

BAB III

LANDASAN TEORI

Pada bab tiga penulis menjelaskan tentang teori penunjang kerja praktek yang telah dikerjakan.

3.1. SERAT OPTIK (*FIBER OPTIC*)

3.1.1. SEJARAH *FIBER OPTIC*

Pada tahun 1917, dirinya menyampaikan sebuah teori tentang emisi terangsang (*Theory Stimulated Emission*), yang menyatakan mengenai keberadaan atom dalam tingkatan energi yang tinggi. Dimulai pada tahun 1950-an, perkembangan di bidang ilmu fisika mengalami kemajuan yang cukup pesat. Bermula dari *Charles Hard Townes*, lahir pada Tanggal 28 Juli 1915 di Greenville, Carolina Selatan. Seorang ahli fisika yang mengabdikan diri pada bidangnya dan punya kontribusi yang cukup besar dalam perkembangan teknologi, khususnya pada era Perang Dunia II. Pada tahun 1953, *Townes* menerapkan teori pendahulunya, dan untuk pertama kalinya mendesain *microwave amplification by stimulated emission of radiation* (maser). Maser, merupakan realisasi dari teori quantum bahwa, molekul dari gas ammonia dapat memperkuat dan menghasilkan gelombang (frekuensi 1,25 cm). Pada tahun 1957, *Townes* bersama ahli fisika *Arthur L. Schawlow* bekerja bersama-sama untuk pengembangan “maser” dan pada tahun 1958 mempublikasikan paper yang menjelaskan tentang konsep laser dengan menunjukkan bahwa “maser”

dapat dibuat untuk dioperasikan pada daerah infra merah dan optik (*light amplification by stimulated emission of radiation*).

Pada tahun 1960-an dimulai dengan ditemukannya laser pertama oleh *Theodore Maiman*, seorang fisikawan dan insinyur elektro di *Hughes Research Laboratories*, pada bulan Mei 1960, dengan menggunakan sebuah kristal batu rubi sintesis sebagai medium. Setelah rubi laser, banyak sekali ditemukan laser-laser lainnya. Laser uranium pertama ditemukan oleh IBM Labs pada bulan November 1960, *Helium-Neon Laser* ditemukan oleh Laboratorium Riset Bell dan *Ali Javan* serta koleganya *William Bennett, Jr.* pada tahun 1961, Semikonduktor laser pertama ditemukan oleh *Robert Hall* dari *General Electric Labs* pada tahun 1962, Nd:YAG laser dan CO₂ laser ditemukan pada tahun 1964 oleh *Bell Laboratories*, *Chemical laser* pada tahun 1965, Metal vapor laser di tahun 1966, dan masih banyak lagi ditemukannya laser-laser dari bahan lain.

Pada tahun 1966, *Charles Kao* dan *George Hockham*, peneliti dari *Standard Telecommunication Laboratories* Inggris, mempublikasikan *paper* yang mendemonstrasikan bahwa *fiber optic* dapat mentransmisikan sinar laser pertama dan apabila menggunakan jenis gelas yang sangat murni, dapat memperkecil redaman sinar. Dengan penemuan ini, kemudian para peneliti memfokuskan pada pembuatan dan pemurnian bahan gelas. Hingga tahun 1970, ilmuwan *Corning Glass Works*, yaitu *Donald Keck*, *Peter Schultz*, dan *Robert Maurer* melaporkan penemuan mengenai *fiber optic* yang memenuhi standar yang telah ditentukan oleh *Kao* dan *Hockham*. Gelas paling murni tersebut terdiri atas gabungan silika dalam tahap uap

dan mampu mengurangi redaman cahaya kurang dari 20 dB/Km. Pada tahun 1972, tim ini menemukan gelas dengan redaman cahaya hanya 4 dB/Km. Juga pada tahun 1970, *Morton Panish* dan *Izuo Hayashi* dari *Bell Laboratories* dengan tim *Ioffe Physical Institute* di Leningrad, mendemonstrasikan semikonduktor laser yang dapat dioperasikan pada temperatur ruang. Kedua penemuan tersebut merupakan terobosan dalam komersialisasi penggunaan *fiber optic*. Pada tahun 1973 Proses *Chemical vapor deposition* *John MacChesney* dan *Paul O. Connor* dari *Bell Laboratories* mengembangkan proses *chemical vapor deposition process* yang memanaskan uap kimia dan oksigen ke bentuk *ultra transparent glass* yang dapat diproduksi massal ke dalam *fiber optic* yang mempunyai redaman sangat kecil. Tahun 1975, Insinyur dari *Laser Diode Labs* mengembangkan semikonduktor laser komersial pertama yang dapat dioperasikan pada suhu kamar. Tahun 1977, Perusahaan telepon memulai penggunaan *fiber optic* untuk pertama kalinya yang membawa lalu lintas telepon. GTE membuka jalur antara Long Beach dan Artesia, California, yang menggunakan transmisi light-emitting diode. Bell Labs mendirikan sambungan yang sama pada sistem telepon di Chicago dengan jarak 1,5 mil di bawah tanah yang menghubungkan 2 *switching station*.

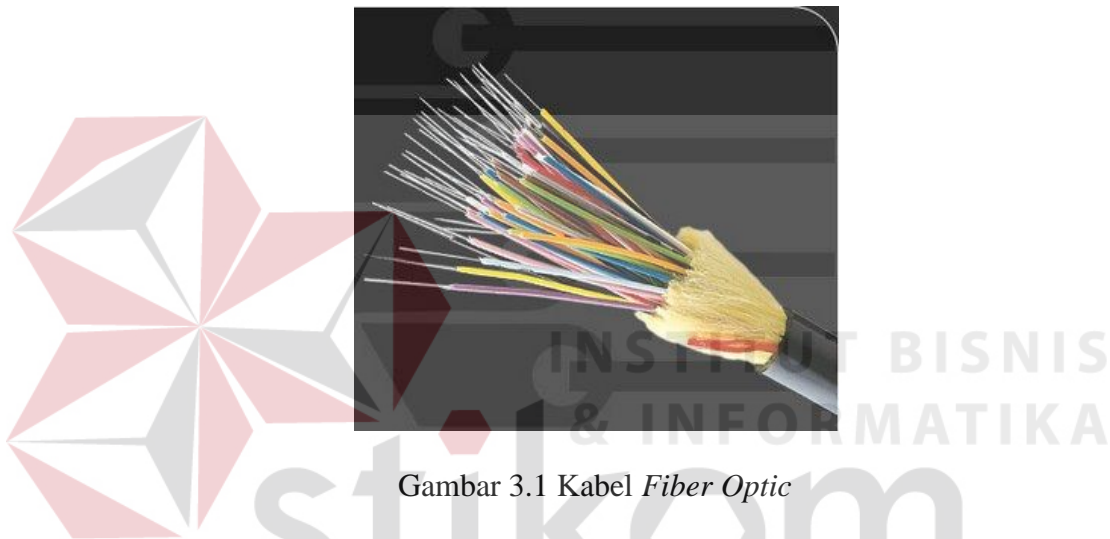
Pada tahun 1980 Sambungan *fiber optic* telah ada di kota-kota besar di Amerika, AT&T mengumumkan akan menginstal *fiber optic* yang menghubungkan kota kota antara Boston dan Washington D.C. Dua tahun kemudian, MCI mengumumkan untuk melakukan hal yang sama. Pada tahun 1987, “*Doped*” *fiber amplifiers*, *David Payne* dari *University of Southampton* memperkenalkan *fiber*

amplifiers yang dikotori oleh elemen erbijum. *Optical amplifiers* baru ini mampu menaikkan sinyal cahaya tanpa harus mengkonversikan terlebih dahulu ke dalam energi listrik. Tahun 1988, *Fiber-Optic Cable Translantic* yang pertama ditemukan dengan menggunakan *fiber glass* yang sangat transparan sehingga *repeater* hanya dibutuhkan ketika sudah mencapai 40 mil. Tahun 1991, *Optical Amplifiers Emmanuel Desurvire* di *Bell Laboratories* serta *David Payne* dan *P. J. Mears* dari *University of Southampton* mendemonstrasikan *optical amplifiers* yang terintegrasi dengan kabel *fiber optic* tersebut. Keuntungannya adalah dapat membawa informasi 100 kali lebih cepat dari pada kabel *electronic amplifier*. Tahun 1996, *optic fiber cable* yang menggunakan *optical amplifiers* ditaruh di samudera pasifik TPC-5, yang merupakan *fiber optic* pertama yang menggunakan *optical amplifiers*. Kabel ini melewati samudera pasifik mulai dari San Luis Obispo, California, ke Guam, Hawaii, dan Miyazaki, Japan, dan kembali ke Oregon Coast dan mampu untuk menangani 320,000 panggilan telepon. Tahun 1997, Kabel *fiber optic* telah menghubungkan seluruh dunia, *Fiber Optic Link Around the Globe (FLAG)* menjadi jaringan kabel terpanjang di seluruh dunia yang menyediakan infrastruktur untuk generasi internet terbaru.

Sedangkan sejarah fiber optic di Indonesia diawali dan dimotori oleh BPPT (IPTEK-NET), UI, LAPAN & ITB, kegiatan ini dimulai pada tahun 1992. Selang beberapa tahun kemudian, berkembang jaringan yang lebih profesional dan komersial yang dilakukan oleh beberapa operator jaringan.

3.1.2. STRUKTUR DASAR *FIBER OPTIC*

Fiber optic adalah saluran transmisi yang terbuat dari kaca atau plastik yang digunakan untuk mentransmisikan sinyal cahaya dari suatu tempat ke tempat lain. Berdasarkan mode transmisi yang digunakan *fiber optic* terdiri atas Multimode Step Index, Multimode Graded Index, dan Singlemode Step Index. Bentuk kabel *fiber optic* seperti pada Gambar 3.1.

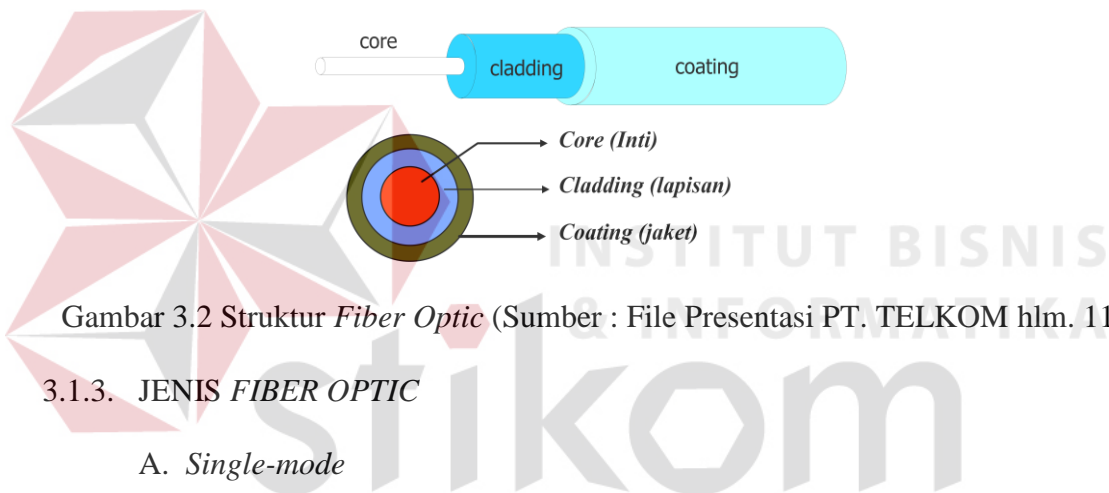


Gambar 3.1 Kabel *Fiber Optic*

Fiber optic pada umumnya memiliki struktur dasar yang terdiri dari inti serat (*core*), pelapis serat (*cladding*), dan lapisan pelindung (*coating*) yang terdiri atas inner jacket. *Core* terbuat dari bahan kuarsa dengan kualitas yang sangat tinggi berdiameter sebesar 9,3 μm dengan indeks bias $n=1,48$, *core* berfungsi untuk menentukan cahaya merambat dari satu ujung ke ujung lainnya. Kabel *fiber optic* memiliki urutan warna *core cable* yang harus diperhatikan agar tidak terjadi kesalahan saat pemasangan. Urutan warna *core cable*-nya adalah biru, oranye, hijau, coklat, abu-abu, putih, merah, hitam, kuning, ungu, pink, tosca (mirip biru muda). *Cladding* terbuat dari bahan *glass* (kaca/silika) berdiameter sebesar 125 μm dengan

indeks bias $n=1,46$, *cladding* berfungsi sebagai cermin, yakni memantulkan cahaya agar dapat merambat ke ujung lainnya. *Coating* terbuat dari bahan plastik yang berfungsi sebagai pelindung mekanis sebagai pengkodean warna.

Hubungan indeks bias antara *core* dan *cladding* akan mempengaruhi perambatan cahaya pada *core* (mempengaruhi besarnya sudut kritis) sehingga indeks bias (n) *core* harus selalu lebih besar daripada indeks bias *cladding* ($n_c > n_d$). Bentuk struktur dasar *fiber optic* dapat dilihat pada Gambar 3.2.



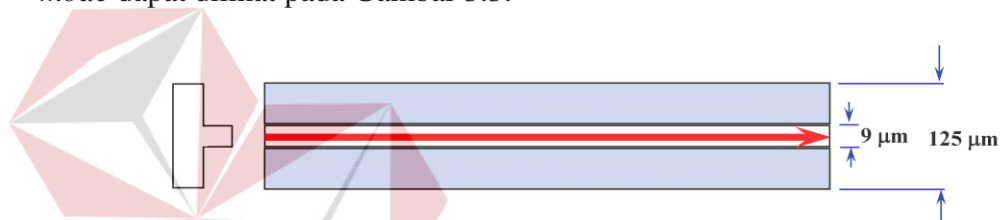
Gambar 3.2 Struktur *Fiber Optic* (Sumber : File Presentasi PT. TELKOM hlm. 11)

3.1.3. JENIS *FIBER OPTIC*

A. *Single-mode*

Single-mode adalah sebuah sistem transmisi data berwujud cahaya yang didalamnya hanya terdapat satu buah indeks sinar tanpa terpantul yang merambat sepanjang media tersebut dibentang sehingga hanya mengalami sedikit gangguan. *Single-mode* dilihat dari segi strukturalnya merupakan teknologi *fiber optic* yang bekerja menggunakan inti (*core fiber*) yang berukuran sangat kecil yang diameternya berkisar 8 sampai 10 μm . Dengan ukuran *core fiber* yang sangat kecil, sinar yang mampu dilewatkan hanya satu mode sinar dengan panjang gelombang 1310 nm atau 1550 nm. *Single-mode* dapat membawa data dengan *bandwidth* yang lebih besar

dibandingkan dengan *multi-mode fiber optic*, tetapi teknologi ini membutuhkan sumber cahaya dengan lebar spektral yang sangat kecil dan ini berarti sebuah sistem yang mahal. *Single-mode* dapat membawa data lebih cepat dan 50 kali lebih jauh dibandingkan dengan *multi-mode*. *Core* yang digunakan *single-mode* lebih kecil dari *multi-mode*, dengan demikian gangguan-gangguan di dalamnya akibat distorsi dan *overlapping* pulsa sinar menjadi berkurang. sehingga *single-mode fiber optic* menjadi lebih reliabel, stabil, cepat, dan jauh jangkauannya. Untuk model pembiasan *single-mode* dapat dilihat pada Gambar 3.3.



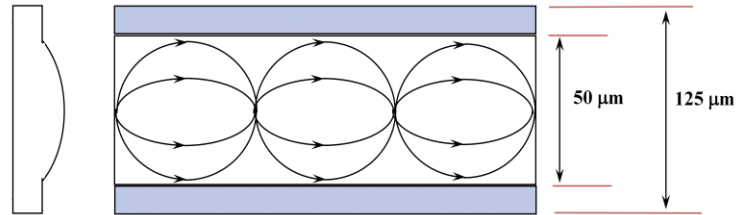
Gambar 3.3 Model Pembiasan *Single-mode* (Sumber : File Presentasi PT. TELKOM hlm. 16)

B. *Multi-mode*

Multi-mode fiber optic merupakan teknologi transmisi data melalui media *fiber optic* dengan menggunakan beberapa buah indeks cahaya di dalamnya. Cahaya yang dibawa akan mengalami pemantulan berkali-kali hingga sampai di tujuan. Sinyal cahaya dalam teknologi *multi-mode fiber optic* dapat dihasilkan hingga 100 mode cahaya. Banyaknya mode yang dapat dihasilkan oleh teknologi ini bergantung dari besar kecilnya ukuran *core fiber* dan sebuah parameter yang diberi nama *Numerical Aperture (NA)*. Dengan semakin besarnya ukuran *core* dan membesarnya *NA*, maka jumlah mode di dalam komunikasi ini juga bertambah.

Dilihat dari faktor strukturalnya, teknologi *multi-mode* merupakan teknologi *fiber optic* yang menggunakan ukuran *core* yang cukup besar dibandingkan dengan *single-mode*. Ukuran *core* kabel *multi-mode* secara umum adalah berkisar antara 50 μm sampai dengan 100 μm . Biasanya ukuran NA yang terdapat di dalam kabel *multi-mode* pada umumnya adalah berkisar antara 0,20 hingga 0,29. Ukuran *core* yang besar dan NA yang tinggi membawa beberapa keuntungan, yaitu sinar informasi akan bergerak dengan lebih bebas di dalam kabel *fiber optic* tersebut. Ukuran besar dan NA tinggi juga mempermudah dalam melakukan penyambungan *core* tersebut jika perlu disambung. Di dalam penyambungan atau yang lebih dikenal dengan istilah *splicing*, keakuratan dan ketepatan posisi antara kedua *core* yang ingin disambung menjadi hal yang tidak begitu kritis terhadap lajunya cahaya data. Keuntungan lainnya, teknologi ini memungkinkan penggunaan LED sebagai sumber cahayanya, sedangkan *single-mode* harus menggunakan laser sebagai sumber cahayanya. Namun, teknologi ini juga memiliki kekurangan yaitu ketika jumlah dari mode tersebut bertambah, pengaruh dari *efek modal dispersion* juga meningkat. *Modal dispersion* adalah sebuah efek yang disebabkan karena mode-mode cahaya yang berjumlah banyak tersebut tiba di ujung penerimanya dengan waktu yang tidak sinkron satu dengan yang lainnya. Perbedaan waktu ini akan menyebabkan pulsa-pulsa cahaya menjadi tersebar penerimaannya. Pengaruh yang ditimbulkan dari efek ini adalah *bandwidth* yang dicapai tidak dapat meningkat, sehingga komunikasi tersebut menjadi terbatas *bandwidth*-nya. Maka dari itu perlu adanya modifikasi sedemikian rupa terhadap kabel yang dibuatnya sehingga *bandwidth* yang dihasilkan

oleh *multi-mode fiber optic* ini menjadi maksimal. Model pembiasan *multi-mode* seperti pada Gambar 3.4.



Gambar 3.4 Model Pembiasan *Multi-mode* (Sumber : File Presentasi PT. TELKOM hlm. 15)

3.1.4. SISTEM KOMUNIKASI *FIBER OPTIC*

Fiber optic memiliki keunggulan yang signifikan dibandingkan media transmisi kawat konvensional. Keunggulan tersebut antara lain adalah:

- Rugi transmisi rendah
- *Bandwidth* lebar
- Ukuran kecil dan ringan
- Tahan gangguan elektromagnetik dan elektrik

Untuk itu biasanya *fiber optic* digunakan untuk media transmisi sinyal digital. Untuk pemilihan *fiber optic* memiliki pilihan *single-mode* atau *multi-mode* dan pilihan antara *step index* atau *graded index*. Pemilihan ini tergantung jenis sumber cahaya yang digunakan dan besarnya dispersi maksimum yang diijinkan. Untuk sumber cahaya *Light Emitting Diode* (LED), biasanya digunakan serat *multi-mode*, meskipun LED jenis *edgeemitting* bisa digunakan dengan serat *single-mode* dengan laju sampai 560 Mbps sepanjang beberapa kilometer. Untuk laser dioda, bisa digunakan *single-*

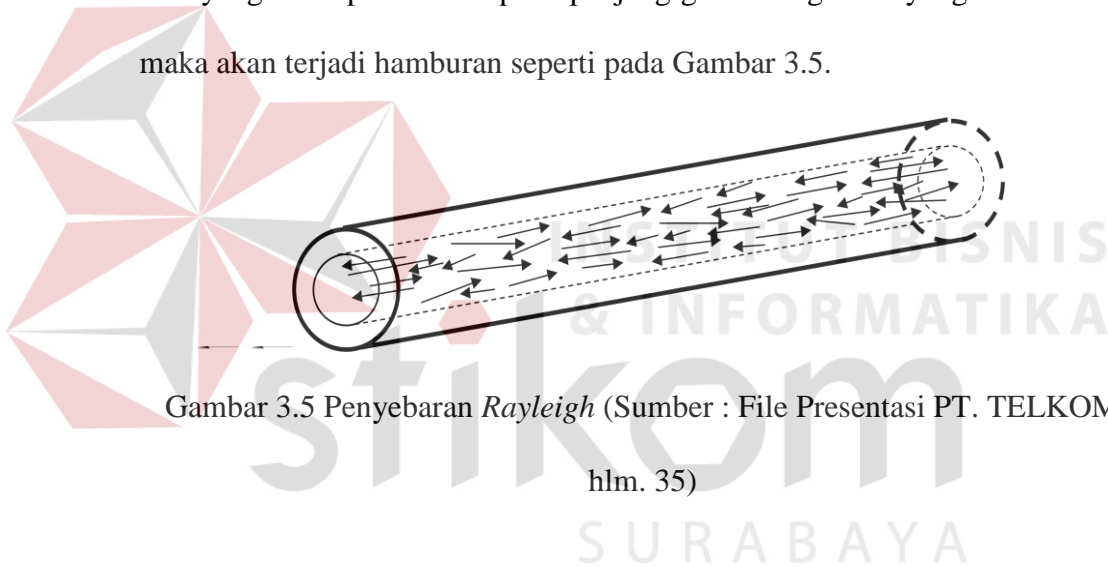
mode atau *multi-mode*. Serat *single-mode* mampu menyediakan produk laju data-jarak yang sangat bagus (mampu mencapai 30 Gbps/km).

3.1.5. RUGI-RUGI DAN DISPERSI DI DALAM *FIBER OPTIC*

3.1.5.1. Rugi-rugi di dalam *fiber optic*

A. Rugi-rugi Penyebaran *Rayleigh*

Penyebaran *Rayleigh* terjadi sebagai akibat tidak homogenya indeks bias pada *core fiber optic*. Apabila pada *core fiber optic* terjadi perubahan indeks bias yang lebih pendek daripada panjang gelombang sinar yang dirambatkan, maka akan terjadi hamburan seperti pada Gambar 3.5.



Gambar 3.5 Penyebaran *Rayleigh* (Sumber : File Presentasi PT. TELKOM hlm. 35)

Rumus yang digunakan untuk rugi-rugi penyebaran *rayleigh*, sebagai berikut:

$$S = \frac{34,748 \pi^3 (n^2 - 1)^2 k_B T_f \beta_T}{\lambda^4}$$

Keterangan:

S = Rugi-rugi *Rayleigh* (dB)

β_T = Koefisien kemampatan isothermis bahan = $7 \cdot 10^{-11} \text{ m}^2/\text{N}$

n = Indeks bias inti = 1.46

k_B = Konstanta *Boltzman* = $1.38 \times 10^{-23} \text{ Joule}^0\text{K}$

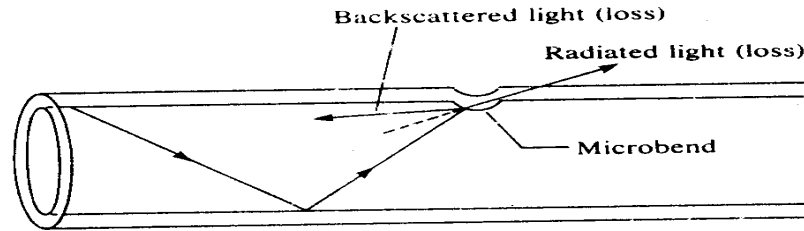
T_f = Suhu dimana fluktuasi kerapatan melebur dalam glass = 1400K

λ = Panjang gelombang (m).

B. Rugi-rugi Pembengkokan (*Bending Losses*)

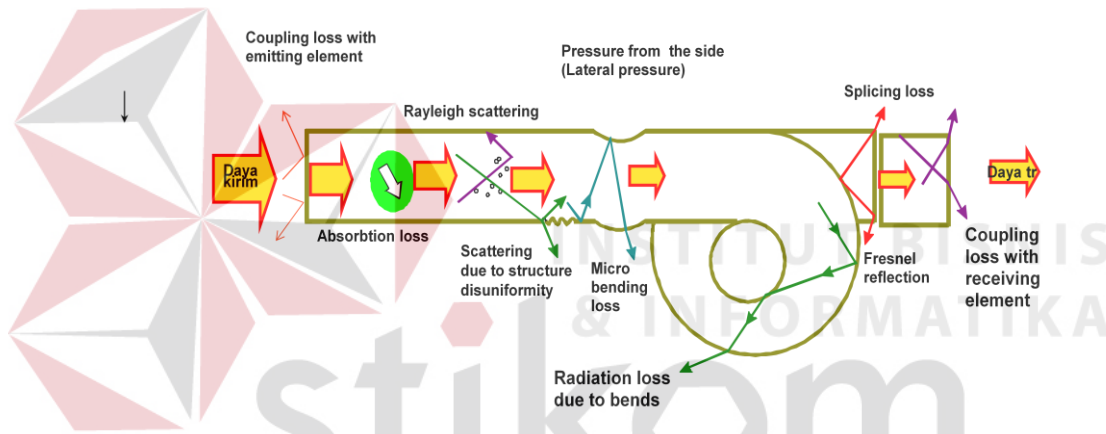
Ada dua jenis pembengkokan yang menyebabkan rugi-rugi dalam *fiber optic* yaitu pembengkokan-mikro (*microbending*) dan pembengkokan-makro (*macrobending*). Keduanya timbul karena alasan yang berbeda, dan menimbulkan rugi-rugi dengan dua macam mekanisme yang berbeda pula. Pembengkokan mikro adalah suatu pembengkokan mikroskopis dari inti *fiber* yang disebabkan oleh laju penyusutan (*contraction*) thermal yang sedikit berbeda antara bahan inti dan bahan pelapis. Pembengkokan mikro dapat juga timbul bila *fiber* berulang kali digulung menjadi suatu serat kabel majemuk (*multi-fiber cable*), atau bila digulung pada kelos-kelos untuk memudahkan pengangkutannya. Semakin tajam belokan itu dibuat, semakin banyak pula ragam-ragam yang terlepas pada belokan. Pembengkokan makro adalah pelengkungan *fiber optic*.

Bentuk pembengkokan *microbending* dan pembengkokan *macrobending* seperti pada Gambar 3.6 dan Gambar 3.7.



Gambar 3.6 Pembengkokan *Microbending* (Sumber : File Presentasi PT.

TELKOM hlm. 35)



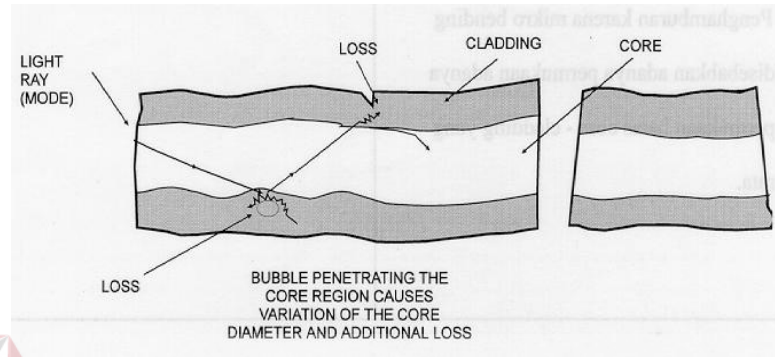
Gambar 3.7 Pembengkokan *Macro bending* (Sumber : File Presentasi PT.

TELKOM hlm. 37)

C. Rugi-rugi Penggandengan Ragam (*Mode Coupling Losses*)

Daya yang sudah dilepaskan dengan baik ke dalam suatu ragam yang merambat mungkin kemudian digandengkan ke dalam suatu ragam bocor atau ragam radiasi pada sebuah titik yang agak jauh pada *fiber*. Efek penggandengan ini dapat terjadi karena rugi-rugi ini timbul pada saat *fiber optic* disambungkan dengan sumber cahaya atau *photo detector*. Rugi-rugi *coupling* dapat diperkecil dengan penambahan lensa di depan sumber cahaya

atau pembentukan permukaan tertentu (misalnya *spherical-surface*) pada sumber cahaya atau ujung *fiber*. Bentuk rugi-rugi *mode coupling* seperti pada Gambar 3.8.



Gambar 3.8 *Mode Coupling Losses* (Sumber : File Presentasi PT. TELKOM

hlm. 36)

Untuk persamaan rugi-rugi penggantian ragam secara umum adalah sebagai berikut:

$$L = -10 \log \mu$$

Dimana μ didapat dari persamaan:

$$\mu = \frac{P_{in}}{P_{out}}$$

Apabila yang diketahui η , maka menggunakan persamaan:

$$L = -10 \log \eta$$

Dimana η didapat dari persamaan:

$$\eta = \frac{2}{\pi} \left[\cos^{-1} \left(\frac{d}{2a} - \frac{d}{2a} \sqrt{1 - \left(\frac{d}{2a} \right)^2} \right) \right]$$

Keterangan:

L = Rugi-rugi (dB)

P_{in} = Daya yang dimasukkan ke dalam *fiber optic* (Watt)

P_{out} = Daya yang dipancarkan oleh sumber cahaya (Watt)

μ, η = Efisiensi penyambungan

d = Lebar antara sambungan (μm)

a = Lebar kabel *fiber* (cm)

D. Rugi-rugi Penyambungan

Rugi-rugi penyambungan dengan *fusion splice*. Rugi-rugi ini ditimbulkan sebagai akibat tidak sempurnanya kegiatan penyambungan (*splice*) sehingga sinar dari *fiber optic* yang satu tidak dapat dirambatkan seluruhnya ke dalam serat yang lainnya. Beberapa kesalahan penyambungan yang menimbulkan rugi-rugi:

- Sambungan kedua *fiber optic* membentuk sudut
- Sumbu kedua *fiber optic* tidak sejajar
- Sumbu kedua *fiber optic* berimpit namun masih ada celah diantaranya
- Ada perbedaan ukuran antara kedua *fiber optic* yang disambung

E. Rugi-rugi Penyerapan Bahan

Tiga mekanisme yang berbeda memberikan sumbangannya pada rugi-rugi penyerapan (*absorption losses*) dalam *fiber glass*. Ini adalah berturut-turut penyerapan ultraviolet, penyerapan infra merah, dan penyerapan resonansi ion.

3.1.5.2. Dispersi *fiber optic*

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

1. Dispersi Antar Ragam

Timbulnya dispersi antar ragam karena alur 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

Dispersi bahan terjadi 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.

3.1.6. ATENUASI DI DALAM *FIBER OPTIC*

Atenuasi mengacu pada pelemahan sinyal selama perjalanan melalui kabel *fiber optic*. Atenuasi biasanya disebut sebagai *roll off*. Selama sinyal mengalir melalui kawat, gelombang kotaknya berubah bentuk sejauh ia mengalir. Jadi, atenuasi sebenarnya adalah fungsi dari panjang kabel. Jika sinyal mengalir terlalu jauh, maka bisa menurunkan kualitasnya sehingga stasiun penerimanya tidak mampu lagi menginterpretasikan dan komunikasi akan gagal. Dalam arti lain atenuasi adalah

melemahnya sinyal yang diakibatkan oleh adanya jarak yang semakin jauh yang harus ditempuh oleh suatu sinyal dan juga makin tingginya frekuensi sinyal tersebut.

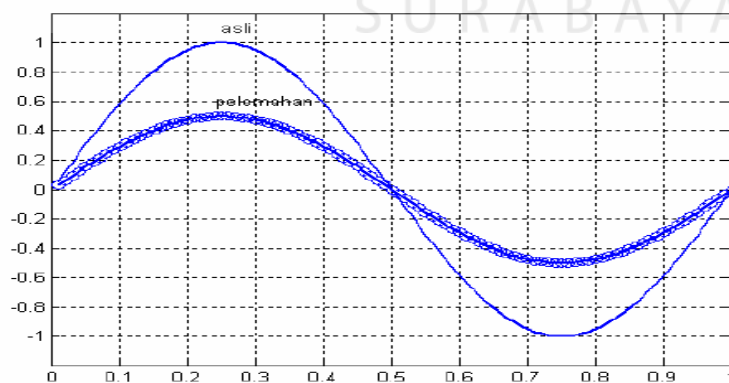
Dalam bentuk operasi matematik sebagai pendekatannya, peristiwa ini dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$y(t) = att x(t)$$

Dalam hal ini nilai $att < 1$, yang merupakan konstanta pelemahan yang terjadi. Kejadian tersebut sering muncul pada sistem transmisi, dan munculnya konstanta pelemahan dihasilkan oleh berbagai proses yang cukup kompleks dalam suatu media transmisi. Besarnya nilai konstanta sinyal $amp > 1$, dan penguatan sinyal seringkali dinyatakan dalam besaran *deci Bell*, yang didefinisikan sebagai:

$$amp_dB = 10 \log (\text{output} / \text{input})$$

Dalam domain waktu, bentuk sinyal asli dan setelah mengalami penguatan adalah seperti Gambar 3.9.



Gambar 3.9 Pelemahan Sinyal

Pada Gambar 3.9 dapat dilihat bahwa proses penguatan dan pelemahan sinyal merupakan dua hal yang hampir sama. Dalam penguatan sinyal amplitudo sinyal *output* lebih tinggi dibanding sinyal *input*, sementara pada pelemahan sinyal amplitudo sinyal *output* lebih rendah dibanding sinyal *input*. Tetapi pada kedua proses operasi tersebut bentuk dasar sinyal tidak mengalami perubahan.

3.1.7. SUMBER CAHAYA *FIBER OPTIC*

Sumber cahaya untuk *fiber optic* adalah laser atau LED. Laser atau LED merupakan alat yang memancarkan cahaya pada frekuensi-frekuensi tertentu, karena dalam operasinya, elektron-elektron yang dipicu (*excited*) yang bebas untuk menghantarkan berkombinasi kembali (*recombine*) dengan lubang-lubang (*holes*) dan masing-masing melepaskan sebuah foton cahaya dalam proses tertentu. Foton cahaya ini adalah hasil dari konversi energi potensial elektron, ketika elektron tersebut terjebak oleh atom yang mengandung lubang. Spektrum cahaya dinyatakan dalam panjang gelombang dan bukannya frekuensi, tetapi keduanya dihubungkan oleh persamaan

$$f = \frac{c}{\lambda_0}$$

Keterangan :

f = Frekuensi (Hz)

c = Kecepatan Cahaya = 3×10^8 m s⁻¹

λ = Panjang Gelombang (m)

3.2. OPTICAL TIME DOMAIN REFLECTOMETER (OTDR)

3.2.1. PENGENALAN OTDR

OTDR merupakan instrument opto-elektronik yang digunakan untuk mengkarakterisasi sebuah *fiber optic* dengan menyuntikkan deretan pulsa-pulsa optik ke dalam *fiber optic* yang dites dan juga mengambil (dari *fiber optic* yang sama) cahaya yang terhambur (*Rayleigh Backscatter*) atau dipantulkan kembali dari titik-titik di sepanjang *fiber optic*. Kuatnya pulsa yang kembali kemudian diukur dan diintegrasikan sebagai fungsi waktu, lalu diplot sebagai fungsi dari panjang *fiber optic*. OTDR dapat digunakan untuk memperkirakan panjang *fiber optic* dan atenuasi secara keseluruhan, termasuk *splice* dan rugi-rugi pada konektor. OTDR juga dapat digunakan untuk mencari letak kerusakan seperti perpatahan dan juga mengukur *return loss optical*. Untuk mengukur peredaman dari beberapa serat, maka diperlukan memeriksa satu-satu kemudian merata-ratakan hasilnya.

Sebagai tambahan dari peralatan optik dan elektronik yang khusus, OTDR juga mempunyai kemampuan menghitung yang cukup baik dan tampilan grafik, sehingga dapat menghasilkan otomatisasi tes yang berarti. Bagaimanapun, untuk mengoperasikan peralatan dengan tepat dan melakukan interpretasi dari sebuah jejak OTDR, diperlukan pelatihan teknis secara khusus dan pengalaman.

OTDR umumnya digunakan untuk mengkarakterisasi rugi-rugi dan panjang dari serat optik saat dikirim dari manufaktur awal, menuju pengkabelan, penyimpanan saat digulung dengan drum, instalasi, dan *splicing*. Hasil tes OTDR

selalu disimpan dengan seksama, untuk berjaga-jaga jika sewaktu-waktu terjadi kegagalan serat optik ataupun untuk klaim garansi.

OTDR sering juga digunakan untuk mencari kegagalan dari sistem yang sudah terpasang. Dalam hal ini, acuan berupa jejak OTDR saat instalasi sangat berguna untuk menentukan dimana perubahan telah terjadi. Penggunaan OTDR untuk mencari letak kegagalan memerlukan operator berpengalaman yang dapat menentukan pengaturan instrumen yang tepat untuk mencari solusi masalah yang benar. Hal ini terutama diperlukan untuk masalah-masalah yang berkaitan dengan jarak yang jauh dan *splice* atau konektor yang jaraknya saling berdekatan.

OTDR tersedia dengan bermacam-macam jenis serat optik dan panjang gelombang, untuk menyesuaikan dengan aplikasi yang umum. Biasanya, pengetesan OTDR dengan panjang gelombang yang lebih panjang seperti 1550 nm atau 1625 nm dapat digunakan untuk mengidentifikasi atenuasi serat optik yang disebabkan oleh masalah serat optik.

Jarak dinamik optikal dari OTDR dibatasi dengan kombinasi dari daya keluaran pulsa optikal, lebar pulsa optikal, sensitivitas input, dan waktu integrasi sinyal. Semakin tinggi daya optis keluaran, semakin baik sensitivitas input, dan berhubungan secara langsung dengan rentang pengukuran yang semakin jauh. Daya keluaran pulsa optikal ini biasanya merupakan fitur yang tidak dapat diubah-ubah. Tetapi, lebar pulsa optikal dan waktu integrasi sinyal dapat diatur oleh pengguna. Dalam hal ini, berlaku *trade-off* yang membuatnya spesifik pada aplikasi tertentu.

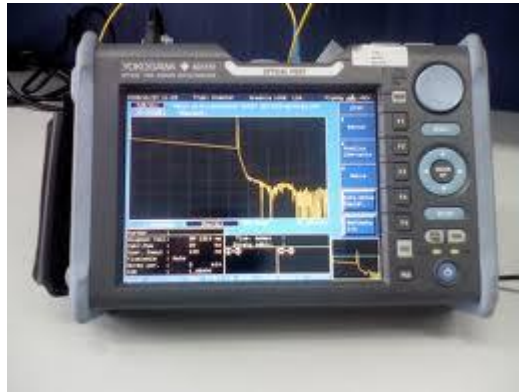
Pulsa laser yang lebih panjang memperbagus rentang dinamik dan resolusi pengukuran atenuasi dengan mengorbankan resolusi jarak. Sebagai contoh, dengan menggunakan pulsa yang panjang, dapat mengukur atenuasi pada jarak lebih dari 100 km. Tetapi, dalam kasus ini peristiwa optikal hanya dapat muncul pada jarak lebih dari 1 km. Skenario ini berguna untuk karakterisasi link secara keseluruhan, tetapi akan kurang berguna untuk mencari kerusakan. Pulsa yang pendek akan memperbaiki resolusi jarak dari peristiwa optikal, tetapi juga mengurangi rentang pengukuran dan resolusi pengukuran atenuasi.

Pada suatu hubungan serat optik, terutama pada jarak yang sangat panjang, pasti terdapat berbagai macam cacat yang disebabkan karena banyak faktor.

Cacat-cacat yang dapat dideteksi OTDR yaitu:

1. Kontaminasi
2. Celah udara
3. Jenis serat yang berbeda
4. Pergeseran lateral
5. *Microbending*
6. *Macrobending*

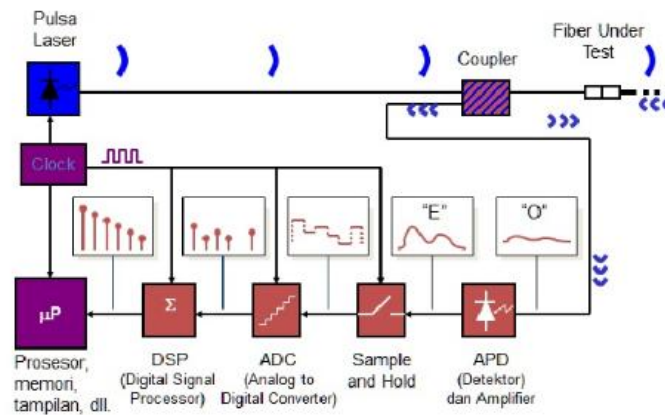
Alat OTDR dapat dilihat pada Gambar 3.10.



Gambar 3.10 *Optical Time Domain Reflectometer (OTDR)*

3.2.2. PRINSIP KERJA OTDR

OTDR memancarkan laser berdaya tinggi dengan menggunakan *clock* tertentu, melalui *coupler*, menuju serat optik yang sedang dites. Kemudian di dalam serat optik terjadi fenomena *backscatter*, sehingga menyebabkan ada sebagian cahaya yang terpencar dan kembali menuju *coupler*. Dari *coupler*, sinyal optik yang lemah tersebut menuju *Avalanche Photodiode (APD)* dan amplifier untuk dideteksi sekaligus dikuatkan dalam wujud sinyal elektrik. Sinyal elektrik yang sudah lebih kuat tersebut menuju *sample and hold* yang mampu mengambil sampel dari sinyal yang secara terus menerus berubah dan menahan (mengunci) nilainya pada level yang konstan selama periode waktu tertentu. Setelah didapatkan sinyal yang nilainya sudah konstan, sinyal menuju *Analog to Digital Converter (ADC)* untuk mengubah sinyal analog menjadi sinyal digital agar dapat diproses lebih lanjut. Sinyal digital tersebut kemudian menuju *Digital Signal Processor (DSP)* untuk diproses. Hasil proses dari DSP kemudian masuk ke prosesor dan memori untuk kemudian ditampilkan pada layar OTDR. Prinsip kerja pada OTDR seperti pada Gambar 3.11.



Gambar 3.11 Prinsip Kerja Pada OTDR (Sumber :

www.scribd.com/doc/47073894/41/Prinsip-Kerja-OTDR)

3.2.3. PARAMETER-PARAMETER KUNCI OTDR

Untuk dapat menganalisis sistem komunikasi serat optik dengan menggunakan OTDR, diperlukan parameter-parameter kunci pada OTDR yaitu :

1. Panjang gelombang, digunakan cahaya dengan panjang gelombang 850 nm, 1300 nm, 1310 nm, 1550 nm.
2. Rentang, untuk mendapatkan tampilan grafik yang baik, umumnya digunakan pengaturan rentang pengukuran sepanjang 1,5 kali panjang link.
3. Lebar pulsa, dibagi menjadi 2 jenis, yaitu :
 - a. Pulsa sempit, digunakan untuk menemukan peristiwa-peristiwa yang jaraknya saling berdekatan, mempunyai tingkat ketelitian yang tinggi, tetapi terbatas untuk jarak link yang pendek.
 - b. Pulsa lebar, tidak dapat membedakan peristiwa-peristiwa yang berdekatan, tetapi mampu mengukur jarak link yang panjang.

4. Jumlah rata-rata, hasil jejak yang diperoleh OTDR merupakan hasil rata-rata dari ratusan atau ribuan pulsa yang ditangkap OTDR. Terjadi *trade off* antara waktu yang diperlukan untuk pengukuran dengan kualitas jejak. Pada umumnya, semakin lama banyak pulsa yang dirata-ratakan, semakin halus jejak yang diperoleh. Tetapi jika sudah terlalu lama dilakukan rata-rata, maka jejak yang diperoleh akan sama saja / tidak bertambah baik.

3.3. ALAT PENYAMBUNG *FIBER OPTIC* (*SPLICER*)

Penyambungan kabel optik dikenal dengan istilah *splicing*, Dalam penyambungan *fiber optic* diperlukan alat khusus yaitu *splicer*. Terdapat 2 metode dalam penyambungan optik yaitu *fusion splicing* dan *mechanical splicing*. *Fusion splicing* memiliki redaman lebih kecil yaitu sekitar 0.1 dBm dibandingkan *Mechanical splicing* yang mencapai 0.5 sampai 0.75 dbm di setiap sambungannya. *Fusion splicing* melakukan penyambungan dengan cara menyelaraskan / meluruskan kedua ujung serat optik yang ingin disambung, memanaskan dan melebur nya hingga menjadi 1 bagian yang tersambung. *Fusion splicer* menggunakan *nichrome wire*, laser CO₂ atau gas api untuk melelehkan *fiber optic* yang ingin disambung.

Dengan semakin canggih teknologi terdapat *fusion splicer* yang mampu melakukan *splicing* sampai 24 *core* bersamaan. Bentuk splicer seperti pada Gambar 3.12.



Gambar 3.12 *Splicer* (Sumber : www.vembazax.com/wp-content/uploads/2011/03/fujikura-splicer.jpg)

3.4. **OPTICAL POWER METER**

Digunakan untuk mengukur panjang gelombang dan *power* dari sinyal optik. Dari informasi *power* yang diterima, seorang engineer dapat mengetahui apakah kualitas *power* masih dalam spesifikasi perangkat yang digunakan atau tidak, dan dapat digunakan untuk mensegmentasi permasalahan untuk men-*trace* apakah sumber masalah dari SFP yang *power*-nya sudah lemah, *Patch cord* yang bermasalah dan *core* yang berada pada ODF / OTB atau dari lintasan optik yang membentang di luar sana. Bentuk dari *power meter* seperti pada Gambar 3.13.



Gambar 3.13 *Power Meter*

3.5. OPTICAL CONNECTOR

Optical connector digunakan untuk menyambungkan dua ujung fiber optik, yang digunakan pada titik-titik *fiber* berakhir pada pemancar dan penerima. Karena sebuah *fiber* harus selalu berakhir pada sebuah pemancar di salah satu ujungnya dan pada sebuah penerima di ujung yang lain sehingga terdapat rugi pada konektor.

Faktor yang mempengaruhi rugi dalam konektor pada suatu panjang kabel, yaitu:

1. Ketidaksesuaian ukuran inti
2. Kesalahan letak inti melintang
3. Pemisahan celah memanjang
4. Rugi-rugi celah optis
5. Kesalahan letak sudut
6. Persiapan ujung fiber yang tidak sempurna
7. Kotoran.

Beberapa jenis *optical connector* dapat dilihat pada Gambar 3.14.



Gambar 3.14 Jenis-jenis *Optical Connector* (Sumber :

www.vembazax.com/wp-content/uploads/2011/03/CONNECTOR-Optic.jpg)

Redaman dari *optical connector fiber optic* didefinisikan sebagai berikut

$$A = -10 \log [P_{\text{out}}/P_{\text{in}}]$$

Keterangan :

A = Atenuasi (dB)

P_{in} = Daya optik sebelum titik koneksi (Watt)

P_{out} = Daya optik setelah titik koneksi (Watt).

3.6. SMALL FORM PLUGABLE (SFP)

merupakan *hot-pluggable transceiver* yaitu *device* yang mengirim dan menerima sinyal informasi dengan media *fiber optic*. SFP dipasang pada *port* pada modul sebuah perangkat komunikasi data / telco. *Hot-pluggable* artinya *device* ini akan *auto-detect* saat dipasang pada perangkat. Spesifikasi dari SFP bergantung pada panjang gelombang yang dibutuhkan yang berhubungan dengan jarak transmisi, besar *bandwidth* yang sanggup diantarkan dalam satu waktu, jenis / tipe *connector* (LC / SC) dan bekerja pada *single-mode* atau *multi-mode*.

Spesifikasi ini harus dipatuhi dalam implementasinya, bila tidak dapat menyebabkan kerusakan pada SFP atau sinyal transmisi tidak dapat diterima dengan baik. Spesifikasinya seperti berikut :

1. 850 nm sampai 550m, *multi-mode fiber* (SX)
2. 1310 nm sampai 10 km, *single-mode fiber* (LX)
3. 1490 nm-10 km, *single-mode fiber* (BS-D)
4. 1550 nm sampai 40 km (XD), 80 km (ZX), 120 km (EX or EZX)
5. 1490 nm 1310 nm (BX), *Single Fiber Bi-Directional Gigabit SFP Transceivers*

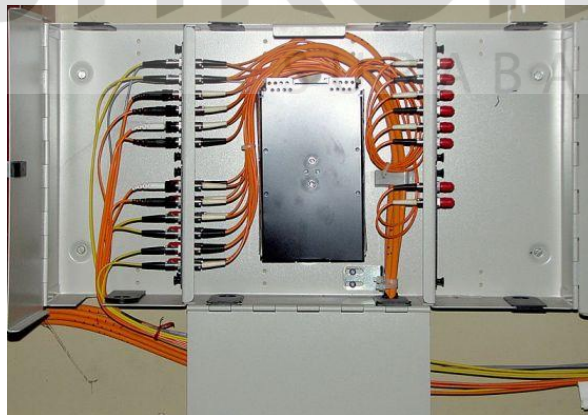
Pada SFP terdapat *Transmit* (Tx) dan *Receive* (Rx). Transmit di perangkat A harus bertemu dengan *Receive* di perangkat B, dan sebaliknya. Bentuk SFP dapat dilihat pada Gambar 3.15.



Gambar 3.15 SFP (Sumber : www.vembazax.com/wp-content/uploads/2011/03/sfp1.jpg)

3.7. OPTICAL TERMINATION BOX (OTB)

Optical Terminal Box atau yang sering disebut OTB digunakan untuk menghubungkan kabel *fiber optic indoor* maupun *outdoor* dan *patchcord*. OTB dapat dipasang di dinding maupun tiang. Bentuk OTB seperti pada Gambar 3.16.



Gambar 3.16 OTB

3.8. ADD DROP MULTIPLEXER (ADM)

Add Drop Multiplexer atau disebut juga dengan ADM merupakan elemen penting dari sebuah jaringan *fiber optic*. Sebuah multiplexer mengkombinasikan atau memultiplexikan beberapa aliran *bandwidth* rendah menjadi satu. Sebuah ADM juga memiliki kemampuan untuk menambah satu atau lebih *bandwidth* yang lebih rendah menjadi aliran data *bandwidth* yang tinggi dan pada saat yang bersamaan mengarahkannya ke beberapa jaringan yang lain. Keluaran dari ADM dapat berupa aliran data sebesar STM-1 sebesar 155,52 Mbit/s, STM-4 sebesar 622.08 Mbit/s, STM-16 sebesar 2.488,32 Mbit/s atau mendekati 2,5 Gbps , maupun STM-64 sebesar 9.953,28 Mbit/s atau mendekati 10Gbps. Bentuk ADM seperti pada Gambar 3.17.



Gambar 3.17 ADM