

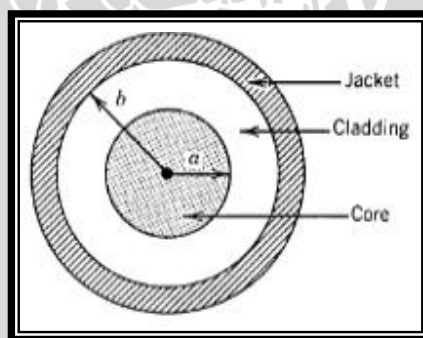
BAB II

TINJAUAN PUTAKA

2.1 Serat Optik

Serat optik adalah suatu teknologi kabel yang terbuat dari serat kaca atau plastik. Pada prinsipnya serat optik memantulkan sejumlah cahaya yang merambat di dalamnya untuk mentransmisikan data menggunakan pembiasan cahaya, yaitu: bagian inti yang disebut *core* dan bagian luar yang disebut *cladding* yang masing-masing memiliki indeks bias yang berbeda. Struktur serat optik seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.1 terdiri atas 3 bagian, yaitu:

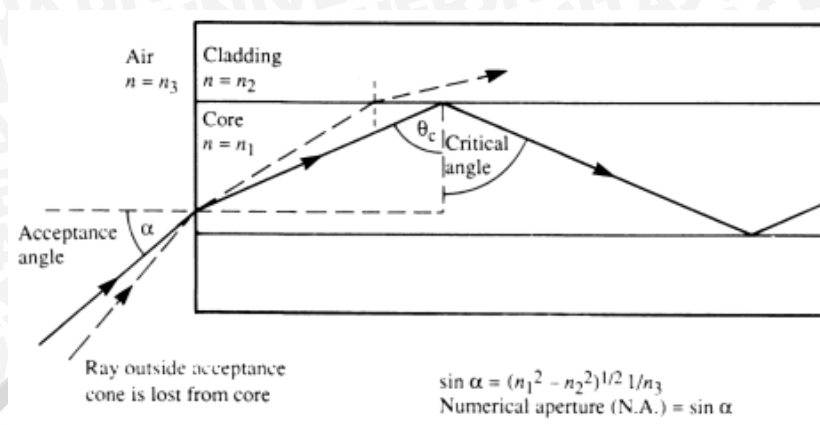
- Inti (*core*), mengirimkan gelombang cahaya yang akan merambat dan mempunyai indeks bias lebih besar dari lapisan *cladding*, dan terbuat dari kaca. *Core* mempunyai diameter yang bervariasi antara 5 – 50 μm tergantung jenis serat optiknya.
- Lapisan selimut/selubung (*cladding*), bagian ini mengelilingi bagian inti dan mempunyai indeks bias lebih kecil dibanding dengan bagian inti, dan terbuat dari kaca.
- Jaket (*coating*), bagian ini merupakan pelindung lapisan inti dan selimut yang terbuat dari bahan plastik elastik.



Gambar 2.1. Struktur Serat Optik
(Sumber: Agrawal, 2002)

Serat optik didasarkan pada prinsip pembiasan. Prinsip ini menentukan perilaku cahaya ketika melewati satu medium transparan ke medium lain, dan diuraikan dalam hukum Snellius. Menurut hukum Snellius, untuk sinar yang masuk ke serat optik, jika sudut datang (antara permukaan *core* dan *cladding*) lebih besar dari sudut kritis, maka sinar akan mengalami pemantulan sempurna. Karena peristiwa ini, berkas cahaya dapat terus merambat sepanjang serat optik. Sehingga pada Gambar 2.2 serat optik memiliki

indeks bias bahan *core* (n_1) harus lebih besar dari indeks bias bahan *cladding* (n_2) yang menunjukkan perambatan cahaya pada serat optik.



Gambar 2.2. Peristiwa Pemantulan Medium Optik
(Sumber: Barry Elliott *et al*, 2002)

Numerical aperture (NA) adalah ukuran kemampuan sebuah serat untuk menangkap cahaya, juga dipakai untuk mendefinisikan acceptance cone dari sebuah serat optik. NA merupakan parameter yang merepresentasikan sudut penerimaan maksimum dimana berkas cahaya masih bisa diterima dan merambat didalam inti serat. Sudut penerimaan ini dapat beraneka macam tergantung kepada karakteristik indeks bias *core* dan *cladding* serat optik.

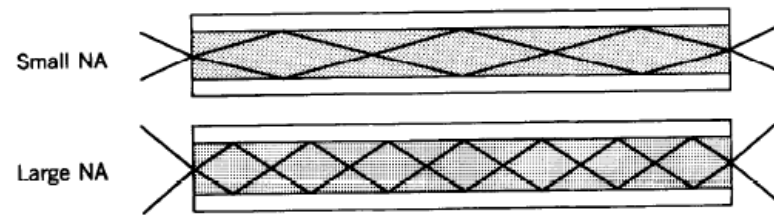
Jika sudut datang berkas cahaya lebih besar dari NA atau sudut kritis maka berkas tidak akan dipantulkan kembali ke dalam serat melainkan akan menembus *cladding* dan akan keluar dari serat. Penjelasan Gambar 2.3 yaitu, Semakin besar NA maka semakin banyak jumlah cahaya yang diterima oleh serat. Akan tetapi jika kenaikan NA semakin tinggi menyebabkan rugi penyebaran serta penyerapan akan bertambah dan *bandwidth* semakin kecil. Oleh karena itu, nilai NA besar hanya baik untuk aplikasi jarak pendek dengan kecepatan rendah. Besarnya NA dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut :

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

dengan : n_1 = indeks bias inti

n_2 = indeks bias *cladding*

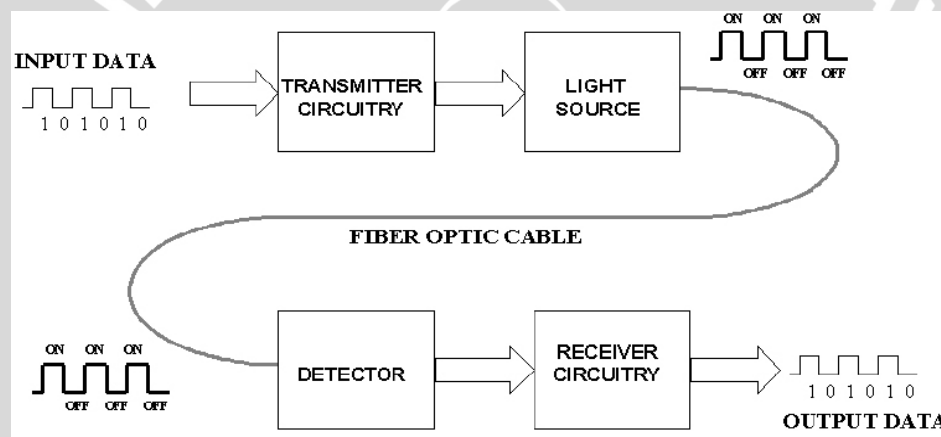
Δ = beda indeks bias relatif



Gambar 2.3. Perbedaan Nilai NA
(Sumber: Bahaa, 1991)

2.2 Sistem Transmisi Serat Optik

Sistem transmisi serat optik adalah pengiriman sinyal informasi dalam bentuk sinyal cahaya. Sistem transmisi serat optik memiliki 3 bagian penting yaitu: pemancar optik, media serat optik, penerima optik.



Gambar 2.4. Sistem Transmisi Serat Optik
(sumber: www.expertsmind.com)

Pada Gambar 2.4 menjelaskan mengenai dasar dari sistem komunikasi serat optik. Pada pemancar optik ada transmiter (pengirim informasi). Ini adalah tempat dari mana informasi aliran bit dalam bentuk sinyal listrik masuk ke modulator, yang mengodekan data yang tepat untuk transmisi pada serat optik dan pada *light source* mengubah sinyal listrik menjadi sinyal optik.

Sinyal dari modulator masuk ke sebuah sumber cahaya (LASER atau LED) dan cahaya difokuskan ke dalam serat. Cahaya bergerak pada serat (selama waktu tersebut akan mengalami dispersi dan penurunan level sinyal). Pada penerima optik cahaya masuk ke detektor dan dikonversi ke bentuk listrik. Kemudian, diterjemahkan urutan bit dan direkonstruksi aliran bit sesuai dengan bit aslinya.

2.2.1 Sumber Optik

Dalam sistem transmisi serat optik, sumber optik untuk merubah sinyal informasi dalam bentuk sinyal listrik menjadi sinyal optik. Sumber optik yang sering digunakan adalah LED (*Light Emitting Diode*) dan LD (*Laser Diode*). Masing-masing sumber optik ini memiliki parameter dan karakteristik yang merupakan bahan pertimbangan dalam pemilihan yang akan digunakan.

Kelebihan utama LED adalah harganya yang murah. Namun demikian, LED memiliki efisiensi yang sangat rendah, *bandwidth* yang terbatas, dan keluaran daya optik yang rendah. Oleh karena itu pemancar dengan LED lebih cocok digunakan pada saluran optik yang beroperasi pada bit rate yang rendah pada jarak yang relatif dekat dibanding laser diode.

Beberapa parameter dan karakteristik sumber optik yang perlu dipertimbangkan antara lain:

1. Waktu jangkit (*Rise Time*) yaitu waktu yang diperlukan sumber optik untuk membentuk amplitudo pulsa intensitas optik dari kondisi 10% sampai 90%. Semakin pendek waktu jangkit suatu sumber optik, semakin tinggi kecepatan transmisi untuk dibangkitkan oleh sumber optik tersebut.
2. Daya keluaran sumber optik (P_s) yaitu besarnya daya optik yang dipancarkan oleh suatu sumber optik. Pada LD daya keluaran sumber optiknya lebih besar daripada LED.
3. Kepekaan terhadap suhu adalah variasi daya keluaran sebagai fungsi dari perubahan suhu. Pada LD lebih peka terhadap perubahan suhu dibanding LED.
4. Lebar *spectrum* pancar sumber optik yaitu lebar bidang panjang gelombang yang dibangkitkan. Semakin sempit lebar bidang tersebut semakin tinggi kecepatan transmisi yang dimungkinkan untuk disalurkan.
5. Rugi rugi kopling yaitu rugi rugi pada proses pengkoplingan berkas gelombang ke dalam serat optik.

Tabel 2.1 Perbandingan Karakteristik LED dan LASER

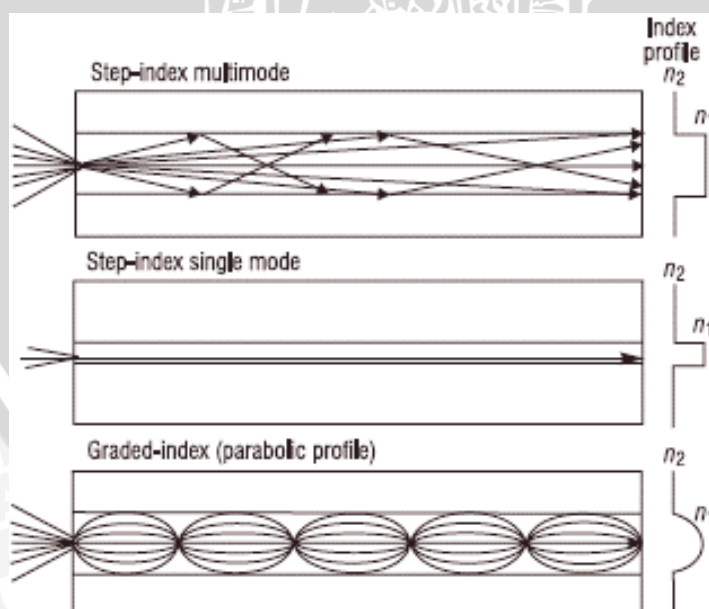
Karakteristik	LED	LASER
Daya Keluaran	Kecil	Tinggi
<i>Bandwidth</i>	Lebar	Narrower
Numerical aperture	Besar	Kecil
Kecepatan	Rendah	Tinggi
Harga	Murah	Mahal
Instalasi	Mudah	Sulit

(Sumber: Nick, 2000)

2.2.2 Jenis Mode Serat Optik

a. Serat Optik *Singlemode*

Serat *singlemode* merupakan jenis khusus serat *step-index* yang memiliki ukuran inti (*core*) antara 8 – 10 μm dan perbedaan indeks bias reaktif antara inti dengan selubung kecil sehingga hanya satu energi cahaya *singlemode* yang dapat merambat sepanjang serat. Cahaya merambat hanya dalam satu mode, yaitu sejajar dengan sumbu serat optik. Karena hanya ada satu lintasan cahaya sepanjang serat, maka serat optik *singlemode* mengalami penyebaran dan penyerapan cahaya lebih sedikit. Gambar berikut ini merupakan perbedaan antara serat optik *singlemode* dan serat optik *multimode*.



Gambar 2.5. Jenis serat optik
(Sumber: Nick Massa, 2000)

b. Serat Optik Multimode

Serat optik *multimode* merupakan jenis serat yang memiliki jumlah mode lebih dari satu yang merambat pada panjang gelombang pengoperasian sistem. Umumnya, serat *multimode* dengan jumlah mode mulai dari dua mode sampai dengan ratusan mode, digunakan untuk aplikasi komersial tertentu. Meskipun tidak memiliki kapasitas pengangkutan informasi yang besar, serat *multimode* memiliki diameter inti yang sangat besar sehingga lebih mudah saat penyambungan dilakukan. Selain itu, dengan nilai *NA* yang lebih tinggi dan biasanya jarak sambungan lebih pendek, serat *multimode* bisa menggunakan sumber cahaya yang lebih murah seperti LED.

Pada umumnya yang menggunakan kabel serat optik akan mendapatkan kemudahan dalam melakukan hubungan komunikasi dan banyak memberikan banyak manfaatnya dan mempunyai banyak peran penting dan mempunyai sifat khusus.

- **Serat S.I (Step-Index)**

Serat *step-index* memiliki karakteristik indeks bias inti yang tetap dan juga memiliki indeks bias yang konstan. Dampak dari besarnya diameter *core* menyebabkan rugi-rugi dispersi waktu transmitnya besar. Karakteristik serat optik *step-index* ditunjukkan pada Gambar 2.5.

Pada serat *step-index* ini, terjadi permasalahan dalam perambatan pulsa optik dimana sinyal yang merambat akan mengalami pemantulan pada dinding-dinding *cladding*. Perambatan sinyal seperti ini akan mengakibatkan terjadinya keterlambatan sinyal datang yang mengalami pemantulan beberapa kali dibandingkan dengan sinyal yang merambat lurus tanpa mengalami pemantulan.

- **Serat G.I (Graded-Index)**

Inti serat *graded-index* memiliki indeks bias yang tidak seragam sehingga mengikuti *profile* tertentu. Tujuan menggunakan indeks bias seperti ini adalah untuk membuat sinyal tepi yang lintasannya lebih jauh, mengalami kecepatan yang lebih tinggi daripada sinyal yang merambat melalui tengah, sehingga pada penerimaan sinyal didapatkan sinyal yang datang bersamaan tanpa terjadi keterlambatan. Gambar 2.5 menunjukkan karakteristik serat *graded-index*.

Untuk serat optik jenis *step index*, jalannya sinar adalah patah-patah dan sedangkan untuk jenis *grade index*, jalannya sinar adalah tidak patah-patah melainkan berbentuk garis lengkung.

2.2.3 Detektor Optik

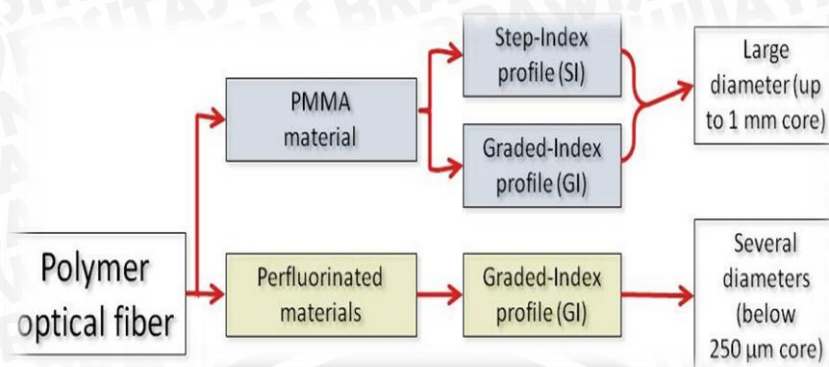
Detektor optik berfungsi sebagai bagian dari penerima dalam sistem komunikasi optik. Sebuah detektor optik atau *photodetector* adalah kebalikan dari apa yang dikerjakan oleh bagian pengirim, yaitu sumber optik. Detektor optik dapat menghasilkan gelombang sesuai aslinya dengan meminimalisasi losses yang timbul selama perambatan sehingga dapat juga menghasilkan sinyal elektrik yang maksimum dengan daya optik yang kecil.

Ada dua tipe detektor optik yang sering digunakan yaitu detektor optik PIN (*Positive Intrinsic Negative*) *photodiode* dan detektor optik APD (*Avalanche Photodiode*). Di dalam PIN diode, serat optik ditempatkan sedemikian sehingga cahaya yang diterima jatuh pada suatu lapisan intrinsik dari material semikonduktor yang diletakkan antara lapisan tipe n dan tipe p. Detektor APD mempunyai konstruksi yang mirip dan beroperasi dengan cara yang sama dengan diode PIN. Akan tetapi tidak memerlukan penguat efek medan di dalam modul penerima.

Detektor optik terdiri dari bahan semikonduktor GaAS (*Gallium Arsenide*), serat *silica quartz*, SiO₂, dan silika (Si) *receiver*.

2.3 Plastic Optical Fiber

POF merupakan serat optik yang terbuat dari bahan plastik polimer, dimana lapisan inti (*core*) terbuat dari *Polymethyl Methacrylate* (PMMA) dan lapisan selubung (*cladding*) terbuat dari bahan kopolimer, seperti: *methacrylate*, *fluoro-alkyl*, *fluorinated polymer* dan *tetrafluoroethylene* adalah umum digunakan secara aplikasi. Pada Gambar 2.6 merupakan klasifikasi POF berdasarkan indeks bahan tertentu dan untuk beberapa aplikasi.



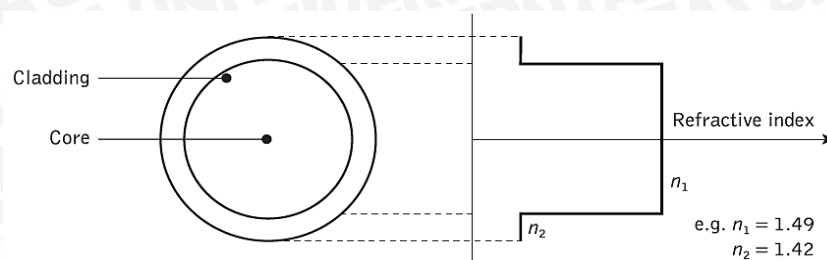
Gambar 2.6. Klasifikasi Jenis POF
(Sumber: Abrate et al, 2013)

POF yang paling banyak tersedia adalah *Polymethyl methacrylate Step Index Plastic Optical Fiber* (PMMA-SI-POF), memiliki diameter inti 980 μm dan diameter *cladding* 1 mm, sementara varian dengan diameter ini 500 μm banyak diminati. Namun, hanya jenis pertama yang memenuhi standar sistem transmisi serat optik.

Keunggulan serat 1 mm itu karena adanya berbagai aplikasi seperti: Wi-Fi, sistem infotainment mobil, pengawasan melalui video (cctv), jaringan rumah dan karakteristik menarik sehubungan dengan mekanis GOF. Beberapa keuntungan POF terutama dari jenis PMMA-SI-POF, diantaranya:

1. Fleksibilitas tinggi, ketahanan mekanik bahan plastik dibandingkan kabel serat optik dari bahan kaca adalah memungkinkan penanganan yang kasar dari serat, seperti pembengkokan (*bending*) dan tekanan (*stressing*), tanpa menyebabkan kerusakan permanen pada kabel
2. *Bandwidth* lebar, POF memiliki *bandwidth* <300 MHz yang lebih lebar dibandingkan dengan *bandwidth* kabel tembaga <100 MHz.
3. Ukuran kecil, memiliki diameter ultra-tipis yaitu 1,5 mm dan 2,2 mm, POF dapat dengan mudah digelar dalam konstruksi baru atau instalasi baik di dalam dinding rongga atau di luar dinding seperti di pinggir, di bawah karpet, atau di mana saja kabel biasanya dijalankan.
4. Desain sederhana, penggunaan POF sangat ideal untuk kantor/rumah sebagai salah satu perlengkapan kabel semua media jaringan.
5. Biaya murah, kabel POF, konektor, dan *transceiver* serat optik memiliki harga yang murah dibandingkan GOF.

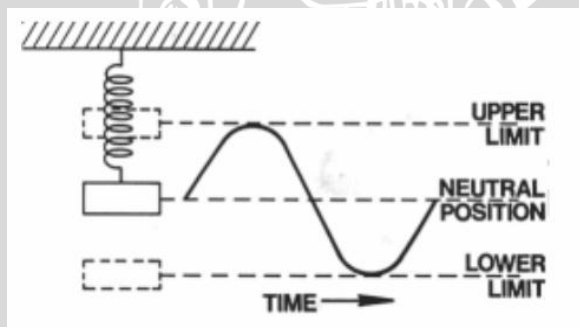
6. Tahan air, PMMA sangat tahan terhadap air asin dan air tawar. Sehingga POF cocok untuk aplikasi kabel bawah laut.



Gambar 2.7. Struktur dari PMMA Plastic Optical Fiber
(Sumber: John M. Senior, 2009)

2.4 Pengaruh Getaran (Vibration)

Getaran secara teknis didefinisikan sebagai gerak osilasi dari suatu objek terhadap posisi objek awal/diam. Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.8 gerakan massa dari posisi awal menuju atas dan bawah lalu kembali ke posisi semula, dan akan melanjutkan geraknya disebut sebagai satu siklus getar. Waktu yang dibutuhkan untuk satu siklus disebut sebagai periode getaran. Jumlah siklus pada suatu selang waktu tertentu disebut sebagai frekuensi getaran.



Gambar 2.8. Proses Terjadinya Getaran
(Sumber: Piesol, 2010)

Dalam mempelajari getaran, ada dua besaran penting sebagai berikut :

- Periode (T), selang waktu yang diperlukan sebuah benda untuk melakukan satu getaran lengkap.
- Frekuensi (f), banyaknya getaran yang dilakukan sebuah benda dalam waktu 1 sekon.

Karakteristik lainnya yaitu perpindahan, dan percepatan. Perpindahan (*displacement*) mengindikasikan berapa jauh suatu objek bergetar, dan percepatan (*acceleration*) suatu objek bergetar terkait dengan gaya penyebab getaran. Satuan yang digunakan tiap karakteristik dapat dilihat pada Tabel 2.2.

Tabel 2.2 Karakteristik Dan Satuan Getaran

Karakteristik Getaran	Metrik	British
Perpindahan microns	peak-to-peak (1 μ m=0.001mm)	peak-to-peak (0.001 in)
Percepatan	G (1g = 980 cm/s ²)	G (1g = 5386 in/s ²)
Frekuensi	cpm, cps, Hz	cpm, cps, Hz

(Sumber: Maintenance Engineering Handbook)

Daya tahan dalam sistem komunikasi serat optik terhadap perubahan lingkungan akibat getaran tentu dibutuhkan. Transmisi serat optik dengan pengaruh getaran mengakibatkan berkurangnya daya keluaran dari sumber optik.

Getaran pada sistem serat optik dapat meningkatkan redaman serat optik. Pengaruh getaran pada serat optik mempengaruhi perilaku pancaran cahaya sumber optik disebabkan perubahan indeks bias pada *core* dan *cladding*.

Cara untuk mengukur nilai indeks bias adalah dengan persamaan Sellmeier. Persamaan Sellmeier merupakan persamaan yang menyatakan keterkaitan indeks bias bahan dielektrik dengan panjang gelombang optis akibat perubahan lingkungan yang melalui bahan dielektrik tersebut. Untuk persamaan Sellmeier akibat faktor getaran ditunjukkan pada Persamaan (2-2) (Koughia. K, 2011), dengan A sampai E adalah koefisien persamaan Sellmeier dengan *core* berbahan PMMA dan *cladding* berbahan *fluorinated polymer* ditunjukkan dalam Tabel 2.3.

$$n^2 = A + \frac{B}{\lambda^2 - \lambda_o^2} + \frac{C}{(\lambda^2 - \lambda_o^2)^2} + D\lambda^2 + E\lambda^4 \quad (2-2)$$

Dimana: $\lambda_o = c/f_o$ (μ m)

Dengan:

λ = panjang gelombang (μ m)

λ_o = panjang gelombang akibat getaran (μ m)

c = kecepatan cahaya (m/s)

f_o = frekuensi getaran (Hz)

Tabel 2.3 Koefisien Persamaan Sellmeier Material *Polymer*

Koefisien	PMMA	Fluorinated Polymer
A	2.95636	1.38761
B	0.021958	0.001796
C	0	-0.41
D	-0.010624	-0.023045
E	0.000205	0.0005.57

(sumber: Volkmar, 2011)

2.4.1 Parameter Getaran

a. Amplitudo

Amplitudo adalah level sinyal yang dihasilkan dari pengukuran vibrasi. Semakin tinggi level sinyal maka menandakan *vibration* semakin tinggi.

b. Fasa

Fasa adalah perbedaan posisi dari sebuah titik referensi (*phasa absolute*) atau titik diam terhadap titik lain yang bergetar (*Phasa relative*). Fasa adalah perbedaan waktu gelombang itu mulai bergetar.

c. Frekuensi

Frekuensi adalah salah satu karakteristik dasar yang digunakan untuk mengukur dan menggambarkan getaran. Besarnya frekuensi yang terjadi pada objek yang mengalami vibrasi dapat mengidentifikasi gangguan yang terjadi pada objek yang diuji, karena besarnya frekuensi dijadikan sebagai pengamatan untuk mengetahui besar *vibration* pada objek tersebut. Frekuensi adalah jumlah periode getaran dalam setiap 1 detik. Sehingga frekuensi dapat dinyatakan dalam persamaan:

$$F = (1/T) \quad (2-3)$$

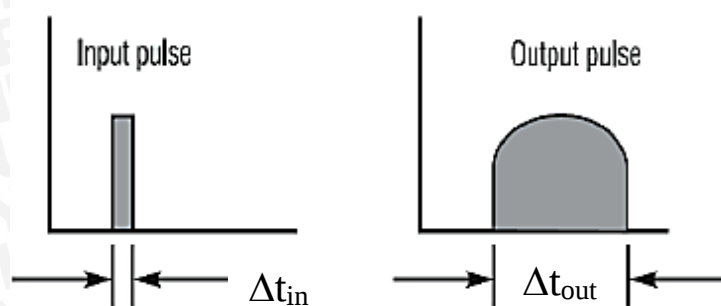
dengan:

F : frekuensi (Hertz)

T : Periode (sekon)

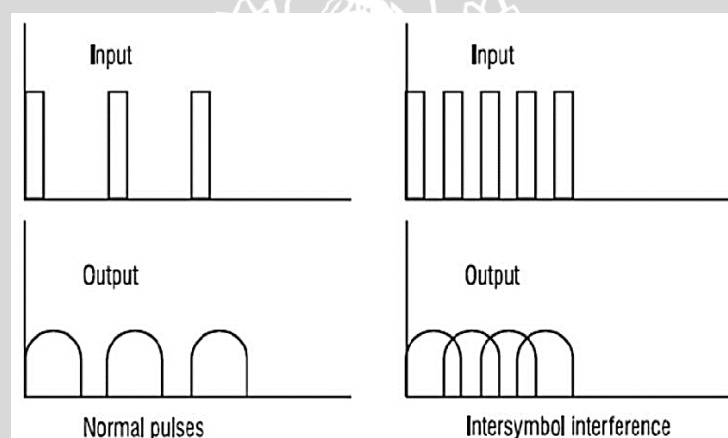
2.5 Dispersi Pada Serat Optik

Dispersi adalah pelebaran pulsa yang terjadi ketika sinyal merambat sepanjang serat optik yang disebabkan oleh keterbatasan material, polarisasi, dan lainnya. Pada Gambar 2.9 pulsa *output* mempunyai lebar pulsa lebih besar dari lebar pulsa input.



Gambar 2.9. Peristiwa Pelebaran Pulsa Akibat Dispersi
(Sumber: Perdana, A.,2012)

Pengaruh dispersi pada kinerja dari sistem transmisi serat optik dikenal dengan *intersymbol interference* (ISI). *Intersymbol interference* terjadi ketika pelebaran pulsa yang diakibatkan oleh dispersi menyebabkan pulsa output pada sistem menjadi overlap dan membuatnya tidak terdeteksi.



Gambar 2.10. Intersymbol Interferensi (ISI)
(Sumber: Perdana, A.,2012)

Salah satu jenis disperse yaitu dispersi modal (*intermodal dispersion*), hanya terjadi pada kabel jenis *multimode*.

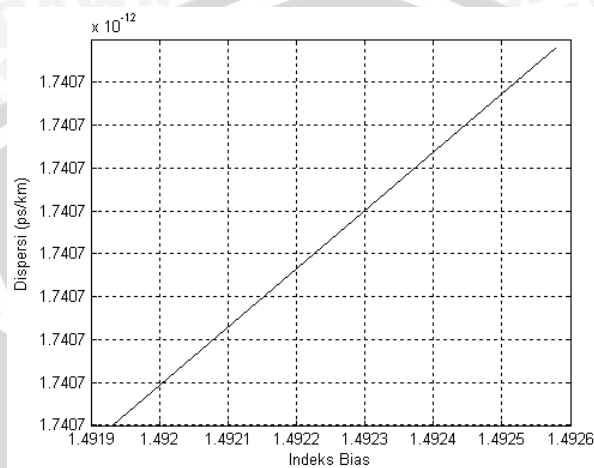
Dispersi modal adalah pelebaran pulsa sebagai akibat dari perbedaan *delay* propagasi antara satu mode dengan mode lainnya. Dimana untuk menempuh panjang serat yang sama, sinar yang bermodus lebih tinggi akan lebih lambat dibandingkan dengan sinar yang bermodus lebih rendah, sehingga terjadi pelebaran pulsa. Hal ini diakibatkan perbedaan mode pada transmisi dan mengakibatkan perbedaan waktu penerimaan. Dispersi intermodal ditunjukkan pada Persamaan (2-4) (Senior, 1985).

$$\Delta\tau_{ims} = \frac{Dn_1\Delta_n}{c} \quad (2-4)$$

Dengan:

- D = Panjang serat optik (km)
- n_1 = Indeks bias core
- c = Kecepatan cahaya (3.108m/s)
- Δn = Perbedaan indeks bias relative

Ilustrasi secara grafik perubahan dispersi yang disebabkan oleh kenaikan indeks bias pada POF ditunjukkan pada Gambar 2.11.



Gambar 2.11 Hubungan Dispersi Terhadap Indeks Bias

2.6 Kinerja Serat Optik

Terdapat beberapa parameter yang dapat digunakan untuk mengukur kualitas sistem komunikasi digital, termasuk sistem komunikasi serat optik, diantaranya BER dan *eye pattern*. Berikut adalah penjelasan untuk masing-masing parameter tersebut.

2.6.1 Bit Error Rate (BER)

Parameter yang paling umum untuk sistem komunikasi digital adalah BER. BER adalah ukuran kinerja utama dari sistem komunikasi digital. BER adalah perbandingan banyaknya bit yang salah dengan banyaknya bit yang ditransmisikan. BER dalam sistem transmisi serat optik berkisar antara $10^{-6} - 10^{-10}$ (Keiser, 1983). Karakteristik komponen yang berkaitan dengan BER yaitu kecepatan transmisi dan tingkat daya minimum detektor optik.

Sejumlah faktor penting dapat berkontribusi pada penurunan sinyal BER diataranya termasuk distorsi sinyal gelombang, kebisingan yang berlebihan, dan waktu jitter. BER juga disebabkan oleh distorsi gelombang acak, seperti karena efek dispersi mode dalam serat optik. Karena sifat acak dari gangguan sinyal, BER biasanya dalam fungsi waktu.

Sedangkan periode BER adalah nilai rata-rata dalam setiap interval waktu pengukuran Δt .

Nilai BER dapat dihitung dengan persamaan :

$$\text{BER (bit)} = 1/(\Delta t \times \text{Bit Rate}) \quad (2-6)$$

Dengan:

$\text{BER} = \text{Bit Error Rate (bit)}$

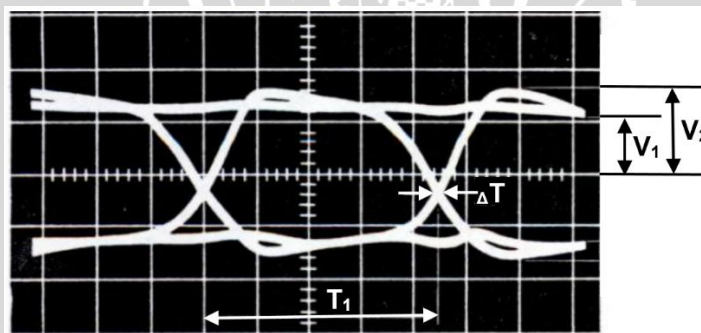
$\text{Bit Rate} = \text{kecepatan transmisi data (bit/detik)}$

$\Delta t = \text{waktu interval pengukuran (detik)}$

2.6.2 Eye diagrams atau eye pattern

Mata diagram (*eye pattern*) adalah metode sederhana untuk penilaian performansi dari sebuah sistem transmisi digital.

Metode ini telah digunakan secara luas untuk melakukan evaluasi yang diterapkan pada data serat optik. *Eye diagram* seperti Gambar 2.12 dengan pola pengukuran dalam domain waktu dan membuat efek distorsi gelombang yang akan ditampilkan langsung di layar tampilan osiloskop.



Gambar 2.12. Diagram *Eye Pattern*
(Sumber : Bhargava, 1984)

Banyak dari kinerja sistem informasi dapat disimpulkan dari tampilan pola mata tertentu. Untuk menafsirkan pola mata tertentu, berikut ini informasi yang berkaitan dengan *noise margin*, *timing jitter*, dan *bit rate*. Metode yang dapat diturunkan ialah:

- Lebar mata menentukan interval waktu di mana sinyal sampel yang diterima terjadi kesalahan yang dapat disebabkan oleh gangguan dari pulsa yang berdekatan dikenal sebagai gangguan *intersymbol interface*.

- Tinggi dari mata ditetapkan sebagai waktu yang menunjukkan nilai margin atau kekebalan terhadap *noise*. *Noise margin* adalah persentase rasio puncak sinyal V_1 tegangan bolak-balik (didefinisikan oleh ketinggian dari mata yang terbuka) untuk tegangan sinyal V_2 yang diukur dari tinggi maksimum seperti terlihat pada Gambar 2.12. Waktu terbaik untuk sampel gelombang yang diterima adalah ketika ketinggian dari mata membuka adalah terbesar. Tinggi yang berkurang sebagai akibat dari amplitudo distorsi pada sinyal data. Semakin mata menutup, semakin sulit untuk membedakan antara 1s dan 0s di sinyal.

$$\text{Noise margin (percent)} = \frac{V_1}{V_2} \times 100\% \quad (2-7)$$

- Signal to Noise Ratio (SNR) merupakan perbandingan daya sinyal dengan daya *noise*. SNR dinyatakan dalam satuan desiBell (dB), semakin besar SNR maka semakin baik kualitas sistem komunikasi tersebut terhadap gangguan *noise*, begitu juga sebaliknya. Pada *eye pattern* menghitung SNR dengan cara mengetahui terlebih dahulu nilai U_s dan U_n . Nilai U_n merupakan selisih V_1 dan V_2 , sedangkan nilai U_s merupakan besarnya *eye amplitude*.

$$\text{SNR (dB)} = 20 \log \frac{U_s}{U_n} \quad (2-8)$$

- Tingkat di mana mata tertutup sebagai sampel (yaitu waktu yang bervariasi, dari sisi kemiringan *eye-pattern*) menentukan kepekaan waktu yang tepat untuk kesalahan sistem. Kemungkinan kesalahan waktu semakin meningkat saat kemiringan horizontal.

- *Timing jitter* (juga disebut sebagai mata *jitter* atau distorsi fasa) dalam sistem serat optik disebabkan oleh *noise* pada serat optik sehingga menimbulkan distorsi fasa. *Timing jitter* didefinisikan sebagai perbandingan jumlah distorsi waktu (ΔT) dan waktu bit interval (T_b). Berikut merupakan persamaan matematis *timing jitter*:

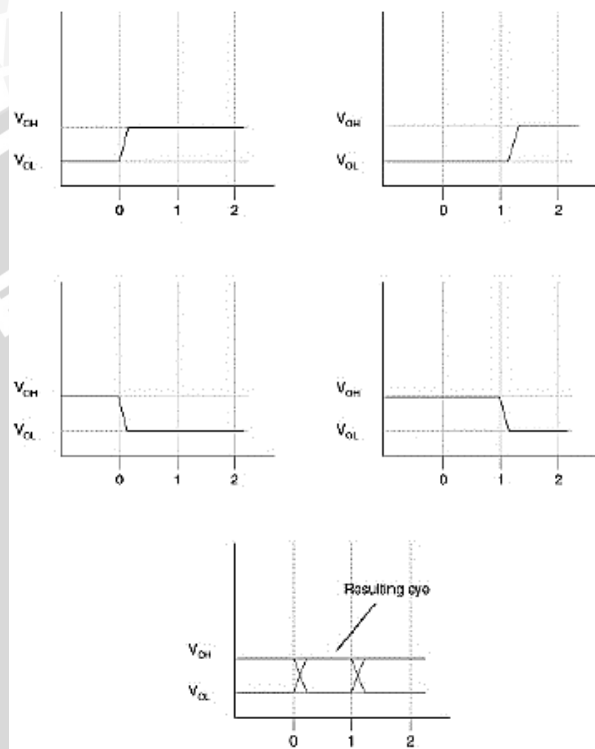
$$\text{Timing jitter (percent)} = \frac{\Delta T}{T_b} \times 100\% \quad (2-9)$$

Dengan T_b adalah interval bit

- Bit Rate adalah kecepatan data pada saat pengiriman. Untuk menghitung *bit rate* ditunjukkan pada Persamaan (2-9) (Agilent, 2012).

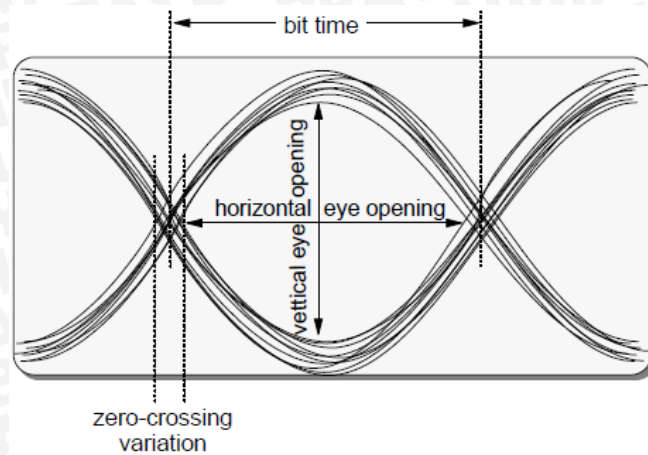
$$\text{Bit Rate} = \frac{1}{T_b} \text{ (Kbps)} \quad (2-10)$$

Pada Gambar 2.14 nilai T_b dihitung dari titik *zero crossing point* pada *eye pattern*. Nilai *zero crossing point* akan berpengaruh pada besar *eye width*. Semakin sempit *eye width*, maka waktu yang diperlukan untuk mentransmisikan satu bit data akan semakin cepat. Waktu untuk mentransmisikan satu bit data disebut dengan bit interval. Besar waktu ini akan berpengaruh pada kecepatan bit data yang ditransmisikan atau *bit rate*.



Gambar 2.13. Pembentukan *Eye Diagram*
(Sumber: Behera *et al*, 2011)

Gambar 2.13 menunjukkan pola *eye pattern*, yang batas atas dan batas bawah ditentukan oleh logika 1 dan 0, yang ditunjukkan oleh on dan off, secara berturut-turut. Pada gambar tersebut secara spesifik menunjukkan informasi yang didapatkan dari pembentukan *eye diagram* seperti waktu terbaik untuk melakukan *sampling* yaitu ketika *eye opening* terbesar.



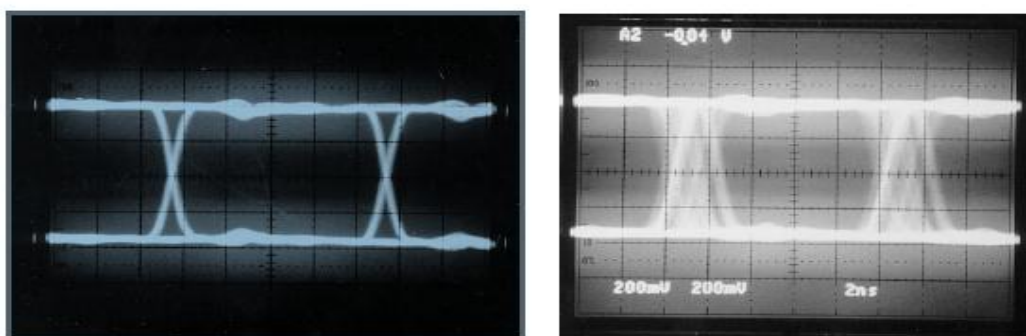
Gambar 2.14. Informasi yang Terdapat Pada Eye Diagram
(Sumber: Dutton, 1998)

Hal yang terpenting dalam mengevaluasi *eye diagram* adalah besar *eye opening* yang menunjukkan SNR ketika proses *sampling* terjadi dan besar amplitudo serta *timing error*. Gambar 2.15 menunjukkan gambar *eye diagram* dengan *eye opening* yang besar dan lebar, sehingga dapat dikatakan sebagai kondisi ideal.



Gambar 2.15. Eye Diagram Ideal Dengan Finite Rise dan Fall Time
(Sumber: Breed, 2005)

Gambar 2.16 menunjukkan dua diagram *eye pattern* dari sinyal termodulasi. Di sebelah kiri adalah situasi yang sangat baik dengan mata terbuka lebar dan sangat sedikit jitter. Di sebelah kanan kita memiliki contoh dari sinyal berisi sejumlah besar jitter.



Gambar 2.16. Bentuk Nyata Diagram Eye Paattern,
16a. Sebelum diberi gangguan; 16b. Sesudah diberi gangguan.
(Sumber: Dutton, 1998)

Jenis *timing error* pada Gambar 16 disebut dengan *jitter*. *Jitter* margin pada Gambar 16a lebih kecil daripada Gambar 16b, tetapi *eye opening* yang terlihat lebih kecil karena *bit rate* yang lebih tinggi. Semakin tinggi *bit rate*, semakin kecil ukuran *eye opening*. Sehingga potensi *data error* semakin besar (Behera *et al*, 2011). *Timing jitter* atau *eye jitter* pada sistem serat optik disebabkan oleh *noise* pada serat optik sehingga menimbulkan distorsi fasa. *Timing jitter* disebut juga sebagai *phase distortion*.

2.7 Advance Fiber Optic Communication Lab

Advance Fiber Optic Communication Lab terdiri dari dasar-dasar serat optik seperti karakteristik pemancar dan penerima, kabel serat optik, LED dan detektor, berbagai jenis teknik modulasi dan demodulasi, multipleksing dan demultipleksing, serta komunikasi PC ke PC dengan metode serial. Banyak eksperimen yang dapat dilaksanakan dengan alat ini dengan mengacu pada panduan yang telah disediakan. Buku panduan memuat dokumentasi dari setiap eksperimen, *data sheet* komponen optik yang digunakan, serta blok diagram percobaan.

Perangkat percobaan ini terdiri dari empat modul. Dua di antaranya ditujukan untuk percobaan komunikasi analog dan dua lainnya untuk percobaan komunikasi digital menggunakan serat optik. Catu daya disediakan terpisah sehingga beberapa percobaan dapat dilakukan bersamaan. Modul *function generator* dapat membangkitkan berbagai sinyal yang diperlukan untuk mendukung sistem. Perangkat dapat digunakan pada kondisi temperatur 0 °C - 45 °C dan kelembaban 20% - 80%.

2.7.1 FCL-03 Fiber Optic Analog and Digital Modulation and Demodulation Kit

FCL-03 adalah perangkat modulasi dan demodulasi analog dan digital yang terdiri dari pemancar serat optik 660 nm, *Pin Photo Diode* dengan penguat *transimpedance*, *Photo Transistor* dengan *photo detectors* keluaran logika TTL sebagai penerima, rangkaian modulasi dan demodulasi, serta perangkat komunikasi antar PC.



Gambar 2.17. Perangkat FCL-03
(Sumber: e-Manual *Advance Fiber Optic Communication Lab*, 2011)

2.7.2 FCL-04 Fiber Optic Advance Digital Communication Kit

FCL-04 adalah perangkat komunikasi digital yang didesain untuk melakukan percobaan komunikasi digital menggunakan serat optik sebagai media transmisi penyaluran data. Perangkat ini menggunakan LED merah 660 nm dan *photo transistor* dengan keluaran TTL sebagai sensor optik. Saluran optik dapat membawa data dengan kecepatan 512 KBits/Sec.



Gambar 2.18. Perangkat FCL-04
(Sumber: e-Manual *Advance Fiber Optic Communication Lab*, 2011)