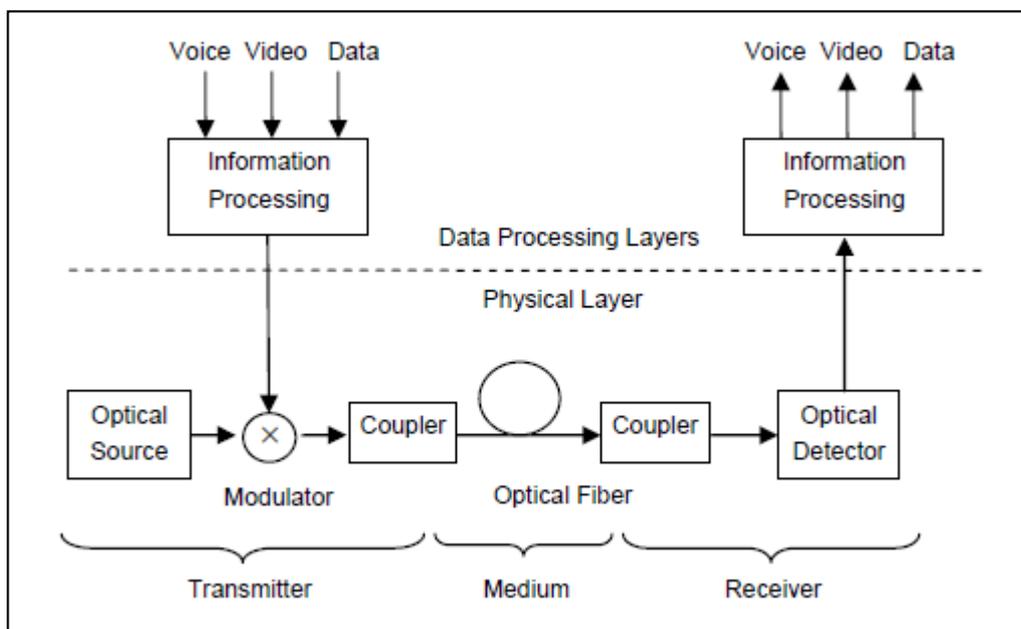


BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Sistem Komunikasi Serat Optik

Serat optik merupakan media transmisi yang terbuat dari bahan kaca yang berkualitas sehingga memiliki kehandalan dan kelebihan jika dibandingkan dengan media transmisi lain seperti tembaga dan *coaxial*. Komponen dasar yang membentuk komunikasi menggunakan media serat optik ada 3 yaitu sumber optik atau transmitter yang mengkonversi sinyal elektrik menjadi sinyal cahaya atau optik, kabel serat optik sebagai media transmisi sinyal optik, dan detektor cahaya yang mengkonversi sinyal optik yang diterima menjadi sinyal elektrik. Komponen dasar sistem komunikasi serat optik dapat dilihat pada gambar 2.1



Gambar 2.1 Sistem Komunikasi Serat Optik
Sumber : Azadeh, 2009

Transmitter atau alat pemancar cahaya terdiri dari 2 bagian, yaitu :

1. Rangkaian elektrik, berfungsi untuk mengkonversi sinyal *digital* menjadi sinyal *analog*, selanjutnya data tersebut ditumpangkan ke dalam sinyal gelombang optik yang telah termodulasi.
2. Sumber gelombang sinyal optik berupa sinar ILD atau LED yang pemakaiannya disesuaikan dengan sistem komunikasi yang digunakan.

Pemilihan menggunakan LED maupun ILD pada suatu sistem, tergantung dari biaya, level daya optik, kecepatan, panjang gelombang, sensitivitas, dan umur operasi. Untuk lebih jelasnya perhatikan tabel 2.1

Tabel 2.1 Perbandingan ILD dengan LED

Sumber : Made Yudistira, 2003

Nama Komponen	<i>Injection Laser Diode (ILD)</i>	<i>Light Emitting Diode (LED)</i>
Karakteristik	Daya output besar Spektrum emisi yang sempit Harga Mahal	Daya output kecil Spektrum emisi yang lebar Relatif lebih murah
Aplikasi	Sistem jarak jauh Sistem jarak dekat Sistem ke pelanggan	Sistem ke pelanggan Sistem <i>private branch</i>

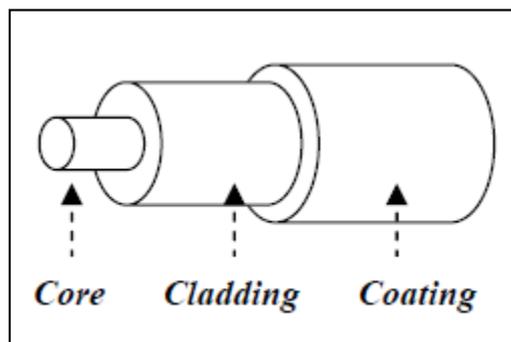
Untuk transmisi optik, dipakai sumber cahaya dengan panjang gelombang 850 nm, 1310 nm, dan 1550 nm. Gelombang cahaya ini masuk dalam kategori gelombang *infra red* (tidak tampak). Agar cahaya yang dilewatkan serat dapat diterima dengan intensitas yang cukup, maka pemancaran dilakukan dengan daya yang kuat.

Receiver atau penerima cahaya terdiri dari dua bagian, yaitu detektor penerima itu sendiri dan rangkaian elektrik.

1. Detektor penerima, bisa berupa *Avalanche Photo Diode (APD)* dan *Positif Intrinsic Negatif Diode (PIN Diode)*, yang berfungsi untuk menangkap sinyal optik.
2. Rangkaian Elektrik berfungsi untuk mengkonversi sinyal optik ke sinyal elektrik.

2.2 Struktur Umum Serat Optik

Serat optik terdiri dari tiga bagian utama yaitu core, cladding dan coating. Core merupakan bagian utama dari serat optik karena dari core ini informasi yang berupa pulsa cahaya ditransmisikan.



Gambar 2.2 Struktur Dasar Serat Optik

(Sumber : Made Yudistira, 2003)

2.2.1 Inti (Core)

Core merupakan inti serat yang berfungsi sebagai media pemandu cahaya (*guided medium*) atau tempat perambatan cahaya dari satu titik ke titik yang lainnya. Terbuat dari bahan kaca dengan kualitas sangat tinggi. Memiliki diameter 8-50 μm dimana ukuran *core* akan mempengaruhi karakteristik serat optik.

2.2.2 Selubung (Cladding)

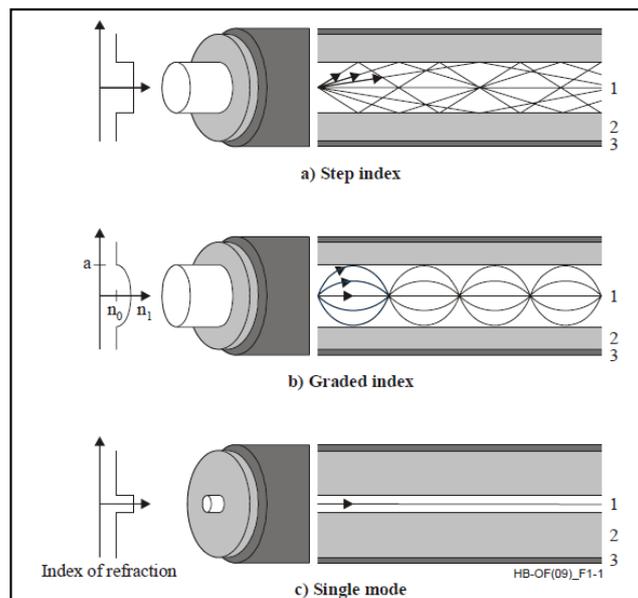
Cladding merupakan lapisan luar yang mengelilingi inti. *Cladding* berfungsi sebagai cermin yaitu memantulkan cahaya agar dapat merambat dalam *core* serat optik. Hubungan indeks bias antara *core* dan *cladding* akan mempengaruhi perambatan cahaya pada *core*.

2.2.3 Jaket (Coating)

Coating merupakan lapisan luar dari *cladding* yang berfungsi sebagai pelindung mekanis serat optik sehingga serat optik lebih tahan terhadap gangguan eksternal. Juga untuk tempat kode warna dari tiap-tiap *tube*.

2.3 Jenis Serat Optik

Serat Optik memiliki 2 jenis *core* perambatan cahaya yaitu *Step Index* dan *Graded Index*. Hal yang membedakan *Step Index* dengan *Graded Index* adalah indeks bias yang terdapat pada *core*-nya. Untuk serat optik tipe *step index* memiliki satu indeks bias yang homogen baik di tengah *core* sampai batas *core* dan *cladding*. Sedangkan *Graded Index* memiliki indeks bias yang berubah pada *core*-nya, semakin besar bila mendekati ke tengah sumbu *core* dan berangsur-angsur mengecil pada batas *core* dengan *cladding*.



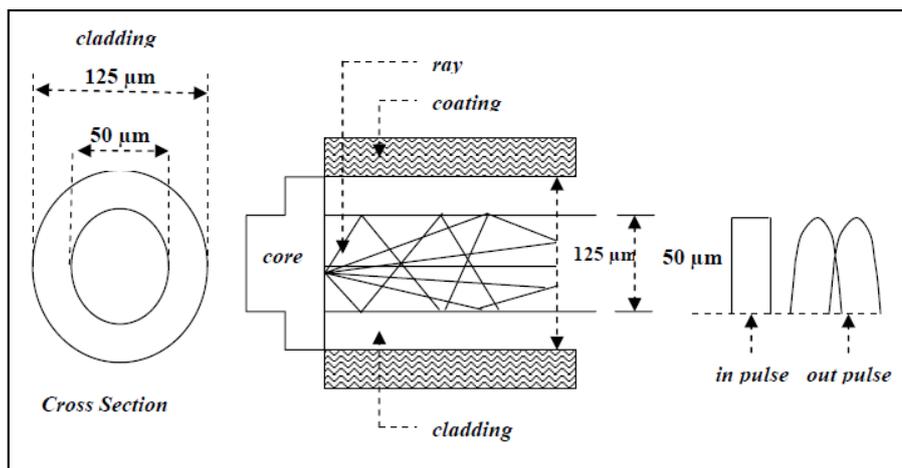
Gambar 2.3 Perbandingan Karakteristik Jenis Serat Optik

Sumber : ITU-T, 2009

Multi Mode berarti membawa paket informasi secara sendiri-sendiri dengan panjang gelombang yang berbeda-beda dalam satu waktu bersamaan. Beda panjang gelombang akan mengakibatkan adanya perbedaan kecepatan informasi sampai di titik yang dituju. Selain itu, ada pula yang menggunakan satu macam cahaya dengan panjang gelombang tertentu, maka disebut dengan *Single Mode*, berarti paket informasi dibawa bersama-sama dalam satu panjang gelombang.

2.3.1 Multimode Step Index

Struktur serat *step index* terlihat pada gambar 2.4. Diperlihatkan ukuran *core* dan *cladding* dari serat optik tipe *Multi Mode Step Index*. Memiliki ukuran diameter *core* sebesar 50-200 μm , jarak sisi luar *cladding* sebesar 125-400 μm .



Gambar 2.4 Multimode Step Index

Sumber : Made Yudistira,2003

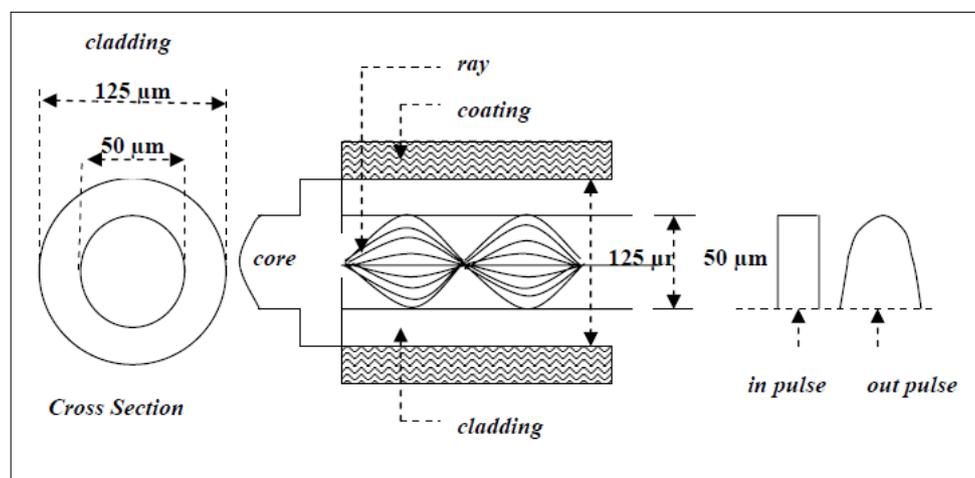
Serat Optik ini disebut *step index* karena indeks-indeks bias yang ada antara *cladding* dengan *core* yang tetap perbandingannya. Dari gambar 2.4 dapat dilihat bahwa *cladding* memiliki indeks bias lebih rendah dari pada indeks bias pada *core*-nya, sehingga seluruh cahaya yang mengenai *cladding* dengan sudut tertentu akan mengalami refraksi secara total pada batas *core* dengan *cladding*. Cahaya yang mencapai bagian antara *core* dan *cladding*, dengan besar sudut datang lebih kecil dari pada sudut kritisnya, maka cahaya akan mengalami pemantulan dan sebagian lagi akan dibiaskan *cladding* (keluar serat). Bila sudut datang cahaya lebih besar dari pada sudut kritis, maka akan terjadi pemantulan total, dimana energi akan diteruskan tidak mengalami rugi-rugi yang cukup besar.

Cahaya yang digunakan untuk mengirimkan informasi, akan mengalami banyak pemantulan sehingga energi cahaya yang dipancarkan sebagian akan berkurang atau hilang. Pada bagian kanan gambar, memperlihatkan respon bila di-*input*-kan sebuah pulsa

kotak, maka *output*-nya tidak sama dengan *input*-nya. *Multi Mode* berarti dalam pengiriman data, berkas cahaya yang dipancarkan dari pengirim sampai penerima, melalui jalur yang berbeda-beda. Hal ini menyebabkan panjang lintasan tiap berkas cahaya sampai di penerima juga tidak sama. Sehingga di bagian detektor cahaya, pulsa yang diterima akan mengalami pelebaran akibat waktu tempuh yang berbeda-beda sehingga penerimaan tidak dalam waktu yang bersamaan, disebut sebagai *Dispersion Mode*.

2.3.2 Multimode Graded Index

Multimode graded index memiliki ukuran *core* dan *cladding* yang identik dengan *Multimode Step Index*, dimana besar *core* dan jarak antar sisi luar *cladding* sebesar 50-100 μm dan 125-140 μm . Serat ini disebut *graded index* karena memiliki perubahan harga indeks bias yang bertingkat (*grade*), dimana harga indeks biasnya semakin besar bila mendekati sumbu *core* dan semakin kecil harganya bila menjauhi sumbu *core*. Sehingga cahaya yang dilewatkan serat optik jenis *Multi Mode Graded Index* ini bentuknya dapat dilihat pada gambar 2.5.



Gambar 2.5 Multimode Graded Index

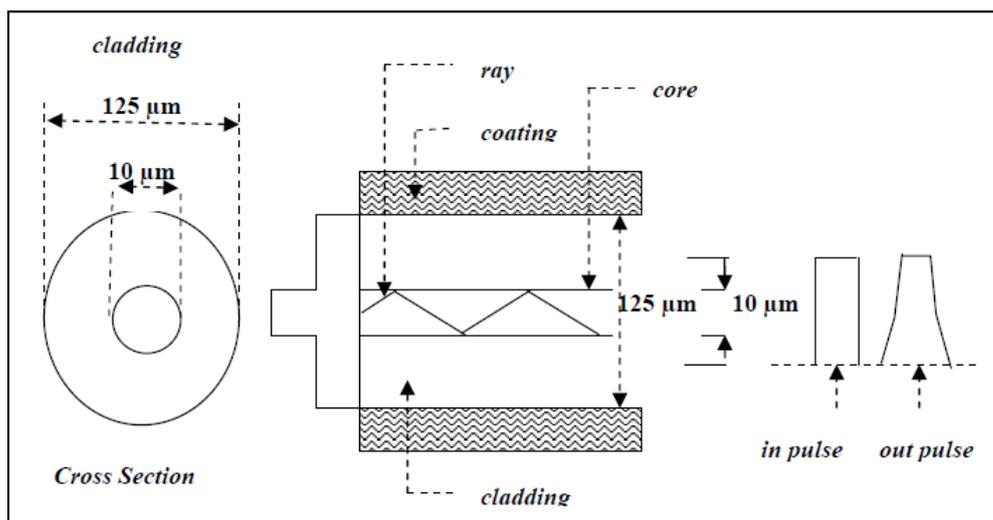
Sumber : Made Yudistira, 2003

Kecepatan cahaya akan lebih kecil saat melewati suatu bahan dengan indeks bias yang tinggi. Hal ini yang menyebabkan waktu lintasan cahaya yang melewati serat optik antar ujung yang satu sama lain mendekati sama, walaupun jalan yang ditempuh kelihatannya berbeda. Sehingga pelebaran pulsa yang diterima sangat kecil.

Sifat-sifatnya antara lain harganya yang lebih mahal karena memerlukan proses pembuatan *core* yang lebih sulit, dispersi minimum, cahaya merambat karena difraksi yang terjadi pada *core* sehingga rambatan cahaya sejajar dengan sumbu serat.

2.3.3 Single Mode Step Index

Pada serat optik *Single Mode* atau satu *mode* perambatan cahaya, dimungkinkan tidak bisa terjadi dispersi *mode* atau dispersi minimum. Hal ini karena berkas cahaya yang dapat dilewatkan melalui serat sangat sedikit akibat diameter *core* yang kecil. Tidak jarang karena kecilnya *core*, berkas cahaya yang dapat dilewatkan serat dianggap sebagai satu berkas cahaya. Dispersi minimum ini memungkinkan data *rate* pengiriman sinyal lebih tinggi dari serat tipe lainnya. Hal ini dimungkinkan karena sinyal yang diterima memiliki kemungkinan *overlap* sangat kecil, sehingga tidak perlu mengalokasikan waktu kosong (*time gap*) antar pulsa yang berurutan.



Gambar 2.6 Single Mode Step Index

Sumber : Made Yudistira ,2003

Diameter *core* sangat kecil sekitar 8-12 μm dan diameter *cladding* 125 μm , sehingga teknik penyambungan dan pengukuran memerlukan teknik yang khusus. Sumber cahayanya harus memiliki lebar spektral yang sangat sempit dan sumber cahaya tersebut harus sangat kecil dan memiliki pancaran sinar yang terang (*bright*) agar nantinya didapatkan kopling yang efisien dalam proses pemancaran cahaya ke dalam *core* yang sangat kecil tersebut. Biasanya sebagai *optical source* digunakan *Injection Laser Diode* atau *Laser Diode*.

Sifat-sifatnya antara lain harga yang relatif mahal, diameter *core* yang sangat kecil dibanding *cladding*, sehingga penyambungan juga relatif lebih sulit serta NA yang kecil sehingga memerlukan *laser* sebagai *optical source*, cahaya merambat dalam satu *mode* saja yaitu sejajar dengan sumbu optik, digunakan pada transmisi data dengan *bit rate* yang tinggi (mencapai orde *gygabyte per second*).

2.4 Perambatan Cahaya

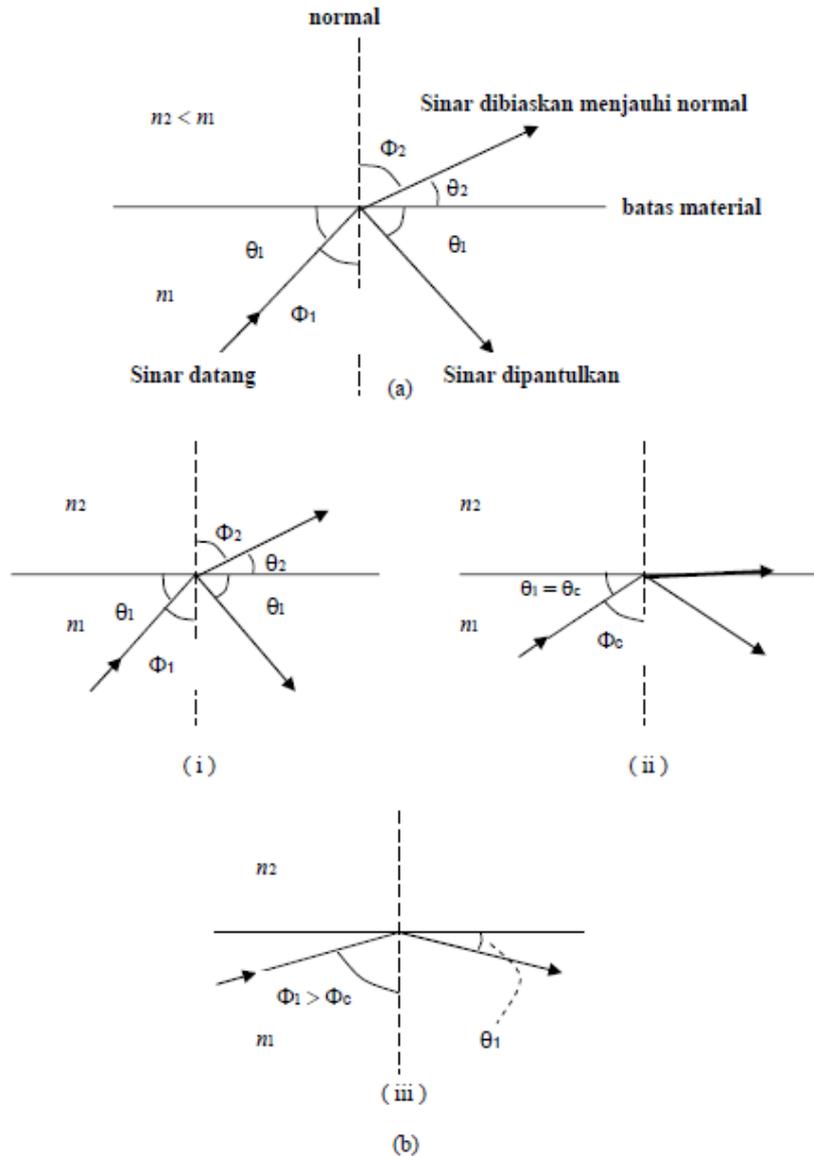
Perambatan cahaya di sepanjang serat optik terjadi karena pemantulan internal sinar optik yang terjadi pada perbatasan *core* dan pembungkusnya. Pemantulan ini disebabkan oleh adanya perbedaan indeks bias antara *core* dan *cladding*. Jika seberkas cahaya memasuki suatu medium dengan indeks bias yang berbeda, proses pembiasan atau pemantulan cahaya yang terjadi dapat dijelaskan menggunakan hukum Snellius sebagai berikut :

$$n_1 \sin \phi_1 = n_2 \sin \phi_2 \text{ atau } n_1 \cos \theta_1 = n_2 \cos \theta_2 \quad (2-1)$$

Jika sudut datang ϕ_1 diperbesar , maka sinar bias akan semakin menjauhi normal. Bila sinar bias mencapai bidang batas kedua medium (besarnya sudut ϕ_2 mencapai 90°), maka sudut ϕ_1 sekarang disebut sudut kritis. Sudut kritis adalah sudut antara sinar datang terhadap garis normal dimana sinar tersebut akan dibiaskan dengan sudut $\phi_2 = 90^\circ$, sehingga:

$$n_1 \sin \phi_c = n_2 \sin 90^\circ \text{ sehingga } \sin \phi_c = \frac{n_2}{n_1} \quad (2-2)$$

Apabila sudut ϕ_1 lebih besar dari pada sudut kritis ($\phi_1 > \phi_c$), sinar tidak lagi dibiaskan, tetapi akan terjadi pemantulan total seperti pada gambar .



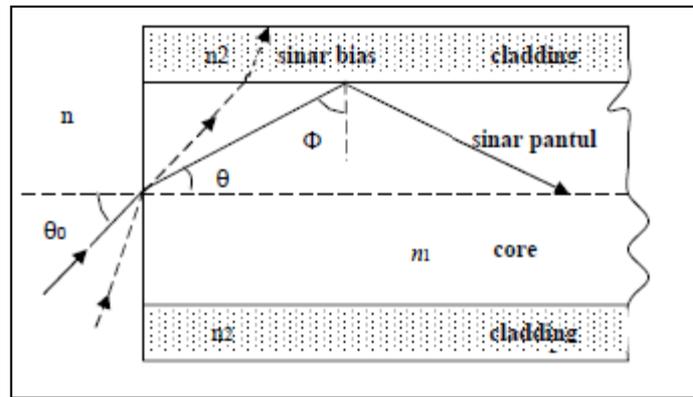
Gambar 2.7 Proses Pemantulan dan Pembiasan Cahaya
Sumber : Gerd Kaiser ,2000

2.5 Aperatur Numerik dan Pemantulan

Aperatur Numerik adalah parameter yang harganya ditentukan atau tergantung pada indeks bias *core* dan *cladding*. Bersama dengan ukuran *core* dan panjang gelombang, aperatur numerik menentukan jumlah *mode* cahaya yang terjadi pada *core* serat optik .

Dari Hukum Snellius, sudut minimum yang dapat membentuk pantulan internal total dengan persamaan :

$$\sin \phi_{\min} = \frac{n_2}{n_1} \quad (2-3)$$



Gambar 2.8 Mekanisme Perambatan Cahaya Pada Step Index
Sumber : Gerd Kaiser, 2000

Sinar yang mengenai *core-cladding* pada sudut kurang dari ϕ_{\min} akan dibiaskan keluar dari *core* dan akan hilang pada *cladding*. Menurut hukum Snellius untuk permukaan batas udara dan fiber, pada kondisi persamaan (2-3) dengan memasukkan sudut $\theta_{0,\max}$ menghasilkan hubungan sebagai berikut :

$$n \sin \theta_{0,\max} = n_1 \sin \theta_c = (n_1^2 - n_2^2)^{1/2} \quad (2-4)$$

Dengan nilai $\theta_c = \pi/2 - \phi_c$ sinar mempunyai penjurusan masuk sudut θ_0 kurang dari $\theta_{0,\max}$ akan secara total dipantulkan pada permukaan batas *core* dan *cladding*. Persamaan (2-4) juga disebut *Numerical Aperture* (NA) untuk *step-index fiber* :

$$NA = n \sin \theta_{0,\max} = (n_1^2 - n_2^2)^{1/2} \quad (2-5)$$

2.6 Rugi-Rugi Pada Serat Optik

Salah satu faktor yang menjadi bahan pertimbangan dalam mendesain suatu jaringan transmisi serat optik adalah rugi-rugi transmisi serat optik. Rugi-rugi transmisi ini menghasilkan penurunan daya cahaya dan juga penurunan bandwidth dari sistem, transmisi informasi yang dibawa dan kapasitas sistem secara keseluruhan. Rugi-rugi pada serat optik merupakan pelemahan power yang ditransmisikan mulai dari pemancar sampai jarak tertentu, pelemahan atau rugi-rugi ini dinyatakan dalam satuan dB/km. Rugi-rugi dari serat optik ini dipengaruhi oleh rugi-rugi bahan dan rugi-rugi akibat dari penggunaan serat optik sebagai media transmisi.

2.6.1 Rugi-Rugi Bahan

a. Absorpsi

Ada tiga faktor yang menimbulkan rugi absorpsi pada serat optik yaitu absorpsi ultraviolet, absorpsi infra merah dan absorpsi resonansi ion.

• Absorpsi Ultraviolet

Disebabkan oleh elektron valensi dari bahan silika, cahaya mengionisasi elektron valensi tersebut menjadi konduktor, ionisasi tersebut sama saja dengan rugi cahaya total dan tentu saja menimbulkan rugi-rugi transmisi pada serat optik. Kontribusi rugi-rugi ultraviolet dalam dB/km pada panjang gelombang dapat di ekspresikan secara empiris sebagai fungsi fraksi mol sebagai berikut (Gerd Keiser, 2000) :

$$\alpha_{uv} = \frac{154,2\chi}{46,6\chi + 60} \times 10^{-2} \exp\left(\frac{4,63}{\lambda}\right) \quad (2-6)$$

• Absorpsi Infra Merah

Adalah hasil dari penyerapan foton-foton cahaya oleh atom-atom molekul inti kaca. Ini menyebabkan foton bergetar secara acak dan menyebabkan panas. Secara empiris untuk penyerapan inframerah dalam dB/km untuk glass $GeO_2 - SiO_2$ adalah :

$$\alpha_{IR} = 7,81 \times 10^{11} \exp\left(\frac{-48,48}{\lambda}\right) \quad (2-7)$$

- **Absorpsi Resonansi Ion**

Disebabkan oleh ion-ion OH^- pada bahan penyusunnya. Ion OH^- ini terdapat pada molekul air yang terdapat pada kaca pada saat proses pembuatannya. Absorpsi ion juga dapat disebabkan oleh molekul besi, tembaga dan khromium.

- b. Hamburan**

Berikutnya yang termasuk rugi-rugi bahan adalah *Rayleigh Scattering*. Rugi-rugi ini disebabkan oleh adanya variasi indeks bias dalam jarak relatif pendek terhadap panjang gelombang λ . Variasi ini antara lain disebabkan oleh :

- Absorpsi panas yang merubah kerapatan struktur *core* dan indeks bias.
- Tidak meratanya komposisi bahan *core*, menyebabkan penghamburan cahaya optik. Penghamburan ini sangat mempengaruhi batas rugi-rugi minimum dalam serat optik. Apabila perhitungan hanya didasarkan pada perubahan panas, koefisien rugi-rugi penghamburan dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$\alpha_{scat} = \frac{8\pi^3}{3\lambda^4} n^8 p^2 k_B T_f B_T \quad (2-8)$$

β_T = Energi sinar datang (J)

n = Index bias inti

k_B = Konstanta Boltzman (J/K)

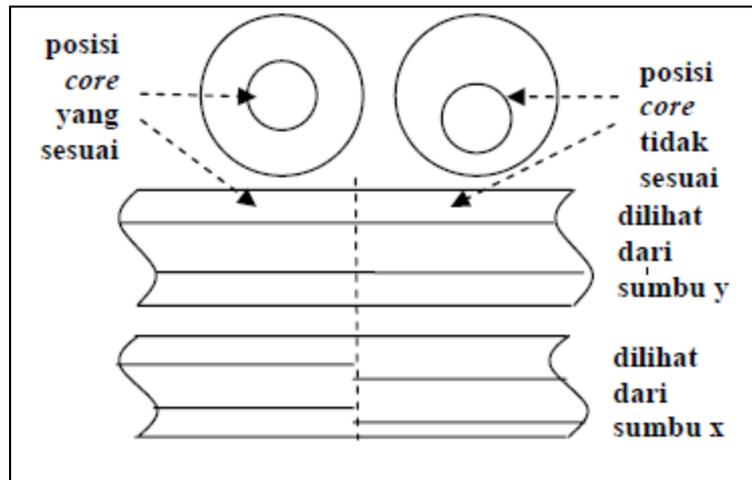
T_f = Temperatur (K)

p = Koefisien photoelastik

- c. Kondisi Core Dan Cladding**

- **Eksentrisitas Core terhadap Cladding**

Rugi-rugi ini bisa terjadi pada sambungan akibat kecerobohan saat menyambung, tetapi juga bisa terjadi akibat kesalahan fabrikasi. Eksentrisitas *core* terhadap *cladding* merupakan kejadian dimana ukuran inti sama tetapi letaknya tidak pada satu sumbu, sehingga mengakibatkan sebagian sinar akan hilang (M. Syamsul Hadi, 2002).



Gambar 2.9 Eksentrisitas core terhadap cladding

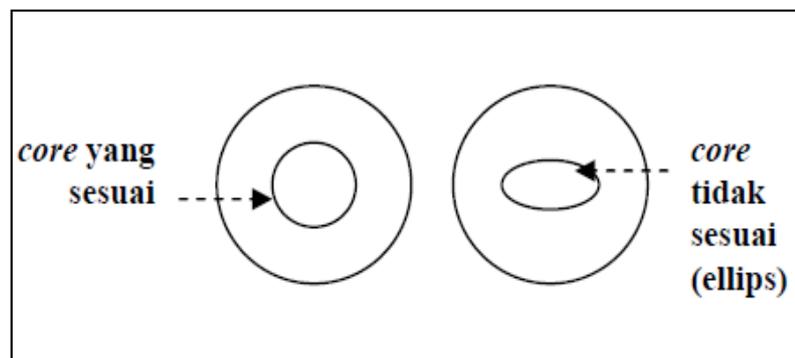
Sumber : Made Yudistira, 2003

- **Variasi Diameter Cladding**

Rugi-rugi yang didapat karena dari ukuran diameter *cladding* yang berbeda. Jika ukuran diameter *cladding* pada dua serat optik yang akan disambungkan berbeda, maka penyambungan *core* tidak akan sempurna. Akibatnya ada berkas cahaya yang tidak bisa lewat melalui hasil penyambungan tersebut.

- **Elliptisitas Core**

Rugi-rugi ini terjadi karena *core* yang ada tidak benar-benar bulat melainkan lebih pipih atau *ellips*. Perhatikan gambar 2.10. *Core* yang *ellips* menyebabkan rugi-rugi akibat penyambungan menjadi tinggi, karena akan ada sebagian berkas cahaya yang tidak bisa masuk ke *core* selanjutnya. Rugi-rugi ini mirip dengan rugi-rugi eksentrisitas *core* terhadap *cladding*.

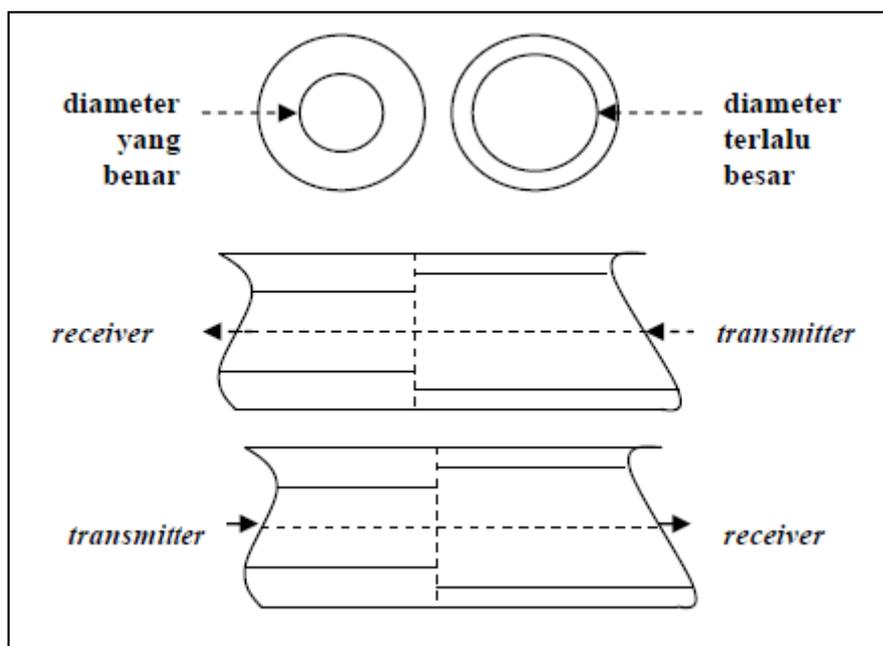


Gambar 2.10 Elliptisitas core

Sumber : Made Yudistira, 2003

- **Variasi Diameter Core**

Perbedaan diameter *core* dari serat yang disambung akan menyebabkan rugi-rugi. Jika diameter *core* serat transmisi lebih besar dari pada serat *core* ke arah detektor, maka menyebabkan rugi-rugi yang tinggi, karena akan ada sebagian cahaya yang terpantulkan kembali ke transmiter. Jika diameter *core* transmisi lebih kecil dari pada serat *core* ke arah detektor, maka akan mengakibatkan rugi-rugi yang rendah.



Gambar 2.11 Variasi Diameter Core

Sumber : Made Yudistira , 2003

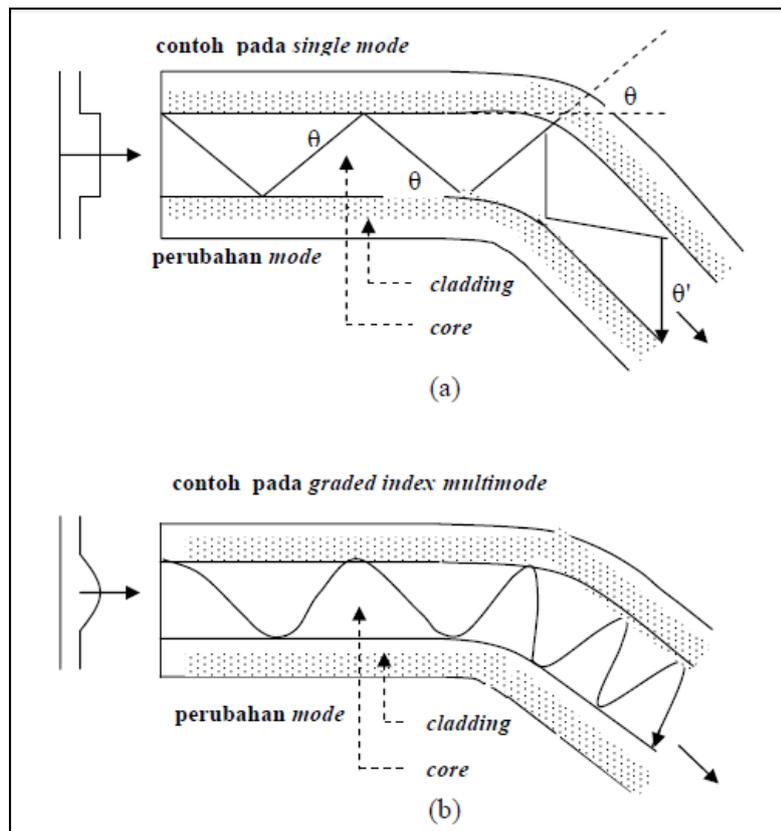
2.6.2 Rugi-Rugi Serat Optik Sebagai Media Transmisi

a. Lengkungan

Pada saat proses instalasi kabel optik sebagai media transmisi akan ada beberapa kondisi yang dapat merubah keadaan fisik dari serat optik tersebut. Misalnya saja kondisi jalur di lapangan yang mengharuskan kabel serat optik dipasang dengan pembelokan. Perubahan fisik ini biasa disebut bending , pada serat optik bending terdiri dari dua jenis yaitu macrobending dan microbending.

- **Makrobending**

Rugi-rugi ini terjadi pada saat sinar melalui serat optik yang dilengkungkan, disebut makrobending. Apabila serat optik melengkung , maka sudut pemantulan total akan berubah dari θ menjadi θ' seperti pada gambar 2.12. *Mode* dari serat yang sebelumnya masih lurus berubah menjadi *mode* yang lain dengan sudut karakteristik yang lain pula. Kondisi seperti ini menyebabkan timbulnya pergantian *mode*.



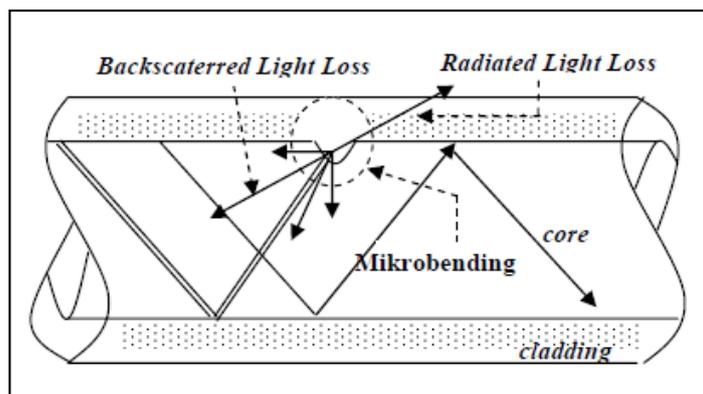
Gambar 2.12 Rugi-rugi Makrobending

Sumber : Made Yudistira, 2003

Pada gambar 2.12 (a) menunjukkan perambatan cahaya pada *single mode* dengan sudut θ menjadi θ' , sedangkan pada gambar 2.12 (b) menunjukkan perambatan cahaya pada *graded index multimode*.

- **Mikrobending**

Mikrobending disebabkan karena adanya permukaan batas antara *core* dan *cladding* yang tidak merata (*microbending*) yang menyebabkan adanya perubahan *mode*. Mikrobending terjadi disebabkan akibat tekanan mekanik atau sewaktu proses fabrikasi. Hal ini menyebabkan terjadinya *loss* dimana cahaya dengan sudut yang lebih besar seperti ditunjukkan pada gambar 2.13.

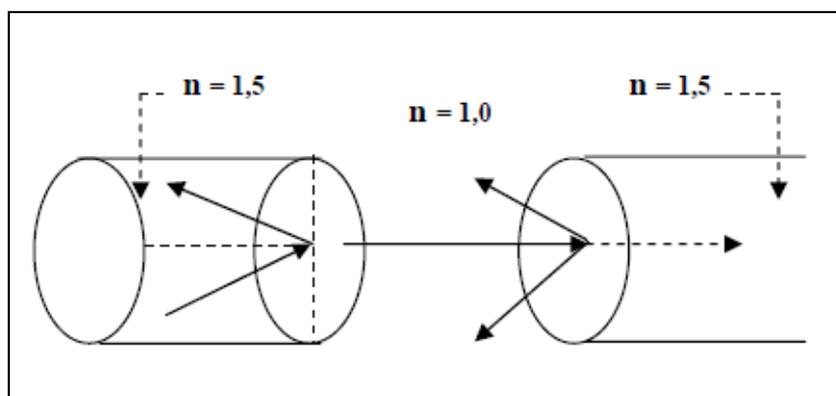


Gambar 2.13 Rugi-rugi Mikrobending

Sumber : Made Yudistira, 2003

b. Konektor

Untuk menghubungkan serat optik dengan perangkat transmitter maupun receiver dibutuhkan konektor. Konektor yang menghubungkan serat optik dengan perangkat lain ini bersifat tidak permanen atau bisa dilepas dengan mudah. Bentuk dan jenis konektor bermacam-macam dan mempunyai karakteristik serta penggunaan masing-masing. Pada konektor terdapat rugi-rugi yang diakibatkan oleh adanya celah (ruang kosong/udara) antara serat optik dengan sumber optik dan antara serat optik dan detektor cahaya. Adanya celah udara ini mengakibatkan refleksi fresnel yang terjadi karena terdapat perbedaan nilai indeks bias antara serat optik dengan celah udara. Rugi-rugi ini biasa disebut sebagai rugi-rugi kopleng.



Gambar 2.14 Refleksi Fresnel

Sumber : Made Yudistira, 2003

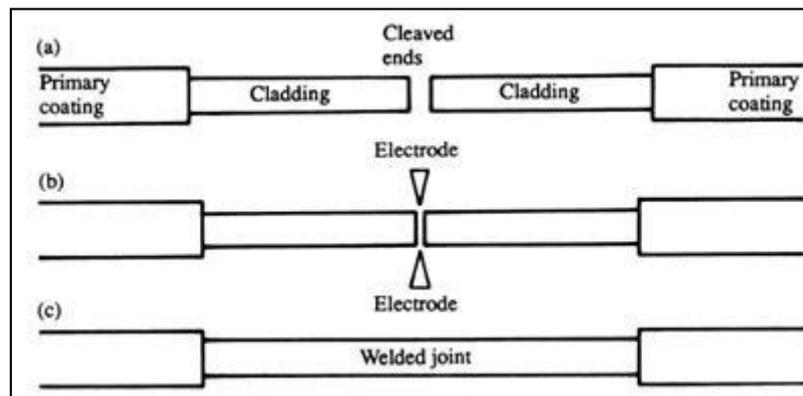
Rugi-rugi konektor juga dapat terjadi diakibatkan karena adanya perbedaan antara diameter *core* serat optik dengan diameter sumber cahaya ataupun diameter detektor, perbedaan diameter ini menyebabkan jalan cahaya tidak sempurna dan menyebabkan rugi-rugi. Pengaruh diameter ini dijelaskan pada sub bab 2.6.1 poin c (kondisi *core* dan *cladding*).

c. Splicing

Penyambungan dengan splicing berbeda dengan penyambungan menggunakan konektor, penyambungan dengan splicing bersifat permanen dan dilakukan diantara serat optik itu sendiri. Untuk menghubungkan konektor dengan serat optik juga dibutuhkan teknik penyambungan dengan splicing ini. Jadi setiap ada konektor sebelumnya disana juga ada penyambungan dengan splicing. Penyambungan serat optik dengan splicing dibagi menjadi dua yaitu fusion splicing dan mechanical splicing.

- **Fusion Splicing**

Teknik penyambungan serat optik yang disebut dengan *fusion splicing* ini menggunakan sebuah alat yang bernama splicer. Dengan metode ini kedua ujung serat optik yang terputus benar-benar disambungkan menjadi satu tanpa ada celah diantara keduanya. Pada metode ini ujung serat optik pertama-tama diluruskan dan didekatkan bersama di ujung-ujung elektroda. Sasaran penyambungan kemudian dipanaskan dengan percikan listrik atau dengan pulsa laser sehingga ujung serat optik menjadi leleh dan disambungkan bersama. Teknik ini dapat menghasilkan rugi-rugi *splice* yang sangat rendah (rata-rata 0,1 sampai 0,5 dB).



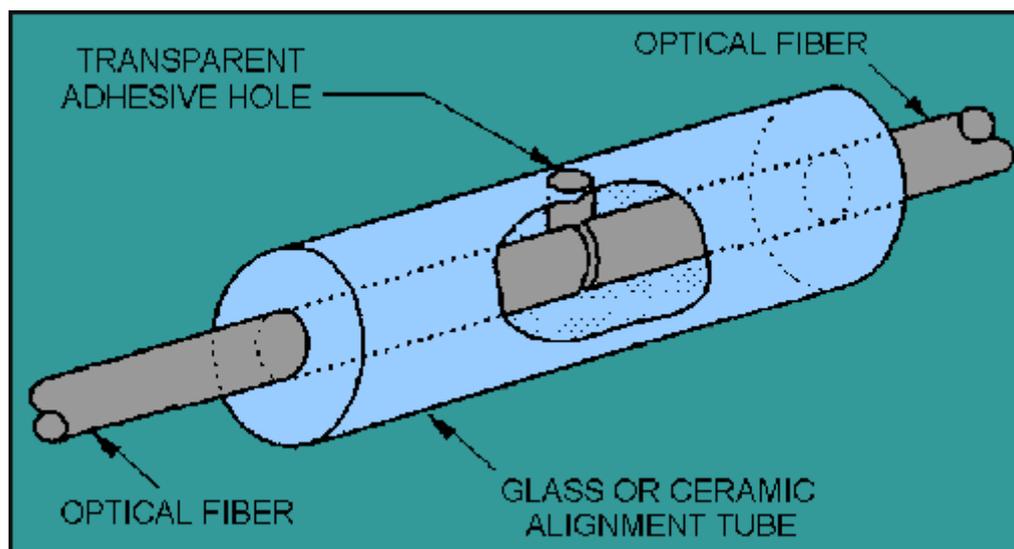
Gambar 2.15 Fusion Splicing

Sumber : <https://www.syoptek.comblogwp>

- **Mechanical Splicing**

Metode penyambungan ini berbeda dengan penyambungan secara fusi, tidak ada proses pemanasan dan penyambungan pada kedua ujung serat optik dengan kata lain masih ada celah udara diantara serat. Proses penyambungan dilakukan dengan menghubungkan ujung serat optik yang terputus pada sebuah penghubung yang berbentuk tabung dan biasanya terbuat dari keramik, kaca ataupun plastik. Penyambungan secara mekanik ini karakteristiknya lebih mirip dengan penyambungan dengan konektor dimana terjadi

refleksi fresnel karena adanya perbedaan indeks bias antara serat optik dengan celah udara yang terdapat pada selubung penyambungan.



Gambar 2.16 Mechanical Splicing

Sumber : <https://www.tpub.com/neetstm30NVM068>

2.7. Dispersi

Dispersi adalah suatu fenomena dimana suatu pulsa cahaya yang datang akan mengalami pelebaran selama perambatannya di dalam serat optik. Dispersi merupakan faktor yang penting yang membatasi *bandwidth* transmisi pada sistem komunikasi serat optik.

Ada tiga macam dispersi pada fiber, yang disebabkan oleh tiga mekanisme, yaitu:

1. Dispersi Intermode

Timbulnya dispersi intermode karena jalur total yang ditempuh oleh suatu sinar pada setiap ragam adalah zigzag, dan mempunyai panjang total yang berbeda dari setiap sinar-sinar ragam yang lain.

2. Dispersi Bahan

Sebagai akibat dari dispersi bahan, bila pulsa cahaya yang dipancarkan mengandung komponen-komponen dengan beberapa panjang gelombang yang berbeda yang terpusat pada suatu panjang gelombang tengah.

3. Dispersi Waveguide

Jika fiber dapat dioperasikan sedemikian sehingga dispersi antar-ragam dan bahan keduanya dihilangkan, maka mekanisme dispersi yang ketiga akan menjadi penting, hal ini mencegah dicapainya keadaan tanpa dispersi total, kecuali untuk kasus cahaya monokromatis yang ideal.

2.8 Perhitungan *Loss* atau rugi-rugi

Untuk mengetahui nilai rugi-rugi dari suatu *link* serat optik dengan panjang tertentu dapat digunakan persamaan berikut (ITU,2009) :

$$\text{Rugi} - \text{rugi} \text{ (dB)} = aL + a_s x + a_c y \quad (2-9)$$

a = Koefisien redaman (dB/km) L = Panjang kabel (km)

a_s = Rugi-rugi splicing (dB) x = Jumlah splicing

a_c = Rugi-rugi konektor (dB) y = Jumlah konektor

2.9 *Optical Time Domain Reflectometer* (OTDR)

Optical Time-Domain Reflectometer atau biasa disingkat menjadi OTDR, merupakan suatu peralatan optoelektronik yang digunakan untuk mengukur parameter-parameter seperti pelemahan (*attenuation*), panjang, kehilangan pencerai dan penyambung, dalam sistem telekomunikasi serat optik. OTDR pada dasarnya terdiri dari satu sumber optik dan satu penerima (receiver), modul akuisisi data, CPU, media penyimpanan data, dan layar monitor.

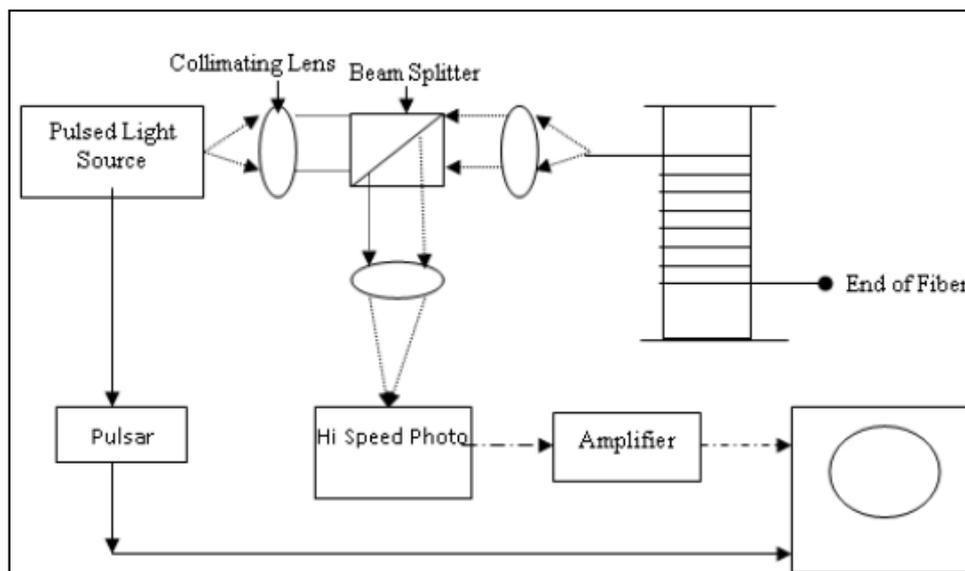
Prinsip kerja OTDR yaitu berdasarkan pada prinsip hamburan balik (*back scattering*) dari sinyal yang menjalar pada serat optik, dua hal yang menyebabkan terjadinya hamburan balik yaitu hamburan rayleigh dan pantulan fresnel.

1. Hamburan Rayleigh

Dalam pembuatan serat optik, sering kali terjadi ketidaksempurnaan pada bahan, seperti tidak homogenya indeks bias, tidak sempurnanya atom pembentuk, dan terbawanya atom-atom lain dalam serat optik. Ketidakhomogenan indeks bias dalam serat optik akan menimbulkan hamburan sinar (berpencarnya sinar) yang disebut hamburan Rayleigh.

2. Pantulan Fresnel

Pantulan fresnel terjadi apabila sinar melewati dua media yang mempunyai indeks bias yang berbeda, misalnya antara kaca dan udara. Pada serat optik, perbedaan indeks bias ini sering terjadi akibat ketidaksempurnaan penyambungan dan pada ujung fiber yang terbuka ataupun konektor.



Gambar 2.17 OTDR

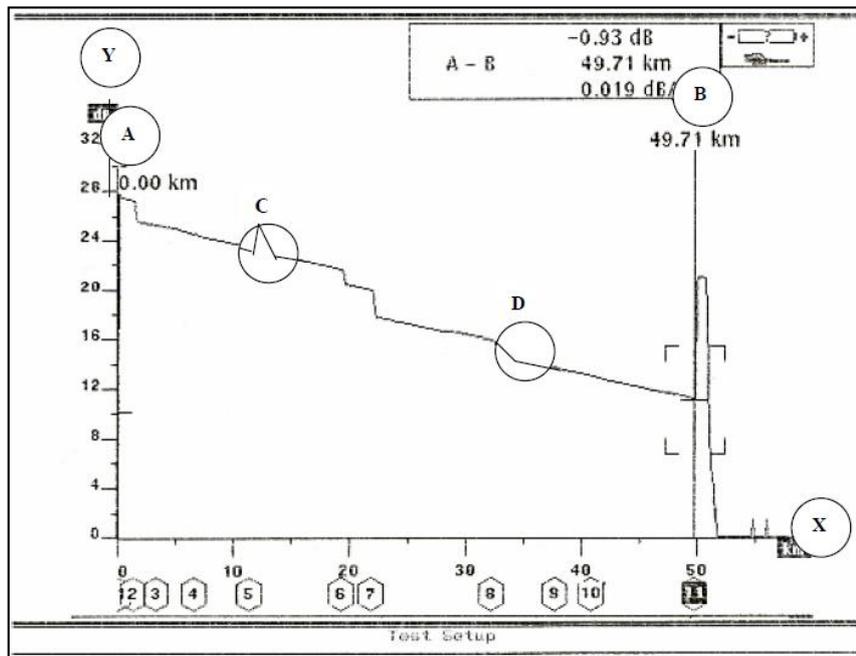
Berikut penjelasan dari gambar 2.17 :

- **Pulsed Light Source** : Merupakan sumber cahaya yang akan disalurkan pada serat optik (LED atau LASER diode)
- **Collimating Lens** : Cahaya yang keluar dari Pulsed Light Source akan difokuskan oleh collimating lens agar cahaya yang masuk ke serat optik maksimum.
- **Beam Splitter** : *Beam Splitter* berguna untuk mencegah sumber cahaya mencapai photodetector karena photodetector hanya menerima signal yang dibalikkan (*backscattered light*).
- **Hi Speed Photo Detector** : Perangkat ini akan membaca besarnya daya dari cahaya yang dibalikkan (*backscattering light*) oleh beam splitter.
- **Amplifier** : Perangkat ini akan menguatkan daya yang akan masuk ke scope.
- **Pulsar** : Digunakan untuk menentukan lebar pulsa (*Pulse Width*) yang disalurkan ke serat optik
- **Display** : Osiloskop akan mendeteksi, menguatkan dan menampilkan sinyal-sinyal pantulan yang kembali.

Tampilan grafik pengukuran secara umum merupakan gambar garis yang naik turunnya ditentukan dari keadaan medium yang dilewati. Rugi-rugi dapat dihitung dengan membandingkan jarak yang ditempuh dengan penurunan daya optik yang disalurkan. Adanya garis yang miring dari kiri atas ke kanan bawah menunjukkan dengan adanya efek hamburan *Rayleigh scattering* dan rugi-rugi lainnya sehingga tampilan grafiknya memiliki kemiringan. Rugi-rugi menyebabkan penurunan daya optik yang bisa dipancarkan.

Semakin miring grafik berarti perbandingan penurunan daya optik dengan jarak yang ditempuh semakin besar, yang berarti kualitas fiber buruk (Made Yudistira, 2003).

Berikut gambaran tampilan grafik secara umum:



Gambar 2.18 Tampilan Grafik Secara Umum

Sumber : Made Yudistira, 2003

Berikut penjelasan dari grafik :

1. Sumbu X grafik : menunjukkan panjang serat optik dalam satuan kilometer (km) dari titik pengukuran.
2. Sumbu Y grafik : menunjukkan daya atau kekuatan optik yang diterima OTDR dalam satuan desibel (dB).
3. Titik A : menunjukkan titik awal sinar dari alat ukur masuk ke serat optik. Tampilan berbentuk grafik impuls yang naik secara tajam dengan amplitudo kenaikan yang tinggi, lalu turun secara drastis pula namun amplitudonya kecil. Hal ini terjadi karena adanya refleksi fresnel. Sinar yang masuk akan diteruskan dan dipantulkan sebagian karena mengenai permukaan konektor akibat adanya celah udara. Untuk lebih jelasnya refleksi fresnel dibahas pada bab teori dasar serat optik
4. Titik B : menunjukkan jarak titik akhir ujung serat optik. Tampilan mirip dengan titik awal namun bentuk pulsa yang besar karena terjadi refleksi fresnel dengan udara sehingga setelah grafik naik drastis, turunnya grafik drastis pula bahkan mendekati titik terendah.

5. Titik C : menunjukkan konektor yang dilewati saat pengukuran ataupun titik sambung secara mekanis, bukan secara fusi. Grafiknya ditunjukkan dengan adanya kenaikan lalu penurunan tiba-tiba, hanya saja tidak sampai jatuh turunnya. Hal ini terjadi karena refleksi fresnel sehingga sebagian cahaya terpantul dan diterima OTDR.
6. Titik D : bisa menunjukkan suatu titik sambung atau *bending* pada bagian serat optik. Karena rugi-rugi seperti ini sama-sama bisa diakibatkan titik sambung maupun *bending*, sehingga perlu dilakukan analisa dengan melihat grafik hasil uji pada *core* yang lain.
7. Kotak-kotak segienam dibawah sumbu X : menunjukkan adanya *event-event* dimana terjadi perubahan daya sinyal yang sekiranya patut dicermati pada suatu jarak tertentu (dalam km). Sensitifitas penandaan ditentukan pada pengaturan *splice threshold*. Untuk *event* yang berwarna hitam menunjukkan bahwa kursor sedang menunjuk ke *event* yang ditunjuk dan perhitungan pada kotak di atas grafik (A-B), akan berubah menyesuaikan nilai yang terdapat pada *event*.
8. Grafik vertikal pada grafik : merupakan kursor atau penanda. Dengan kursor maka kita dapat mengetahui secara detail jarak suatu garis atau kurva yang ingin kita amati pada grafik. Bila itu suatu *event*, maka kita dapat mengetahui jaraknya tanpa melihat kabel. Kursor dapat diubah sesuai keinginan menggunakan tombol arah pada OTDR.
9. Kotak di atas grafik : menunjukkan jarak antara titik yang diukur (ditunjuk oleh kursor), total rugi-rugi antar titik tersebut (dB), dan rata-rata rugi-rugi per satuan panjang (dB/km). Sedang kotak disampingnya menunjukkan *level* tegangan *supply* OTDR.
10. Data grafik pasti disertai dengan data tabel. Fungsi data tabel adalah memberi informasi secara detail mengenai informasi *event* yaitu jarak *event*, jenis *event*, rugi-rugi komulatif (*loss cumulative*), dan lain sebagainya.

