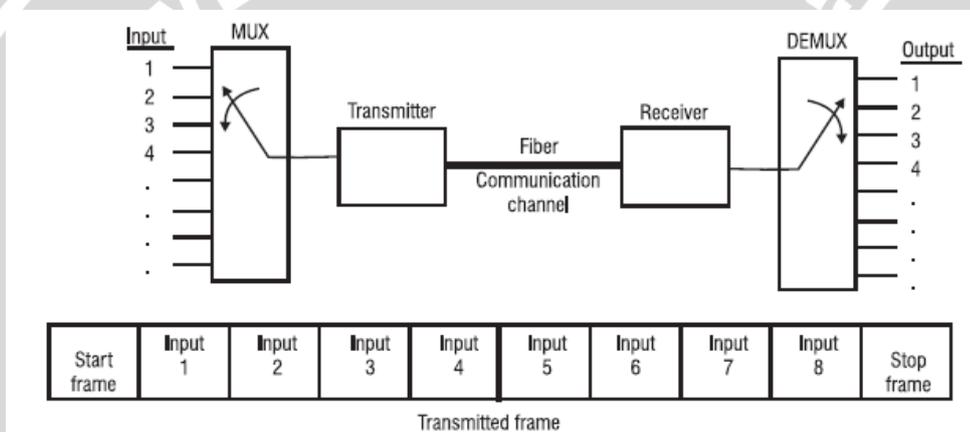


## BAB II DASAR TEORI

### 2.1 TDM

TDM merupakan sebuah metode pentransmisian beberapa sinyal informasi sekaligus melalui satu saluran transmisi dengan masing-masing sinyal ditransmisikan pada periode waktu tertentu. TDM menggunakan prinsip penggiliran waktu pemakaian saluran transmisi dengan mengalokasikan satu *time slot* bagi setiap pemakai saluran (*user*). TDM umumnya digunakan untuk komunikasi *point to point*. Pada TDM, penambahan peralatan pengiriman data lebih mudah dilakukan. Sistem TDM ditunjukkan pada Gambar 2.1.



**Gambar 2.1** Sistem TDM

(Sumber: Nick Massa, 2000)

Banyaknya data yang dapat ditransmisikan menggunakan TDM ditentukan oleh keluaran dari *multiplexer* (MUX), yang dapat dituliskan dalam persamaan 2-1 (Nick Massa, 2000).

$$\text{Keluaran MUX} = N \times \text{masukan maksimal} \quad (2-1)$$

N merupakan banyaknya kanal masukan dan masukan maksimal merupakan *data rate* tertinggi pada masukan dengan satuan *bits/second*. *Bandwidth* saluran komunikasi minimal harus sama dengan besarnya keluaran MUX. Parameter lain yang menjadi indikator dari kapasitas sistem TDM adalah

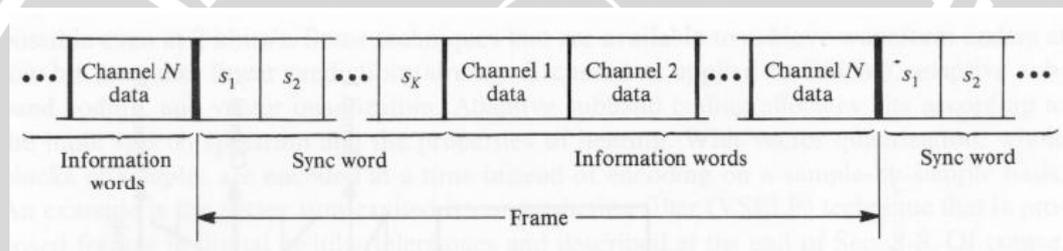


*channel-switching rate*. *Channel-switching rate* setara dengan jumlah *input* yang masuk tiap detik ke MUX, sesuai dengan persamaan 2-2 (Nick Massa, 2000).

$$\text{Channel switching rate} = \text{Input data rate} \times \text{Number of channels} \quad (2-2)$$

Pada sisi penerima TDM diperlukan adanya *frame synchronization* agar informasi yang diterima dapat diurutkan dan diarahkan ke kanal *output* yang tepat. Pada Gambar 2.2 ditunjukkan format *frame synchronization*. *Frame synchronization* pada penerima ada dua, yaitu:

- Sisi pengirim mengirimkan sinyal *frame synchronization* melalui kanal terpisah.
- Sinyal *frame synchronization* sudah ada pada sinyal TDM itu sendiri.



**Gambar 2.2** Format *Frame Synchronization* pada TDM

(Sumber: Dr. Erhan A. Ince 2003)

Sistem TDM tidak memerlukan filter yang mahal, dan jumlah filter yang digunakan lebih sedikit, sehingga peralatan terminal sistem ini lebih murah. Kabel dengan spesifikasi rendahpun dapat digunakan untuk sistem TDM, hal ini dikarenakan TDM memiliki *regenerative repeating* yang dapat menghilangkan pengaruh buruk dari *noise*, kecacatan dan *crosstalk* yang rendah.

Perubahan level (*level fluctuation*) kanal hanya dipengaruhi oleh karakteristik peralatan terminal itu sendiri dan tidak tergantung sama sekali dengan perubahan *loss* pada saluran (*line loss fluctuation*). Oleh karena itu *net loss circuit* yang diberikan oleh sistem ini rendah.

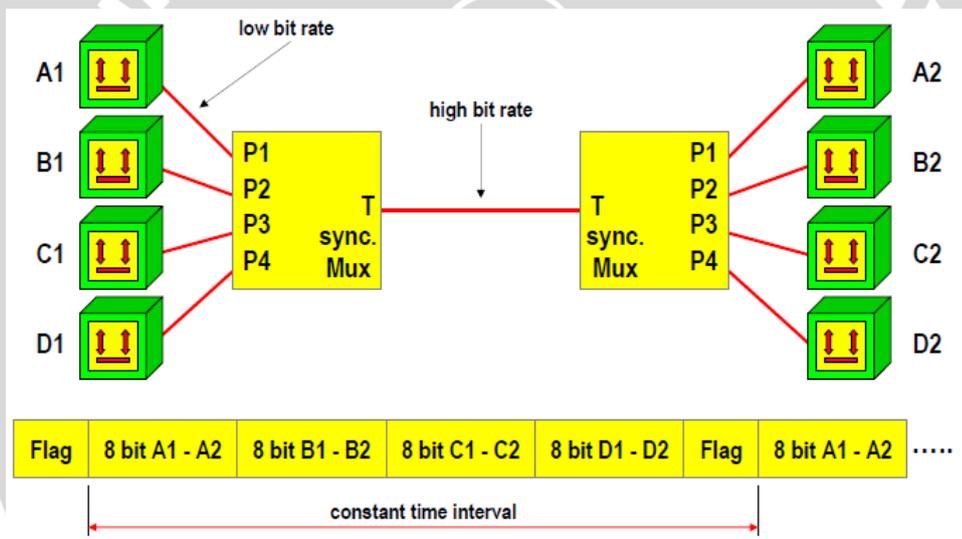
TDM menggunakan kabel lebih sedikit dan penerima yang lebih sederhana dibandingkan dengan teknik *multiplexing* yang lain. TDM juga menggunakan *bandwidth* yang lebih sedikit daripada *Frequency Division Multiplexing* (FDM).

Dengan lebar *bandwidth* yang kecil, membuat *bit rate* semakin cepat, namun daya yang digunakan semakin besar.

Pada prakteknya TDM dibagi menjadi dua jenis yaitu *synchronous* TDM dan *asynchronous* TDM.

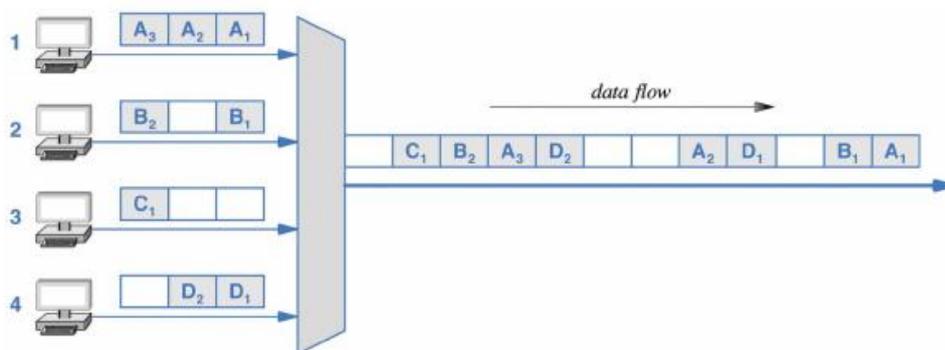
### 2.1.1 Synchronous TDM

*Synchronous* TDM mentransmisikan *time slot* dari semua sumber meskipun ada sumber yang tidak mempunyai data untuk dikirim. *Synchronous* TDM dimungkinkan apabila *data rate* yang dapat dicapai oleh media transmisi lebih besar daripada *data rate* sinyal digital yang akan di kirim. Gambar 2.3 menunjukkan sistem *synchronous* TDM.



**Gambar 2.3** Sistem *Synchronous* TDM  
(Sumber: D.I Lindner / D.I Haas, 2012)

*Synchronous* TDM secara periodik membuat *frame* dengan jumlah dan panjang *time slot* yang tetap. Tiap *frame* diawali dengan *flag* sebagai *frame synchronization* yang digunakan untuk membedakan satu *frame* dengan *frame* lainnya. *Framing* digunakan untuk sinkronisasi, manajemen jaringan dan deteksi eror antara *multiplexer* dan *demultiplexer*. Prinsip kerja *synchronous* TDM ditunjukkan oleh Gambar 2.4.



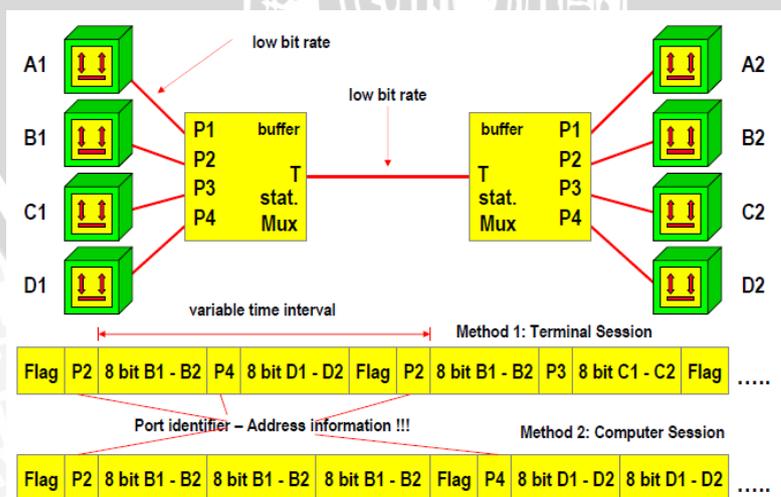
**Gambar 2.4** Prinsip Kerja *Synchronous* TDM

(Sumber : Pearson Prentice Hall, 2009)

### 2.2.2 *Asynchronous* TDM

*Asynchronous* TDM juga dikenal sebagai TDM (STDM). *Asynchronous* TDM memiliki *data rate* saluran *output* yang lebih kecil dari total *data rate* dari semua sumber.

Untuk menghindari adanya slot waktu yang kosong akibat tidak adanya data (atau tidak aktifnya pengguna) pada saat *sampling* setiap *input line*, maka proses *sampling* hanya dilakukan untuk *input line* yang aktif saja, sehingga diperlukan penambahan informasi kepemilikan data pada setiap *time slot* berupa identitas pengguna atau identitas *input line* yang bersangkutan. Sistem *asynchronous* TDM ditunjukkan oleh Gambar 2.5.

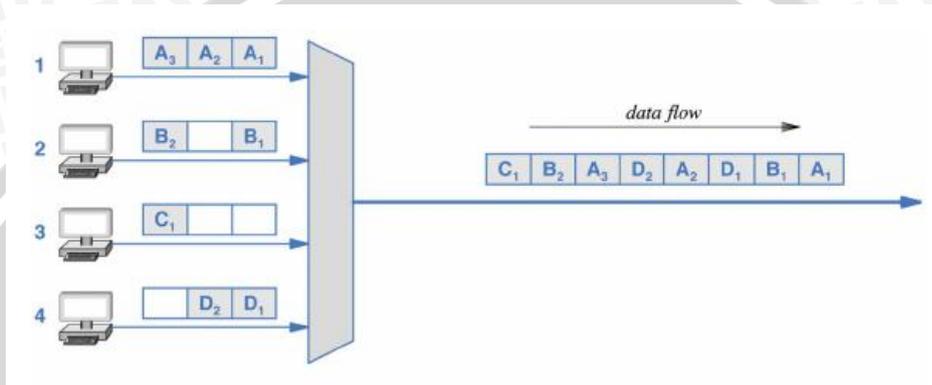


**Gambar 2.5** Sistem *Asynchronous* TDM

(Sumber: D.I Lindner / D.I Haas, 2012)

Pada *asynchronous TDM* terdapat  $n$ -saluran *input*, tetapi hanya  $k$ -*time slot* yang tersedia pada sebuah *frame time division multiplexing*, di mana  $k < n$ .

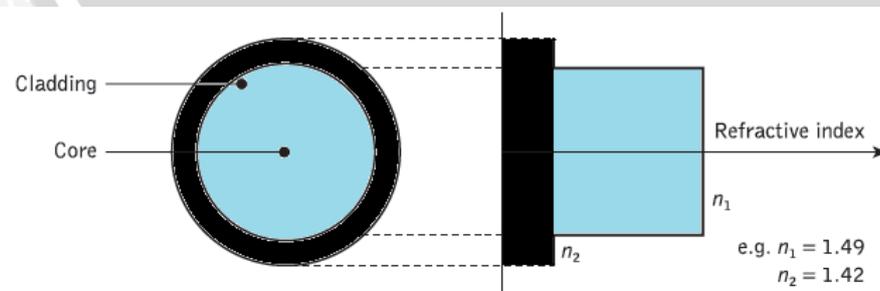
Pada sisi pengirim, fungsi *multiplexer* adalah *scanning buffer*, mengumpulkan data sampai frame penuh, kemudian mengirimkan *frame* tersebut. Hal ini mengakibatkan adanya tambahan *overhead*, karena diperlukan *field address* dan *length*. Informasi *address* ini dibutuhkan untuk memastikan bahwa data diantarkan kepada penerima yang tepat.



**Gambar 2.6** Prinsip Kerja *Asynchronous TDM*  
(Sumber : Pearson Prentice Hall, 2009)

## 2.2 POF

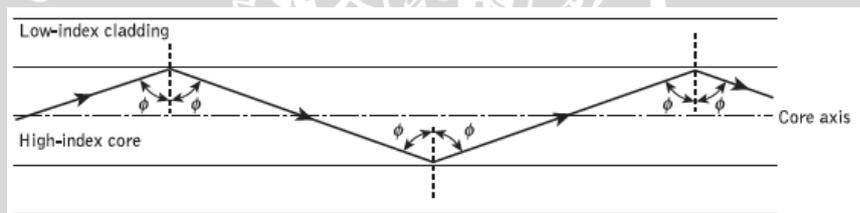
Serat optik merupakan sebuah kaca atau plastik yang panjang dan tipis serta berdiameter sangat kecil. Serat optik terdiri dari *core*, *cladding* dan *buffer coating*. POF tidak memiliki *buffer coating*. POF merupakan serat optik yang terbuat dari plastik polimer, dimana lapisan *core* terbuat dari *Polymethyl Methacrylate* (PMMA) sedangkan lapisan *cladding* dibuat dari *Perfluoropolimer*. Struktur bagian POF ditunjukkan oleh Gambar 2.7.



**Gambar 2.7** Struktur bagian POF  
(Sumber: John M. Senior, 2009)

- *Core* merupakan tempat cahaya dilewatkan. Bagian ini melewatkan informasi yang akan disampaikan dari pengirim ke penerima.
- *Cladding* merupakan bagian yang mengelilingi inti untuk memantulkan cahaya kembali ke dalam *core*. Terbuat dari bahan yang memiliki indeks bias lebih kecil dari *core* agar cahaya tetap berada pada inti serat optik.

Serat optik melewatkan cahaya melalui proses pemantulan sempurna (*total internal reflection*) yang diakibatkan indeks bias *core* ( $n_1$ ) lebih besar daripada indeks bias *cladding* ( $n_2$ ). Hal ini sesuai dengan hukum Snellius yang menyebutkan jika seberkas sinar masuk pada suatu ujung serat optik dengan sudut kritis (*critical angle*) dan sinar itu datang dari medium yang mempunyai indeks bias lebih kecil dari udara menuju inti serat optik yang mempunyai indeks bias lebih besar maka seluruh sinar akan merambat pada sepanjang inti serat menuju ujung lainnya. *Total internal reflection* ditunjukkan oleh Gambar 2.8.



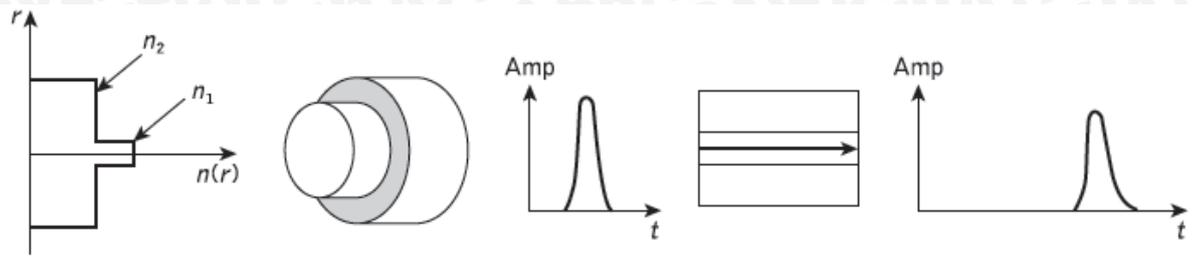
**Gambar 2.8** *Total Internal Reflection*

(Sumber: John M. Senior, 2009)

Secara umum, serat optik dibedakan menjadi 2 jenis yaitu:

1. *Single mode*

Serat optik *singlemode* memiliki *core* berdiameter 5-12 mikron dan *cladding* berdiameter 125 mikron. Hanya ada satu mode cahaya yang lewat di serat optik ini karena memiliki diameter yang kecil. Penggunaannya untuk transmisi jarak jauh dengan kecepatan tinggi dan memiliki *loss* yang lebih kecil daripada serat optik *multimode*. Skema merambatnya cahaya pada serat optik single mode dapat dilihat pada Gambar 2.9.



**Gambar 2.9** Skema Merambatnya Cahaya pada Serat Optik *Single Mode*

(Sumber: Jim Jachetta, 2007)

## 2. Multimode

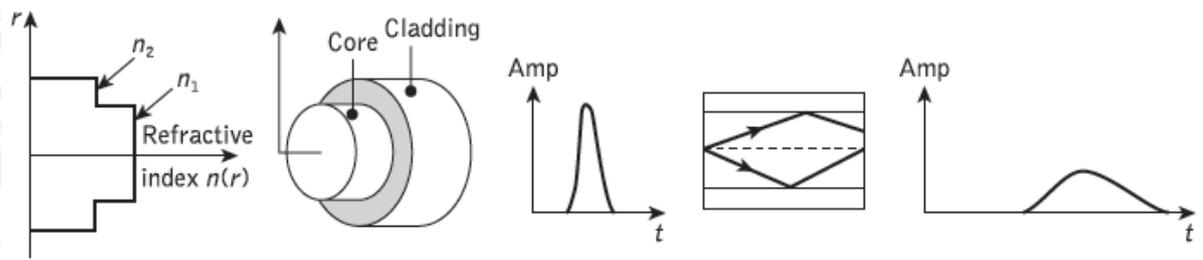
Pada serat optik *multi mode* banyak mode cahaya yang dirambatkan. Pada saat berkas cahaya masuk ke serat optik *multimode*, berkas cahaya didistribusikan hampir ke seluruh mode dimana setiap mode memiliki kecepatan yang berbeda, sehingga mode dengan kecepatan yang lebih tinggi akan sampai terlebih dahulu. Fenomena ini disebut *modal dispersion* dan mengakibatkan pulsa yang dikirim mengalami pelebaran. Serat optik jenis ini digunakan untuk transmisi jarak pendek dengan kecepatan rendah karena memiliki *loss* yang besar.

Serat optik *multimode* dibagi dua jenis berdasarkan mode perambatannya, yaitu:

### a. *Step index multimode*

Serat optik *step index multimode* memiliki *core* berukuran 100 - 970 mikron. Skema merambatnya cahaya pada serat optik jenis ini dapat dilihat pada Gambar 2.10. Indeks bias *core* pada serat optik ini bernilai sama di seluruh bagian *core*. Akibatnya adalah adanya selisih yang cukup besar antara indeks bias *core* dengan *cladding*. Perbedaan indeks bias ini disebut dengan beda indeks ( $\Delta$ ) dan secara sistematis dapat dihitung menggunakan persamaan 2-3 (John M. Senior, 2009).

$$\Delta \approx \frac{n_1 - n_2}{n_1} \quad (2-3)$$



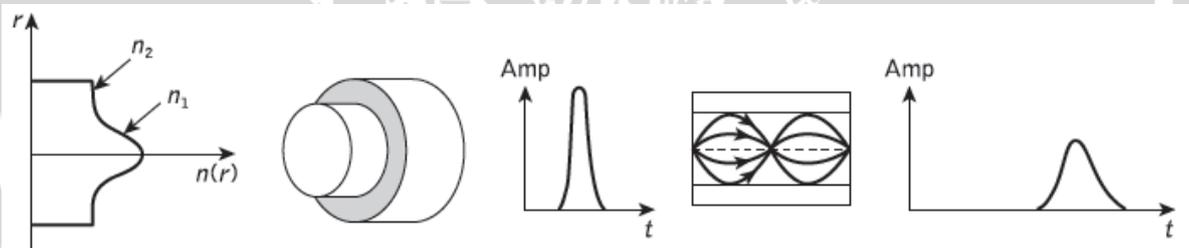
**Gambar 2.10** Skema Menjalarnya Cahaya pada Serat Optik *Step Index*

*Multimode*

(Sumber: Jim Jachetta, 2007)

b. *Graded index multimode*

Serat optik *graded index multimode* memiliki *core* berdiameter 50 atau 62,5 mikron, dan *cladding* berdiameter 125 mikron. Serat optik jenis ini memiliki *core* dengan indeks bias yang berangsur-angsur mengecil ketika jaraknya semakin jauh dengan sumbu inti *core* dan akan penjalaran cahayanya membentuk *mode* parabola. Skema penjalaran pada serat optik jenis ini dapat dilihat pada Gambar 2.11.



**Gambar 2.11** Skema Menjalarnya Cahaya pada Serat Optik *Graded Index*

*Multimode*

(Sumber: Jim Jachetta, 2007)

Sumber cahaya yang umum digunakan pada POF adalah LED maupun diode laser merah dengan panjang gelombang 650-670 nm dan LED atau diode laser inframerah dengan panjang gelombang 800 – 1500 nm.

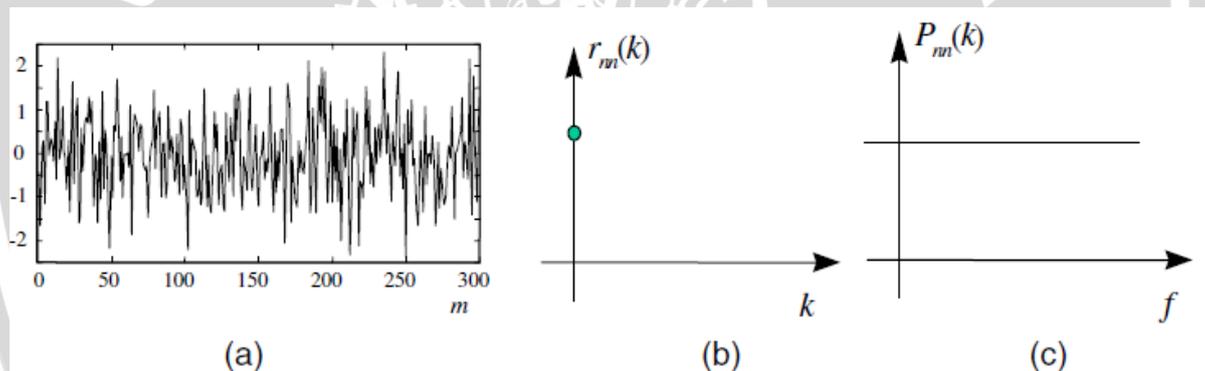
POF memiliki beberapa kelebihan, di antaranya adalah *bandwidth* yang sangat lebar, ukuran kecil, lebih ringan, bebas dari interferensi elektromagnetik, tidak mengalirkan arus sehingga tidak akan terjadi percikan api, tidak berkorosi, serta memiliki NA yang besar. POF juga lebih fleksibel dan tak mudah putus atau patah dibandingkan serat optik kaca.

POF memiliki diameter core sebesar 125 – 1880  $\mu\text{m}$  dan diameter cladding sebesar 1250 – 2000  $\mu\text{m}$ . Nilai NA pada POF berkisar antara 0,3 – 0,6. Secara teori POF mampu menyediakan *bit rate* sebesar 1 Gbps di atas 50 meter. *Bandwidth* POF dapat mencapai 10MHz/km. Pelemahan pada POF berkisar antara 50 – 1000 dB/km pada panjang gelombang 0,65  $\mu\text{m}$ .

### 2.3 Noise

*Noise* merupakan sinyal yang tidak diinginkan yang mengganggu komunikasi, pengukuran, maupun pemrosesan sinyal informasi. *Noise* dapat menyebabkan error pada transmisi dan mengganggu proses komunikasi.

Pada penelitian ini, jenis noise yang digunakan adalah *white noise*. *White noise* merupakan *noise acak* yang memiliki power spectrum yang datar. Secara teori, *white noise* berisi semua frekuensi dengan intensitas yang sama. Ilustrasi dari *white noise* dapat dilihat pada Gambar 2.12.



**Gambar 2.12** (a) Ilustrasi *White Noise*; (b) *Autocorrelation* dari *White Noise*; (c) *Power Spectrum* dari *White Noise*  
(Sumber: Saeed V. Vaseghi, 2000)

### 2.4 BER

Perhitungan kinerja pada sistem digital yang paling dasar adalah dengan menganalisis probabilitas bit yang *error*. Probabilitas tersebut diukur menggunakan alat BER *Tester* atau BERT. BER adalah perbandingan *bit error* ( $E_b$ ) terhadap total bit yang ditransmisikan ( $T_b$ ) dalam suatu periode waktu  $t$  detik. BER dapat dihitung dengan menggunakan persamaan 2-4 (Keiser, 2004).

$$\text{BER} = \frac{E_b}{T_b} \tag{2-4}$$

BER merupakan nilai kualitas sinyal yang diterima pada sistem transmisi data digital. BER menyatakan berapa jumlah *bit error* yang terjadi dalam satuan detik dengan rentang nilai BER 0-1.

Menurut *European FP7 Integrated Project*, kebutuhan BER untuk layanan internet saat ini adalah kurang dari  $10^{-8}$ , yang berarti hanya satu kesalahan yang terjadi dari  $10^8$  bit yang ditransmisikan. *Error rates* yang telah dispesifikasi dalam sistem komunikasi serat optik berkisar antara  $10^{-9}$  sampai dengan  $10^{-15}$ .

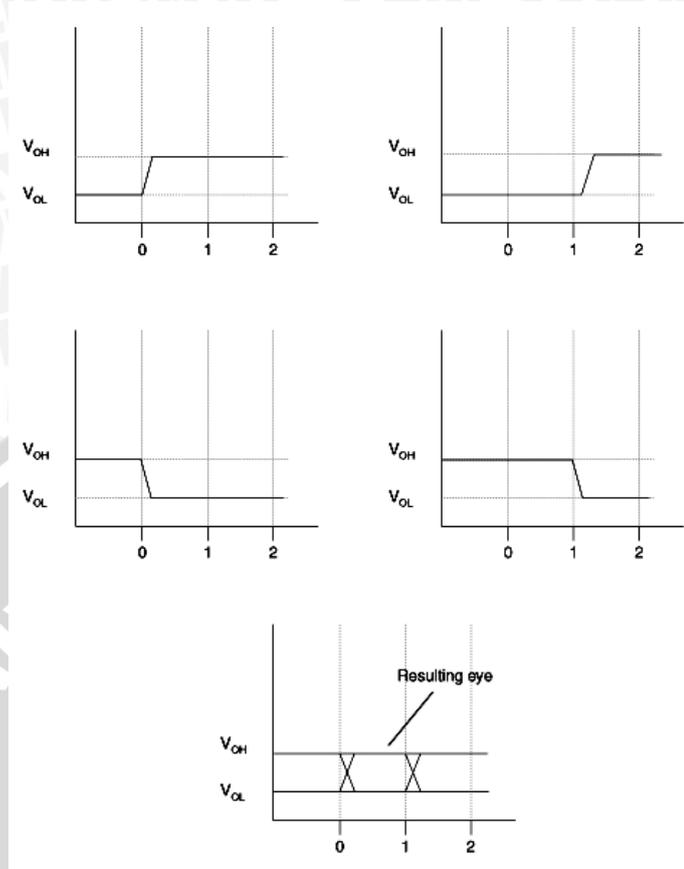
Untuk seluruh aplikasi *Recommendation* ITU-T G.691, ITU-T G.692, ITU-T G.693, ITU-T G.695, ITU-T G.698.1, ITU-T G.698.2 and ITU-T G.959.1, telah disebutkan bahwa sistem optik harus didesain dengan nilai BER tidak kurang dari  $10^{-12}$ . Sedangkan menurut *Recommendation* ITU-T G.957, syarat BER adalah  $10^{-10}$ .

## 2.5 Eye Pattern

*Eye pattern* adalah tampilan osiloskop dari sinyal digital yang mengalami proses *sampling* beberapa kali untuk mendapatkan tampilan dari karakteristik sinyal tersebut. Dari tampilan tersebut dapat diketahui kualitas dari sinyal optik. Menurut ITU-T *Recommendation*, indikasi dari kualitas sinyal ini dapat dikuantitasikan dengan mendefinisikan *eye mask* pada sinyal referensi yang ditransmisikan.

Pengukuran *eye pattern* menggunakan domain waktu dan ditampilkan dalam osiloskop. *Eye pattern* terbentuk dengan melakukan *superimpose* dari berbagai baris bit satu sama lain. Contohnya jika bit 011, 001, 100, dan 110 diproses dengan *superimpose* satu sama lain maka akan didapatkan bentuk *eye pattern* seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.13.

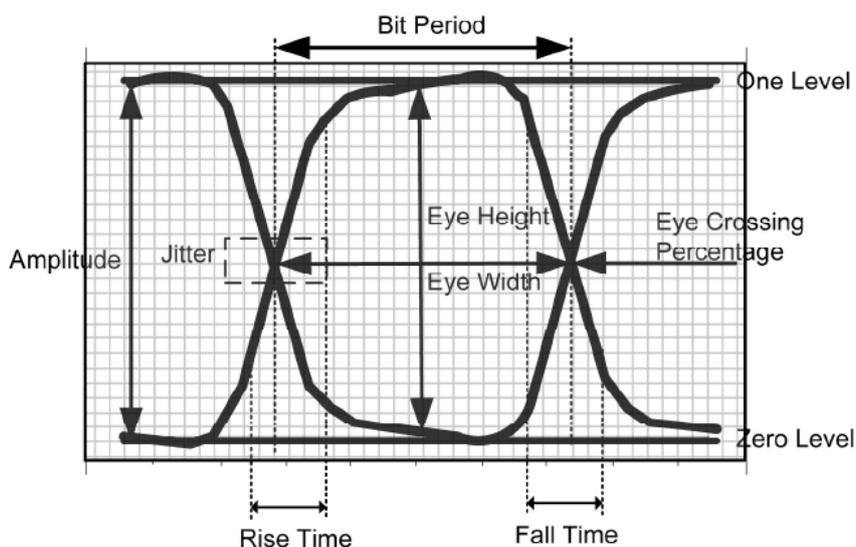
Karakteristik sinyal dari pemancar sistem optik yang terdiri dari *rise time*, *fall time*, *pulse overshoot*, *pulse undershoot*, dan *ringing* dispesifikasikan dalam bentuk *mask* dari *eye pattern* pemancar.



**Gambar 2.13.** Pembentukan *Eye Pattern*

(Sumber: Behera *et al*, 2011)

Pada Gambar 2.14 ditunjukkan bentuk *eye pattern* yang telah disederhanakan untuk analisis parameter kinerja. Ada beberapa hal yang perlu dalam analisis kinerja dengan menggunakan *eye pattern*, salah satunya adalah *vertical eye opening*. *Vertical eye opening* merupakan parameter yang menunjukkan besar perbedaan level sinyal bit satu dan bit nol. Semakin lebar *vertical eye opening* maka semakin besar pula perbedaan level sinyal, sehingga memudahkan penerima untuk membedakan bit satu dan nol. Dengan menganalisis *vertical eye opening*, dapat diketahui besarnya pengaruh *noise* terhadap sinyal. *Signal to noise ratio* (SNR) dan *noise margin* dapat diketahui nilainya dengan menganalisis *vertical eye opening*.

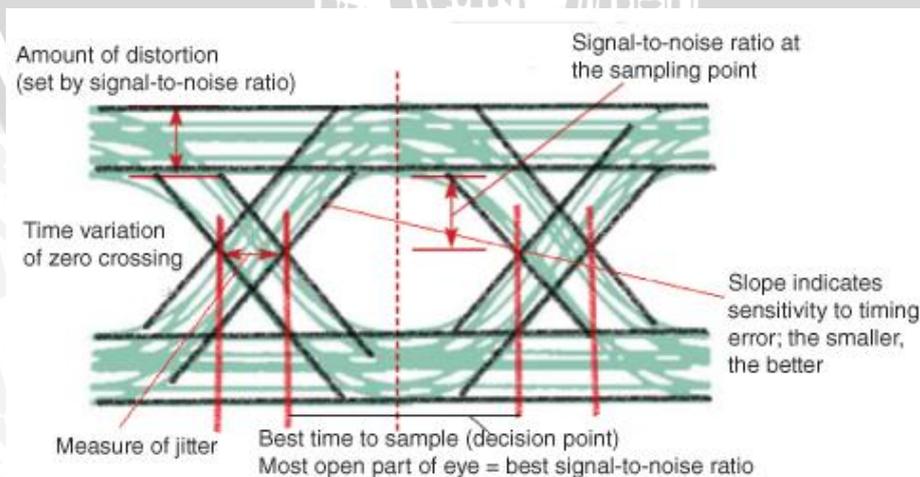


**Gambar 2.14** Eye Pattern yang Disederhanakan untuk Menunjukkan Parameter Kinerja

(Sumber: <http://onsemi.com>, 2012)

Parameter lain yang dapat dianalisis adalah *horizontal eye opening*. *Horizontal eye opening* memiliki keterkaitan dengan nilai *jitter* yang terjadi pada sinyal. Semakin lebar *horizontal eye opening*, maka semakin kecil nilai *jitter* yang terjadi pada sinyal.

Pada Gambar 2.15, secara spesifik ditunjukkan informasi yang didapatkan dari *eye pattern* seperti waktu terbaik untuk melakukan *sampling* yaitu ketika *eye opening* terbesar, *Signal to Noise Ration* (SNR), dan besar *jitter* serta distorsi.



**Gambar 2.15** Informasi yang Terdapat pada Eye Pattern

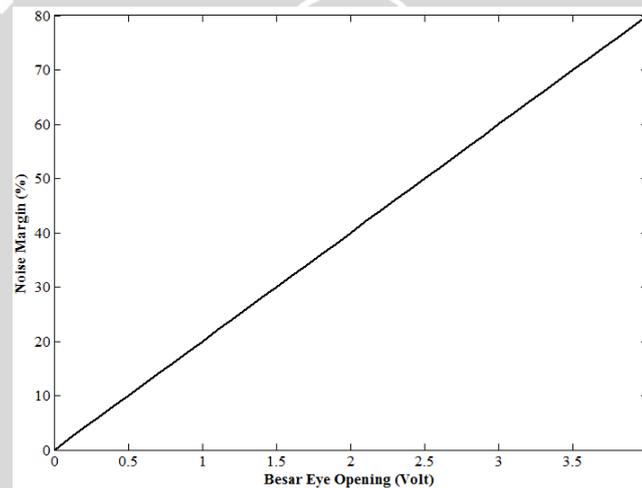
(Sumber: Behera *et al*, 2011)

## 1. Noise margin

*Noise margin* merupakan parameter yang menunjukkan tingkat kekebalan sinyal informasi terhadap *noise*. *Noise margin* adalah rasio persentasi dari puncak sinyal  $V_1$  yang dilihat dari besar *eye opening* terhadap tegangan maksimum sinyal  $V_2$ . Besar amplitudo noise margin merupakan ukuran besarnya distorsi yang dikarenakan adanya *Inter Symbol Interference* (ISI). Secara matematis ditulis dalam persamaan 2-5 (Keiser, 2004).

$$\text{Noise margin (\%)} = \frac{V_1}{V_2} \times 100\% \quad (2-5)$$

Nilai *noise margin* naik secara linier terhadap besarnya *eye opening*, hal ini ditunjukkan oleh Gambar 2.16.



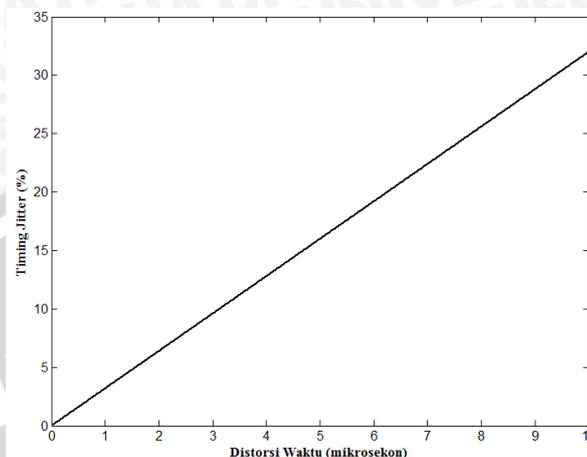
**Gambar 2.16** Grafik Hubungan *Eye Opening* terhadap *Noise Margin*

## 2. Timing jitter

*Timing jitter* merupakan pergeseran waktu dari transmisi ideal pada data bit yang diterima oleh *receiver*. *Timing jitter* dapat diukur dari tampilan *eye pattern* pada bagian *zero crossing point*. Semakin besar perbedaan *zero crossing point* mengindikasikan semakin besar keterlambatan sinyal dan ditampilkan di *eye opening* yang kecil. *Timing jitter* terjadi karena pengaruh *noise* dan dispersi pulsa pada serat optik. *Timing jitter* dihitung dari jumlah distorsi ( $\Delta T$ ) dan *bit interval* ( $T_b$ ) dengan persamaan 2-6 (Keiser, 2004).

$$\text{Timing jitter (\%)} = \frac{\Delta T}{T_b} \times 100\% \quad (2-6)$$

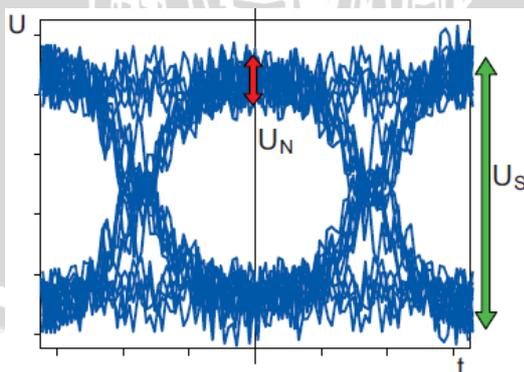
Nilai *timing jitter* naik secara linier terhadap kenaikan nilai distorsi waktu, hal ini ditunjukkan oleh Gambar 2.17.



**Gambar 2.17** Hubungan Distorsi Waktu terhadap *Timing Jitter*

### 3. *Signal to noise ratio* (SNR)

*Signal to noise ratio* (SNR) merupakan parameter yang diukur dengan membandingkan daya sinyal terhadap daya *noise*. Semakin besar nilai SNR maka semakin baik kualitas dari sinyal tersebut. SNR pada eye pattern dihitung dengan cara menentukan nilai  $U_s$  dan  $U_n$ . Nilai  $U_s$  merupakan selisih  $V_1$  dan  $V_2$ , sedangkan nilai  $U_n$  merupakan besarnya *eye amplitude*. Penentuan SNR dapat dilihat pada Gambar.2.18. Perhitungan SNR menggunakan Persamaan (2-7).



**Gambar 2.18** *Eye Pattern* untuk Menentukan SNR

$$\text{SNR (dB)} = 20 \log \frac{U_s}{U_n} \quad (2-7)$$