

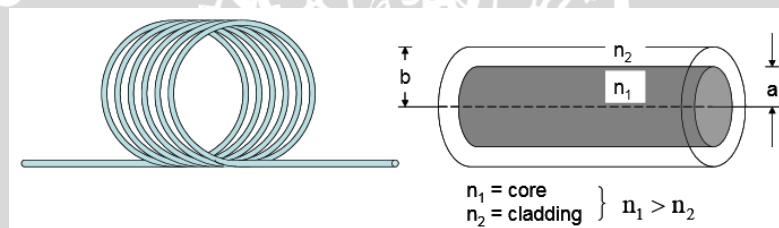
## BAB II

### DASAR TEORI

#### 2.1 Plastic Optical Fiber (POF)

*Plastic Optical Fiber* ini merupakan media pentransmisi data yang dapat menyalurkan informasi dengan *bandwidth* yang besar dan keandalan yang tinggi. Informasi yang dikirimkan berbentuk sinyal cahaya. POF terbuat dari plastik yang sangat kecil dengan diameter sebesar 1 mm. Keunggulan dari POF ini antara lain *bandwidth* yang lebar, ukuran yang kecil, bebas dari *Electro Magnet Interference* (EMI) sehingga dapat diletakkan berdekatan dengan kabel yang lainnya, bobot yang ringan, tidak berkorosi, memiliki nilai *Numerical Aperture* (NA) besar yang berpengaruh pada kemampuan untuk mengumpulkan energi cahaya yang tinggi.

Struktur bagian dari POF sama dengan struktur dari serat optik kaca, yang terdiri dari inti (*core*), dan selimut (*cladding*) yang ditunjukkan pada Gambar 2.1



Gambar 2.1. Struktur *Plastic Optik Fiber* (Ayi Bahtiar, 2008)

- Inti (*core*), tempat untuk melewati cahaya yang berisi informasi. *Core* mempunyai diameter yang bervariasi antara 250-1000  $\mu\text{m}$  tergantung jenis dari serat optik.
- Lapisan selimut (*cladding*), bagian ini mengelilingi *core* dan mempunyai indeks bias yang lebih kecil dari *core*. *Cladding* memiliki ketebalan 5-50  $\mu\text{m}$ .

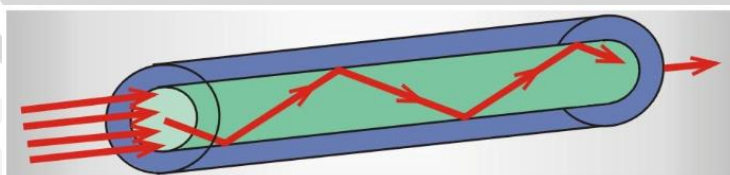
POF ini berbahan dasar *plastic polimer*, dimana lapisan inti (*core*) dapat dibuat dari *Poly MethylMethacrylate* (PMMA), *Polystyrene* (PS), *Polycarbonate* (PC), *amorphous fluorinated polymer* (CYTOP), *Hard core silica* (HCS), dan *Plastic clad silica* (HCS) dan lapisan selubung (*cladding*) dibuat dari *perfluorinated polymers*. Pada Tabel 2.1 dapat terlihat perbandingan dari jenis *core* POF.

**Tabel 2.1** Perbandingan Berbagai Parameter *Core* pada POF (Joseba Zubia, 2000)

<i>Material</i>	<i>Attenuation (dB/km)</i>	<i>Bandwidth (GHz*km)</i>	<i>Application</i>	<i>Core/cladding refractive indices</i>	<i>NA</i>	<i>Core diameter (<math>\mu\text{m}</math>)</i>
PMMA	55 (538 nm)	0.003	LANs, industrial communications and sensing	1.492/1.417	0.47	250-1000
PS	330 (570 nm)	0.0015	High T industrial short haul communications and sensing	1.592/1.416	0.73	500-1000
PC	600 (670 nm)	0.0015	High T communications and sensing	1.582/1.305	0.78	500-1000
CYTOP	16 (1310 nm)	0.59 (GIPOF)	LANs	1.353/1.34		125-500
PCS HCS	5-6 (820 nm)	0.005	Communications, medical, industrial and sensing	1.46/1.41	0.4	110-1000

## 2.2 Penjalaran Cahaya pada Serat Optik

Cara kerja dari serat optik sesuai dengan hukum Snellius yang menyebutkan jika seberkas sinar masuk pada suatu ujung serat optik (media yang transparan) dengan sudut kritis dan sinar itu datang dari medium yang mempunyai indeks bias lebih kecil dari udara menuju inti serat optik (*kuartz* murni) yang mempunyai indeks bias yang lebih besar maka seluruh sinar akan merambat sepanjang inti (*core*) serat optik menuju ujung yang satu. Pada Gambar 2.2 memperlihatkan proses penjalaran cahaya.

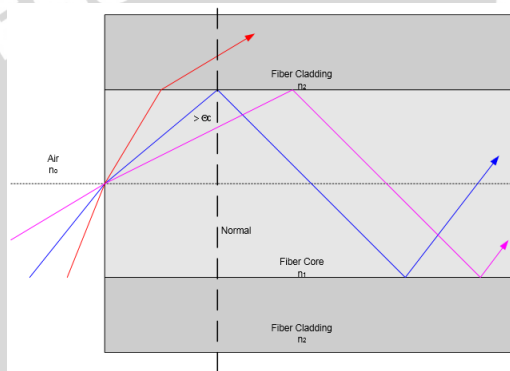


Gambar 2.2 Penjalaran Cahaya pada Serat Optik

(Sumber: Technical University of Lodz)

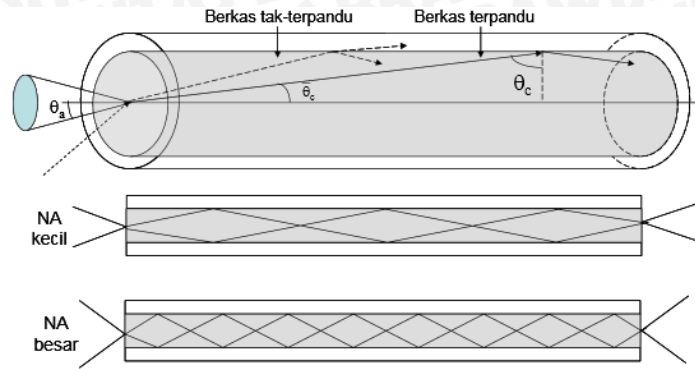


Proses cahaya yang merambat melalui *core* dengan terus-menerus memantul dari *cladding* akibat terjadi perbedaan indeks bias dimana indeks bias *core* ( $n_1$ ) lebih dari indeks bias *cladding* ( $n_2$ ) yang dikenal dengan *total internal reflection*. *Total internal reflection* yaitu ketika dua material yang mempunyai dua indeks bias yang berbeda dimana  $n_1 > n_2$  maka *total internal reflection* akan terjadi apabila sudut datang ( $\theta_1$ ) pada material dengan indeks  $n_1$  lebih besar dibanding sudut kritis ( $\theta_c$ ). *Total internal reflection* ditunjukkan pada Gambar 2.3 dimana garis yang berwarna ungu menunjukkan bahwa cahaya dapat memantulkan dengan baik, sedangkan untuk garis yang berwarna merah menunjukkan bahwa cahaya tidak terpantul dengan baik karena terdapat cahaya yang membias keluar dari *core*.



Gambar 2.3 *Total Internal Reflection*  
(Sumber: Sarkis Abrahamian, 2006)

Perlu adanya suatu pengukuran sudut agar cahaya dapat dipantulkan dengan sempurna. NA merupakan ukuran atau besarnya sinus sudut pancaran maksimum dari sumber optik yang merambat pada inti serat optik yang cahayanya masih dapat dipantulkan secara baik, dimana nilai NA ini juga dipengaruhi oleh indeks bias. Sudut penerimaan ini dapat beraneka macam tergantung kepada karakteristik indeksnya. Jika sudut cahaya datang lebih besar dari NA maka berkas cahaya akan menembus *cladding*, sebaliknya jika sudut cahaya datang lebih kecil dari NA maka berkas cahaya akan terpantul secara sempurna. Ilustrasi penentuan sudut NA dapat dilihat pada Gambar 2.4 berikut



Gambar 2.4 Penentuan Sudut NA

(Sumber: Ayi Bahtiar, 2008)

Semakin besar NA maka semakin banyak jumlah cahaya yang diterima oleh serat optik, akan tetapi membuat lebar pita berkurang dan rugi penyebaran serta penyerapan akan bertambah. Gambar 2.4 juga memperlihatkan bahwa untuk nilai NA yang besar kecepatan perambatan cahaya akan semakin rendah. Oleh karena itu hanya baik untuk aplikasi jarak dekat. Untuk perhitungan besarnya nilai NA dapat menggunakan Persamaan (2-1) berikut:

$$NA = \sin\theta_{maks} = \sqrt{(n_1^2 - n_2^2)} \tag{2-1}$$

Keterangan:

$n_1$  = Indeks bias inti (*core*)

$n_2$  = Indeks bias selubung (*cladding*)

### 2.3 Jenis-Jenis Serat Optik

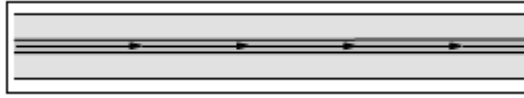
Jenis-jenis serat optik dapat dibedakan menjadi 2 macam, yaitu:

1. Berdasarkan indeks bias bahan
  - Serat optik *step index*
  - Serat optik *graded index*
2. Berdasarkan jumlah mode yang merambat dalam serat optik
  - Serat optik *single mode*
  - Serat optik *multi mode*

#### 2.3.1 Serat Optik *Single Mode*

Serat optik ini memiliki diameter *core* yang sangat kecil antara 8-10 *micron* sehingga cahaya hanya dapat merambat dalam satu *mode* saja. *Mode* merupakan

banyaknya berkas cahaya yang dipancarkan oleh sumber optik berdasarkan panjang gelombang yang berbeda pada masing-masing berkas. Sistem penjalaran cahaya *single mode* dapat dilihat pada Gambar 2.5



Gambar 2.5 Serat Optik *Single mode*

(Sumber: Dutton, 1998)

Serat optik *single mode* digunakan untuk transmisi jarak jauh dikarenakan *loss* yang lebih kecil dan *bandwidth* yang lebih besar. Serat optik ini juga memiliki tingkat akurasi yang tinggi dalam mentransmisikan pulsa pada penerimanya.

### 2.3.2 Serat Optik *Multi Mode*

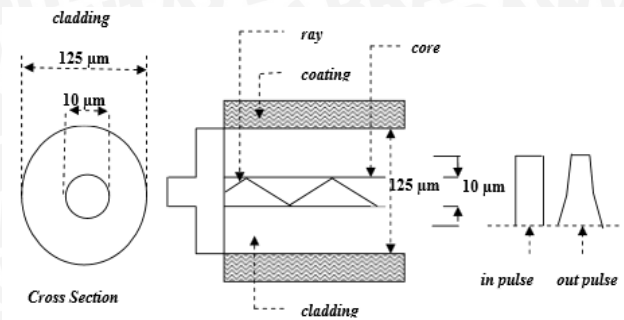
Serat optik *multi mode* merupakan jenis serat yang mempunyai jumlah *mode* lebih dari satu yang merambat pada panjang gelombang tertentu. Pada umumnya, serat optik *multi mode* dengan jumlah *mode* dari dua hingga ratusan *mode* digunakan untuk aplikasi komersial. Serat optik ini memiliki diameter inti yang lebih besar dari serat optik *single mode* yang membuat proses penyambungan (*splicing*) lebih mudah untuk dilakukan. Selain itu, dengan nilai NA yang besar, maka serat optik *multi mode* ini bisa menggunakan sumber cahaya yang berasal dari *Light Emitting Diode* (LED) yang jauh lebih murah dari *Laser Diode* (LD).

### 2.3.3 Serat Optik *Single Mode Step Index*

Pada serat optik *single mode step index* memiliki *core* yang sangat kecil sehingga tidak bisa terjadi proses *dispersi mode* dikarenakan *mode* yang dilewatkan melalui serat optik ini sangat sedikit. Cahaya yang merambat dalam satu *mode* membuat *bit rate* pada serat optik menjadi lebih tinggi dari serat optik tipe lainnya.

Serat optik ini memiliki indeks bias yang *homogen* baik di tengah *core* sampai batas *core* dan *cladding* sehingga disebut *step index*. Pada Gambar 2.6 memperlihatkan bahwa sinyal yang diterima kemungkinan untuk terjadi *overlap* sangat kecil, sehingga tidak perlu mengalokasikan waktu kosong (*time gap*) antar pulsa yang berurutan (Made Yudistira, 2003)



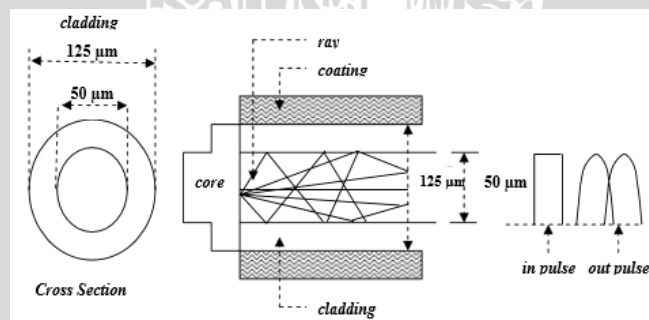


Gambar 2.6 Sistem Penjalaran Cahaya pada *Single Mode Step Index*  
(Sumber: Made Yudistira. 2003)

Akibat dari *core* yang sangat kecil, perlu ada suatu teknik penyambungan yang khusus. Sumber cahaya yang digunakan pada serat optik ini harus memiliki nilai NA yang kecil dan pancaran sinar yang terang. Sumber cahaya tersebut bisa berasal dari *Laser Diode (LD)* atau *Injection Laser Diode (ILD)*.

### 2.3.4 Serat Optik *Multi mode Step Index*

Struktur dari serat optik ini memiliki diameter *core* dan *cladding* yang lebih besar dari serat optik *single mode*. Serat optik ini disebut *step index* karena indeks bias yang ada antara *cladding* dan *core homogen* di seluruh bagian intinya. Dapat dilihat pada Gambar 2.7 terlihat bahwa terjadi pantulan sempurna dan sebagian lagi dibiaskan keluar serat akibat sudut cahaya datang lebih kecil dari sudut kritisnya.



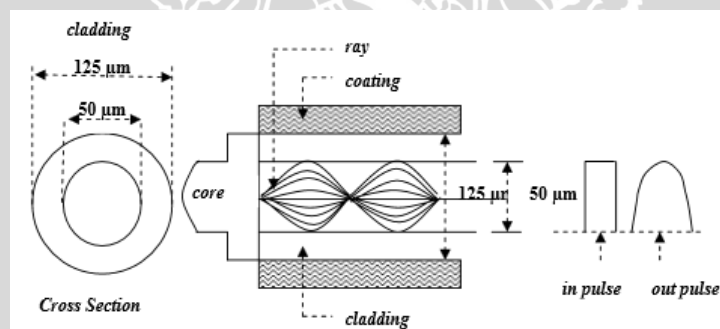
Gambar 2.7 Sistem Penjalaran Cahaya pada *Multi Mode Step Index*  
(Sumber: Made Yudistira. 2003)

Dengan *core* yang lebih besar membuat cahaya yang dipancarkan akan mengalami banyak pantulan sehingga energi cahaya yang dipancarkan sebagian akan berkurang atau bahkan hilang. Pada Gambar 2.7 memperlihatkan respon jika diberikan *input* sebuah pulsa kotak, maka *output*-nya tidak sama dengan *input*-nya.

Perbedaan tersebut terjadi karena dalam proses pentransmisi data, berkas cahaya yang dipancarkan melalui jalur dan kecepatan yang berbeda-beda. Hal ini akan menyebabkan panjang lintasan tiap berkas cahaya akan berbeda pula dan pulsa yang diterima akan mengalami pelebaran. Ketidaksamaan waktu penerimaan akibat waktu tempuh berkas cahaya yang berbeda disebut *dispertion mode* (Made Yudistira. 2003). Serat optik jenis ini biasanya digunakan untuk transmisi jarak pendek dengan kecepatan yang rendah, karena memiliki nilai *loss* yang besar.

### 2.3.5 Serat Optik *Multi Mode Graded Index*

Serat optik ini disebut *graded index* karena memiliki perubahan nilai indeks bias yang bertingkat pada *core*-nya. Nilai indeks bias semakin besar bila mendekati sumbu *core*-nya dan semakin kecil nilainya bila menjauhi sumbu *core*. Penjalaran berkas cahaya pada serat optik ini berbentuk *mode* parabola. Skema penjalaran berkas cahaya pada serat optik *multi mode graded index* ditunjukkan pada Gambar 2.8.



Gambar 2.8 Sistem Penjalaran Cahaya pada *Multi Mode Graded Index*  
(Sumber: Made Yudistira. 2003)

Dengan perubahan indeks bias pada *core* membuat kecepatan cahaya akan lebih kecil saat melewati suatu bahan dengan indeks bias yang tinggi. Hal ini bertujuan untuk membuat waktu lintasan berkas cahaya yang melewati serat optik mendekati sama, walaupun jalan yang ditempuh berbeda-beda. Sehingga pelebaran pulsa yang terjadi pada serat optik *multi mode step index* yang semula lebar menjadi sangat kecil seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.8.

Kekurangan dari serat optik ini antara lain harganya yang lebih mahal dikarenakan proses pembuatan *core* yang lebih sulit. Sifat-sifat yang lain dari serat

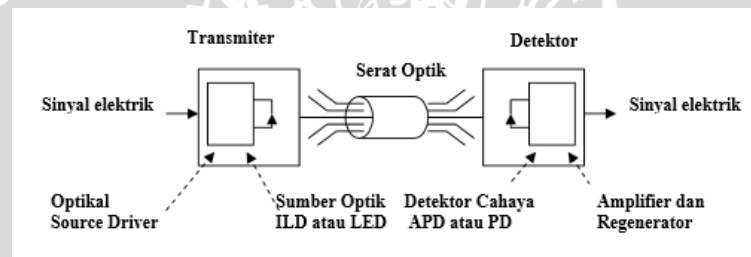


optik ini adalah cahaya merambat karena difraksi yang terjadi pada *core* sehingga rambatan cahaya sejajar dengan sumbu serat. (Made Yudhistira, 2003).

## 2.4 Komponen Komunikasi Serat Optik

Prinsip dari sistem komunikasi serat optik adalah pengiriman sinyal informasi dalam bentuk sinyal cahaya. Pada Gambar 2.9 menunjukkan bahwa komponen dasar yang membentuk komunikasi menggunakan media serat optik ada 3 bagian, yaitu:

1. Sistem pemancar optik (*transmitter*), berfungsi mengubah sinyal elektrik menjadi sinyal cahaya agar dapat dilewatkan melalui media serat optik.
2. Sistem transmisi serat optik, berfungsi sebagai media transmisi sinyal optik dari *transmitter* sampai ke *receiver*.
3. Sistem penerima optik (*receiver*), berfungsi mengubah sinyal optik yang diterima menjadi sinyal elektrik kembali.



Gambar 2.9 Komponen Dasar Komunikasi Serat Optik

(Sumber: Made Yudistira, 2003)

Pada Gambar 2.9 menjelaskan bahwa sinyal informasi yang berupa sinyal elektrik masuk ke dalam *transmitter* dimana pada *transmitter* terdiri atas 2 bagian, yaitu

1. Rangkaian elektrik, berfungsi mengkonversi informasi yang akan ditumpangkan diubah ke sinyal elektrik kemudian diubah lagi ke sinyal cahaya.
2. Sumber gelombang sinyal optik berupa ILD atau LED yang pemakaiannya disesuaikan dengan sistem yang akan digunakan.

Sinyal dari *transmitter* dilewatkan pada serat optik *single mode* ataupun *multi mode*. Selama pentransmisi akan mengalami dispersi dan penurunan level sinyal. Pada penerima optik cahaya masuk ke detektor dimana pada detektor terdiri dari



dua bagian, yaitu detektor penerima itu sendiri dan rangkaian elektrik (M. Syamsul Hadi, 2002).

1. Detektor atau penerima cahaya, bisa berupa *Avalanche Photo Diode* (APD) dan *Positiv Intrinsic Negativ Diode* (PIN Diode), yang mempunyai fungsi untuk menangkap sinyal optik.
2. Rangkaian elektrik berfungsi untuk mengkonversi sinyal optik ke sinyal elektrik kembali.

### 2.4.1 Sumber Optik

Dalam sistem transmisi serat optik, terdapat 2 (dua) tipe sumber optik yang sering digunakan untuk membawa informasi melalui serat optik, yaitu *Light Emitting Diode* (LED) dan *Laser Diode* (LD). Masing-masing dari sumber optik memiliki parameter dan karakteristik yang menjadi bahan pertimbangan dalam pemilihan yang akan digunakan. Beberapa hal yang perlu dipertimbangkan dalam pemilihan sumber pengiriman optik adalah (Robert J. Hoss, 1990):

- Proses penguatan sinyal dari sinyal elektrik ke sinyal optik agar daya yang dikeluarkan optimal.
- Umpan balik sebagai pengontrol kinerja seiring dengan perubahan terhadap panas dan waktu.
- Kestabilan kinerja dan lamanya siklus hidup perangkat/sumber pengirim.
- *Loss* kopling, yaitu rugi-rugi daya yang ditimbulkan saat pertama kali sinyal optik ditransmisikan ke dalam serat optik.

Pada umumnya, sumber cahaya yang 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.

#### 2.4.1.1 *Light Emitting Diode* (LED)

Kelebihan utama dari LED adalah harga yang tergolong murah. Namun demikian, LED memiliki *bandwidth* yang terbatas, efisiensi yang sangat rendah dan daya yang dipancarkan sangat rendah. Hal ini yang menjadikan LED lebih cocok untuk *bit rate* rendah (<100 Mbit/s) pada komunikasi dengan jarak yang sedang

(kurang dari 10 km). LED digunakan untuk serat optik *multi mode*, karena memiliki *spectrum* cahaya yang lebar.

#### 2.4.1.2 Laser Diode (LD)

LD merupakan *diode* semikonduktor yang memancarkan cahaya karena mekanisme emisi terstimulasi. LD mempunyai efisiensi yang jauh lebih baik daripada LED dan menghasilkan daya optik yang jauh lebih tinggi ( $> 1$  Watt). Cahaya yang dipancarkan oleh LD bersifat *koheren* dan memiliki lebar spektrum yang lebih sempit (s/d 1 nm) sehingga cocok untuk digunakan pada komunikasi jarak jauh (hingga 100 km) dengan menggunakan serat optik *single mode*. Pada Tabel 2.2 dibandingkan beberapa karakteristik dari LED dan LD

**Tabel 2.2** Perbandingan Karakteristik LED dan LD (PT. Telkom Indonesia, Tbk, 2004)

Karakteristik	LED	Laser Diode (LD)
Spektrum keluaran	Tidak koheren	Koheren
Daya Optik Keluaran	Lebih rendah (0.4 – 4.0 mW)	Lebih tinggi (1.5 – 8 mW)
Kestabilan operasi terhadap temperatur	Lebih stabil	Kurang stabil
Penguatan cahaya	Tidak ada	Ada
Arah pancaran cahaya	Kurang terarah	Sangat terarah
Arus pacu	Kecil	Besar
Bandwidth modulasi	0.08-0.3 GHz	2-3 GHz
Rongga resonansi optik	Tidak ada	Ada
Kemudahan penggunaan	Lebih mudah	Lebih sulit
Harga	Lebih murah	Lebih mahal
NA	Lebih tinggi	Lebih rendah
Kecepatan ( <i>rise time</i> )	Lebih lambat (2-10 ns)	Lebih cepat (0.3-0.7 ns)
Daya ke serat	0.03-0.15 mW	0.4-3 mW
Disipasi panas	Kecil	Besar

#### 2.4.2 Detektor Optik

Detektor optik mempunyai fungsi sebagai bagian dari penerima dalam sistem komunikasi optik. Detektor optik dapat menghasilkan gelombang sesuai aslinya dengan meminimalisasi *losses* yang timbul selama perambatan sehingga dapat juga



menghasilkan sinyal elektrik yang maksimum dengan daya optik yang kecil. Terdapat 2 (dua) tipe detektor optik yaitu *Positive Intrinsic Negative* (PIN) dan *Avalanche Photodiode* (APD).

Dalam pemilihan perangkat penerima, sangat menentukan dalam suatu analisis sensitivitas dari besarnya daya optik minimum yang didapat dideteksi oleh detektor. Beberapa hal yang menjadi pertimbangan antara lain (Robert J. Hoss, 1990):

- Pemilihan panjang gelombang optik yang beroperasi. Sifat redaman serat optik sebagai fungsi dari panjang gelombang dan jarak akan menentukan berapa daya yang diterima detektor.
- *Range*/jangkauan penerimaan daya optik. *Range* yang lebih lebar akan membuat fleksibilitas yang tinggi dalam penerapan di lapangan.
- Penguatan daya optik sesaat setelah cahaya optik dideteksi. Daya sinyal optik yang sampai diujung penerima, biasanya tidak terlalu besar karena berkurang sepanjang transmisinya dalam serat optik, sehingga perlu dikuatkan terlebih dahulu sehingga pemrosesan penterjemahan informasi dapat dilakukan dengan sempurna
- *Loss* kopling yaitu rugi-rugi daya sesaat setelah sinyal keluaran dari serat optik dan masuk ke detector penerima

Detektor penerima APD lebih sensitif pada *bit rate* yang tinggi sehingga untuk komunikasi jarak jauh digunakan detektor APD. Detektor APD mempunyai sensitivitas dan respons yang tinggi terhadap LD sebagai pembawa gelombang optik informasi. Sedangkan untuk jarak pendek lebih efisien jika menggunakan PIN, karena PIN baik digunakan untuk *bit rate* yang rendah dan sensitivitasnya tinggi untuk LED.

## 2.5 Rugi-Rugi Material pada Serat Optik

Pada kinerja sistem komunikasi serat optik dipengaruhi oleh besaran rugi-rugi yang terjadi. Rugi-rugi tersebut dapat mengurangi besaran daya yang diterima. Pada Persamaan (2-2) menunjukkan cara perhitungan untuk rugi-rugi daya yang terjadi pada sistem.

$$L = 10 \log \frac{P_i}{P_o} = 10 \log \frac{V_i^2}{V_o^2} = 20 \log \frac{V_i}{V_o} \quad (2-2)$$

Keterangan:

$L$  = rugi-rugi (dB)

$P_i$  = daya masukan (Watt)

$P_o$  = daya keluaran (Watt)

$V_i$  = tegangan masukan (Volt)

$V_o$  = tegangan keluaran (Volt)

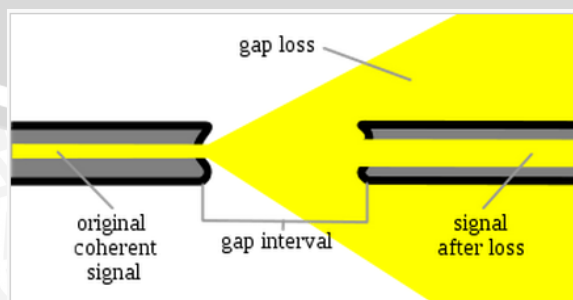
Terdapat dua rugi-rugi yang mempengaruhi kinerja serat optik, yaitu rugi-rugi yang berasal dari dalam (*internal*) dan dari luar (*eksternal*) serat optik. Faktor *internal* biasanya berhubungan dengan kualitas dari bahan tersebut, dimana ketransparanan suatu material di atas suatu daerah spectrum yang ditetapkan. Hal ini terjadi apabila material tersebut dalam kedudukan yang sempurna terdapat adanya perbedaan kerapatan, ketidakmurnian, ketakserbasamaan, dan sebagainya (Gerd Keiser, 2000). Sedangkan faktor *eksternal* berhubungan dengan lingkungan dan kesalahan dari manusia.

Faktor *eksternal* akibat dari kesalahan manusia biasanya berkaitan dengan proses penyambungan (*splicing*), gap serat optik pada konektor, pelengkungan (*macrobeding* dan *microbending*), *coupling*, refleksi *Fresnel*, dan dispersi. Untuk faktor *eksternal* yang berhubungan dengan lingkungan meliputi suhu, angin, air, dan iklim. Pada penelitian ini menekankan pada pengaruh dari variasi temperatur dan *free space* yang terjadi akibat gap pada serat optik.

### 2.5.1 Pengaruh Rugi-Rugi Gap Serat Optik

Rugi-rugi gap terjadi ketika terdapat *free space* dari satu bagian serat optik ke serat optik lainnya yang menyebabkan rugi-rugi pada sistem transmisi serat optik.

Pada Gambar 2.10 memperlihatkan proses gap pada serat optik.

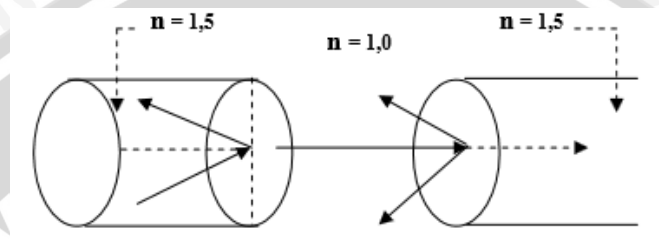


Gambar 2.10 Gap pada Serat Optik

(Sumber: Elaragirl, 2007)



Gap yang dihasilkan akan mempengaruhi kinerja dari serat optik yang memanfaatkan hukum Snellius untuk penjalaran cahayanya, karena terjadi perubahan indeks bias pada media serat optik terhadap udara. Perubahan ini akan mengakibatkan sudut datang ( $\theta_1'$ ) dan sudut kritis ( $\theta_c'$ ) yang baru sehingga penjalaran cahaya akan berubah dan daya pun akan berkurang. Gambar 2.11 mengilustrasikan perubahan dari indeks bias yang mengakibatkan berubahnya penjalaran cahaya.



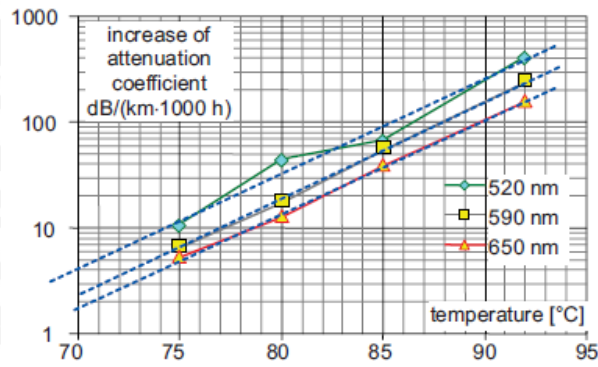
Gambar 2.11 Perubahan Indeks Bias Akibat Gap pada Serat Optik

(Sumber: Made Yudistira, 2003)

### 2.5.2 Pengaruh Temperatur

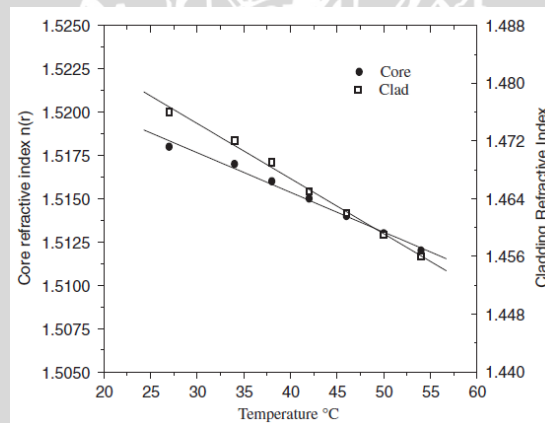
Pengaruh temperatur sangat berhubungan dengan faktor kelembaban yang dapat meningkatkan redaman pada serat optik secara signifikan. Temperatur yang sangat tinggi dapat memberikan pengaruh tekanan hingga terjadi *Microbending* di *Core Cladding Interference* (CCI). Hal ini dapat meningkatkan redaman dan mempengaruhi kinerja dari serat optik.

POF dengan bahan *core* dari PMMA yang ditempatkan pada suatu ruangan dengan kelembaban 50% dapat menyerap air sebanyak 1.5%, dimana dapat mempengaruhi karakteristik efek redaman. Pada sistem transmisi data, temperatur maksimum yang diperbolehkan adalah 85°C karena jika sudah melebihi temperatur maksimum maka performansi serat optik akan turun secara perlahan (Ziemann, 2007). Hubungan pengaruh temperatur terhadap peningkatan koefisien redaman dengan beberapa panjang gelombang dapat dilihat pada Gambar 2.12.



Gambar 2.12 Hubungan Temperatur Dengan Redaman  
(Sumber: Ziemann, 2007)

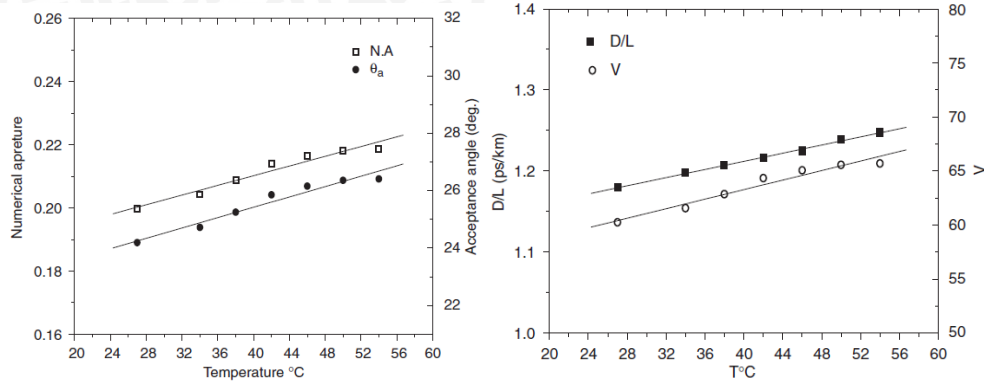
Peningkatan temperatur juga mempengaruhi nilai dari indeks bias *core* dan *cladding*. Semakin tinggi temperatur, nilai indeks bias *core* dan *cladding* akan semakin turun. Pada Gambar 2.13 memperlihatkan hubungan temperatur dengan indeks bias.



Gambar 2.13 Hubungan Peningkatan Temperatur Terhadap Indeks Bias *Core* dan *Cladding*  
(Sumber: Hamza et al, 2006)

Ketika temperatur semakin bertambah, nilai dari indeks bias akan berubah sehingga mempengaruhi nilai untuk NA yang mengakibatkan peningkatan pada redaman. Beberapa akibat yang terjadi pada perubahan nilai NA ini yaitu perubahan nilai sudut datang cahaya, meningkatkan nilai dispersi, perubahan tegangan pada frekuensi normal, efisiensi kopling, dan jumlah mode yang dipropagasikan. Peningkatan temperatur berbanding lurus terhadap nilai dari NA, sudut datang, dispersi dan tegangan pada sistem komunikasi serat optik. Pada Gambar 2.14 menunjukkan pengaruh dari peningkatan temperatur terhadap nilai NA





(a)

(b)

Gambar 2.14 (a) Hubungan Peningkatan Temperatur Terhadap Nilai NA dan Sudut Datang Cahaya

(b) Hubungan Peningkatan Temperatur Terhadap Nilai Dispersi dan Tegangan

(Sumber: Hamza et al, 2006)

Selain berpengaruh terhadap nilai indeks bias serat optik, temperatur juga akan mempengaruhi nilai dari indeks bias udara. Hal ini akan meningkatkan nilai redaman jika terjadi gap antar kedua serat optik sehingga terdapat pengaruh udara pada pentransmisi sinyal. Nilai indeks bias udara akan berubah sesuai perubahan nilai dari temperatur dan tekanan udara (Edlen, 1965). Secara matematis, Persamaan (2-3) menunjukkan perhitungan indeks bias standar udara (Edlen, 1965)

$$(n - 1)_s \times 10^8 = 8342.13 + \frac{2406030}{130 - \sigma^2} + \frac{15997}{38.9 - \sigma^2} \quad (2-3)$$

Keterangan:

$n$  = indeks bias udara

$\sigma$  =  $1/\lambda_{vac}$

$\lambda_{vac}$  = Panjang gelombang *Vacuum* (589 nm)

Dari Persamaan (2-3) tersebut akan didapatkan nilai indeks bias udara pada keadaan temperatur 15°C dan tekanan 1 atm. Untuk nilai indeks dengan perubahan temperatur dan tekanan udara dapat dilihat pada Persamaan (2-4) (Edlen, 1965).

$$(n - 1)_{TP} = (n - 1)_s \times \frac{P}{720.775} \left[ \frac{1 + P(0.817 - 0.0133T) \times 10^{-6}}{1 + 0.0036610T} \right] \quad (2-4)$$

Keterangan:

$T$  = Temperatur (°C)

$P$  = Tekanan udara (torr), 1 atm = 1013.25 mbar = 760 torr

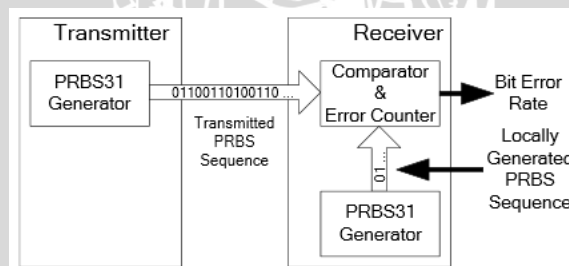
Dari persamaan tersebut dapat diketahui nilai indeks bias baru yang terjadi akibat peningkatan temperatur pada gap antar kedua serat optik yang mengakibatkan peningkatan nilai redaman dikarenakan terjadi perubahan nilai sudut datang, sudut pantul, dan sudut kritis cahaya.

## 2.6 Kinerja Sistem Komunikasi Serat Optik

Untuk mengukur keandalan dari kinerja sistem komunikasi digital, termasuk komunikasi serat optik, terdapat beberapa parameter yang dapat digunakan, antara lain *Bit Error Rate* (BER) dan *eye pattern*. Tampilan *eye pattern* dapat membantu pengukuran untuk *noise margin*, *timing jitter*, dan *bit rate*. Pada sub bab berikutnya akan diuraikan masing-masing parameter tersebut.

### 2.6.1 Bit Error Rate (BER)

BER merupakan perbandingan banyaknya bit yang *error* terhadap total bit yang ditransmisikan dalam selang waktu satu detik dengan rentang 0 hingga 1. Untuk dapat mengukur nilai BER dapat menggunakan *BER Tester* atau BERT. BERT adalah suatu alat parameter monitoring kualitas dan status kesalahan bit pada suatu sinyal. Pada Gambar 2.15 memperlihatkan blok diagram dari BER dengan menggunakan PRBS sebagai *input*-nya.



Gambar 2.15 Blok Diagram BER Dengan PRBS Sebagai *Input*-nya

(Sumber: Marius Strobl et al, 2013)

Komponen utama pada Gambar 2.14 adalah *Pseudo Random Bit Sequence* (PRBS), dimana PRBS berfungsi untuk membangkitkan informasi berupa sinyal digital *random* yang akan ditransmisikan ke penerima. Sinyal yang diterima akan dilakukan proses perbandingan dengan sinyal informasi yang dibangkitkan PRBS. Jika kedua sinyal yang telah dibandingkan berbeda, maka akan diketahui jumlah dari bit yang salah pada proses pentransmisian.



Pada proses transmisi data diharapkan memiliki nilai BER yang kecil sehingga informasi yang dikirimkan dari *transmitter* dapat diterima dengan baik pada *receiver* tanpa ada kesalahan. Secara teori nilai BER dapat dihitung dengan Persamaan (2-5).

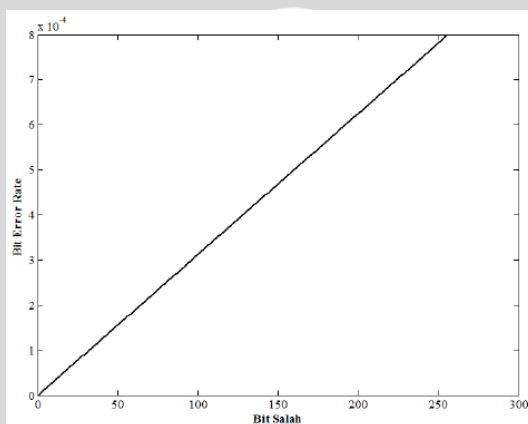
$$\text{BER} = \frac{E_b}{T_b} \quad (2-5)$$

Keterangan:

$E_b$  = Error bit

$T_b$  = Total bit yang ditransmisikan

Pada Persamaan (2-3) dengan nilai  $T_b$  yang dibuat konstan, akan terlihat bahwa nilai BER naik secara linier sesuai dengan  $E_b$ . Ilustrasi secara grafik Persamaan (2-5) dapat dilihat pada Gambar 2.16.



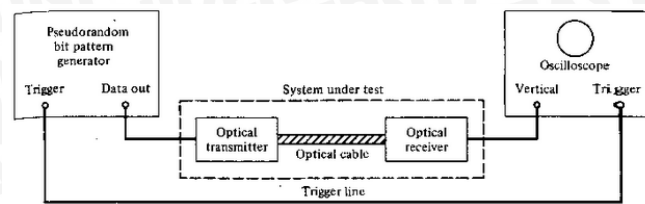
Gambar 2.16 Grafik Hubungan Peningkatan  $E_b$  Terhadap Nilai BER

Untuk nilai BER maksimum untuk semua aplikasi yang telah ditetapkan oleh 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 dan ITU-T G 959.1 adalah  $10^{-12}$ .

### 2.6.2 Eye Pattern

*Eye pattern* adalah metode sederhana dan akurat yang digunakan untuk mengevaluasi karakteristik sinyal digital berkecepatan tinggi lewat tampilan osiloskop. Proses ini mengalami beberapa kali proses sampling untuk menentukan kinerja keseluruhan sistem. Bentuk *eye pattern* menyerupai bentuk pola mata manusia karena ketidaksempurnaan dalam sistem transmisi data. Pada Gambar

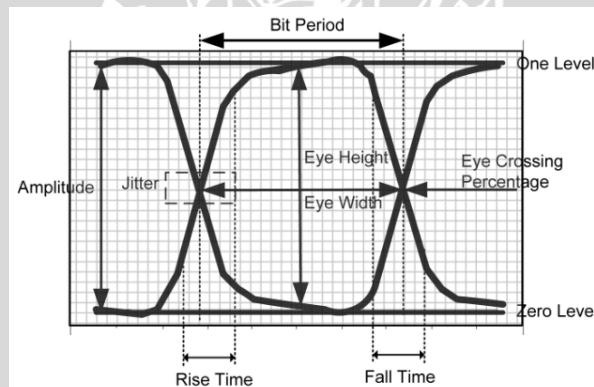
2.17 akan diperlihatkan susunan perangkat untuk melakukan proses pengukuran *eye pattern*.



Gambar 2.17 Peralatan-Peralatan Dasar Dalam Pengukuran *Eye Pattern*

(Sumber: Gerd Keisser, 2000)

PRBS berfungsi untuk membangkitkan sinyal data dengan random tetapi berperiodik. Data yang dihasilkan kemudian dialirkan ke *system under test*, didalam *system under test* terdapat proses pentransmisian data melalui serat optik hingga ke penerima. Kemudian keluaran dari *system under test* ditampilkan di osiloskop. *Trigger* pada osiloskop didapatkan dari sinyal *clock* PRBS. Tampilan *eye pattern* pada osiloskop akan ditunjukkan pada Gambar 2.18.



Gambar 2.18 *Eye Pattern* pada Osiloskop

(Sumber: [www.onsemi.com](http://www.onsemi.com))

Pada Gambar 2.18 tersebut terdapat beberapa parameter penting yang mendukung dalam pengukuran kualitas sinyal dari *eye pattern*, yaitu

- *Eye height* atau *vertical eye opening* menunjukkan besar perbedaan bit 1 dan bit 0. Semakin besar perbedaannya maka akan semakin mudah dalam membedakan bit 1 dan bit 0. Hal ini juga berpengaruh terhadap bentuk mata yang terbentuk. Ketika *eye opening* semakin lebar pada sumbu *vertical*, *noise* yang terdapat pada sistem sedikit. Sebaliknya jika *eye opening* menutup, *noise* yang terdapat pada sistem banyak sehingga akan membuat penentuan bit 1 dan bit 0 sangat sulit atau bahkan tidak mungkin.



- *Eye width* atau *horizontal eye opening* menunjukkan nilai *jitter* pada sinyal. Semakin lebar *eye opening* pada sumbu *horizontal*, maka semakin sedikit *jitter* yang terjadi. *Jitter* adalah deviasi waktu ideal dari sebuah data bit.

Hal terpenting dalam *eye pattern* adalah bentuk dari *eye opening*. Semakin besar bentuk dari *eye opening*, semakin kecil BER dari sinyal tersebut.

Pada penelitian ini performansi serat optik yang dapat dihitung dan dianalisis dari *eye pattern* meliputi *noise margin*, *timing jitter*, dan *bit rate*.

#### 1. Noise Margin

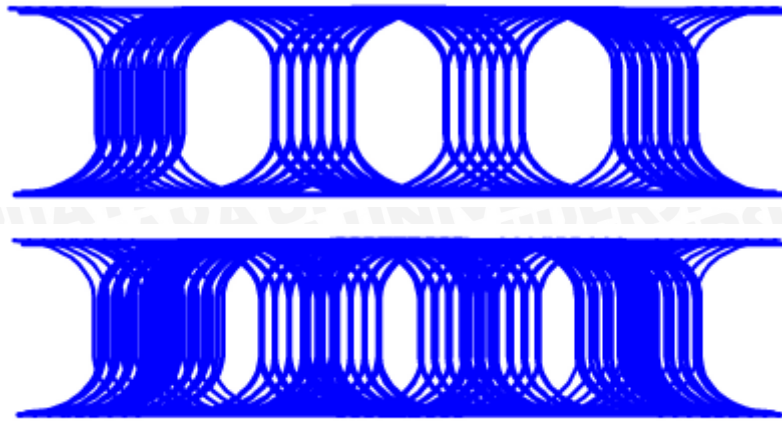
*Noise margin* merupakan parameter kekebalan terhadap suatu *noise* yang ditunjukkan dengan tingginya *eye height* pada proses sampling. *Noise margin* adalah rasio persentase dari tegangan puncak sinyal  $V_1$  yang digambarkan dengan besarnya *eye opening* terhadap tegangan maksimum sinyal  $V_2$ . Secara matematis, persamaan (2-6) menunjukkan perhitungan untuk *noise margin* (Keiser, 2004)

$$\text{Noise margin (\%)} = \frac{V_1}{V_2} \times 100\% \quad (2-6)$$

Suatu sistem yang memiliki *eye opening* yang besar menunjukkan hanya sedikit *noise* yang terjadi. Sehingga sistem tersebut memiliki *noise margin* yang tinggi.

#### 2. Timing Jitter

*Timing jitter* merupakan pergeseran waktu dari transmisi ideal pada data bit yang diterima oleh *receiver*. *Timing jitter* yang terjadi pada sistem komunikasi serat optik disebabkan oleh *noise* pada sisi penerima dan distorsi pulsa pada serat optik. Pada *eye pattern*, *timing jitter* dapat terlihat dari *zero crossing point*. Semakin besar *zero crossing point* mengindikasikan semakin besarnya keterlambatan sinyal dan tampilan *eye opening* yang semakin kecil. Gambar 2.19 memperlihatkan pergeseran waktu yang disebabkan oleh besarnya *zero crossing point*.



Gambar 2.19 *Timing Jitter* pada *Eye Pattern*  
(Sumber: www.tektronix.com)

Secara matematis persamaan untuk menghitung nilai *timing jitter* ditunjukkan pada Persamaan (2-7) (Keiser, 2004).

$$\text{Timing jitter (\%)} = \frac{\Delta T}{T_b} \times 100\% \quad (2-7)$$

Keterangan:

$\Delta T$  = Jumlah distorsi (s)

$T_b$  = Waktu bit interval (s)

### 3. *Bit Rate*

*Bit rate* merupakan salah satu parameter yang berhubungan dengan kecepatan transmisi data. *Bit rate* dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan (2-8) (Agilent, 2012).

$$\text{Bit Rate} = \frac{1}{T_b} \quad (2-8)$$

Nilai *bit rate* sangat berhubungan dengan *bit periode* atau *unit interval* (UI). *Bit periode* akan mengukur sejauh mana *eye pattern* terbuka secara *horizontal* yang diukur dari *eye crossing point*. Semakin lebar *eye pattern* maka semakin banyak waktu yang dibutuhkan untuk transmisi. Besaran waktu akan berpengaruh pada kecepatan bit yang ditransmisikan.