

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Perkembangan dan penerapan teknologi telekomunikasi dunia yang berkembang dengan cepat, secara langsung atau tidak langsung telah mempengaruhi perkembangan sistem telekomunikasi di berbagai kampus khususnya kampus Universitas HKBP Nommensen (UHN) yang sudah menggunakan sistem informasi telekomunikasi seperti digunakannya serat optik sebagai backbone pada jaringan LAN UHN.

Pengoperasian sistem telekomunikasi serat optik di UHN diduga menimbulkan rugi-rugi daya yang cukup besar dikarenakan sistem penginstalasiannya mengikuti desain dan kontur interior dinding gedung. Dalam perencanaan sistem telekomunikasi, degradasi sinyal pada serat optik disebabkan oleh beberapa faktor. Salah satunya attenuasi oleh *macrobending* (pembengkokan) pada saat instalasi. Sementara itu, setiap serat optik memiliki attenuasi tertentu akibat ketidakmurnian material ketika proses produksi yang memang tidak bisa dihilangkan. Dengan demikian hal ini akan menimbulkan semakin besarnya attenuasi yang muncul di sepanjang serat optik. Degradasi sinyal yang diakibatkan oleh attenuasi pada serat optik merupakan salah satu faktor yang membatasi jarak transmisi, karena penerima optik memerlukan level daya minimum untuk memperoleh kembali sinyal dengan kualitas yang baik.

Jadi, rugi-rugi daya yang terjadi pada penginstalasian serat optik sepanjang gedung UHN Medan yang terjadi adalah rugi-rugi (Lengkungan)*macrobending*, disamping rugi-rugi bawaan kabel serat optik. Beberapa hal di atas adalah yang melatar belakangi penulis untuk melakukan riset di UHN untuk membuktikan dugaan tersebut di atas.

1.2. Perumusan Masalah

Perumusan masalah dalam penulisan Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut :

1. Bagaimana konsep dasar serat optik.
2. Bagaimana teori dasar rugi-rugi *macrobending* kabel pada transmisi serat optik
3. Bagaimana cara menganalisa besar rugi-rugi *macrobending* kabel pada transmisi serat optik.
4. Bagaimana menganalisa rugi-rugi serat optik di UHN Medan.

1.3. Tujuan Penulisan

Memahami teori dasar rugi-rugi *macrobending* kabel pada transmisi serat optik di UHN Medan dan menunjukkan berapa besar rugi-rugi daya yang terjadi pada pemakaian kabel serat optik, sehingga kita dapat memperoleh perbaikan dalam hal cara pengistalasian serat optik yang mengikuti kontruksi desain gedung di UHN Medan.

1.4. Batasan Masalah

Dalam tugas akhir ini, akan dibatasi masalah yang akan dibahas yaitu :

1. Serat optik yang diteliti adalah serat optik pada gedung di Universitas HKBP Nommensen Medan
2. Analisis rugi – rugi hanya di tinjau dari pengaruh *macrobending losses* disamping attenuasi berdasarkan spesifikasi serat optik tersebut.
3. Diasumsikan bahwa penginstalasian setiap gedung terdapat balok penyangga gedung yang ukurannya sama.
4. Gedung yang dianalisa adalah gedung I dan Gedung L.

5. Jari – jari lengkungan yang diukur adalah berdasarkan pembungkus serat optik sehingga pengukuran secara estimasi.
6. Serat optik yang dianalisa adalah serat optik dari server ke beberapa switch di Gedung I dan Gedung L UHN Medan.

1.5. Metodologi Pembahasan

Metodologi pembahasan yang dipakai akan memecahkan masalah adalah dengan melakukan penelitian dengan cara pengukuran terhadap hal – hal yang berkaitan dengan rugi – rugi lengkungan, menghitung rugi – rugi daya, pengumpulan rumus dan teori dengan masalah yang dibahas melalui makalah, jurnal ilmiah maupun buku-buku pendukung, serta mengadakan riset di PSI (Pusat Sistem Informasi) UHN.

1.6. Sistematika Penulisan

Pembahas pada tugas akhir ini disusun dengan sistematika sebagai berikut :

BAB I : PENDAHULUAN

Menjelaskan deskripsi umum dari tugas akhir ini yaitu : latar belakang, rumusan masalah, tujuan penulisan, batasan masalah, metodologi pembahasan dan sistematika penulisan Tugas Akhir ini.

BAB II : TEORI DASAR TRANSMISI SERAT OPTIK

Menjelaskan teori yang menjadi dasar pada transmisi serat optik secara umum seperti : teori tentang karakteristik serat optik dan jenisnya, spectrum gelombang elektromagnetik, teori pembiasan dan pemantulan cahaya, dan degradasi sinyal pada serat optik.

BAB III : METODOLOGI PENELITIAN

Menjelaskan bagai mana penulis mencari dan melakukan penelitian sehingga mendapatkan data, dan dapat menghitung rugi-rugi backbone di UHN Medan

BAB IV : HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Menganalisis masalah rugi-rugi serat optik di UHN Medan. Pada Bab ini akan di uraikan dan ditampilkan hasil – hasil pengukuran dan hasil perhitungan berkaitan dengan lengkungan (*macrobending*) dan rugi –rugi yang diambil di sepanjang serat optik yang menghubungkan server dengan beberapa switch di Gedung I dan Gedung L UHN.

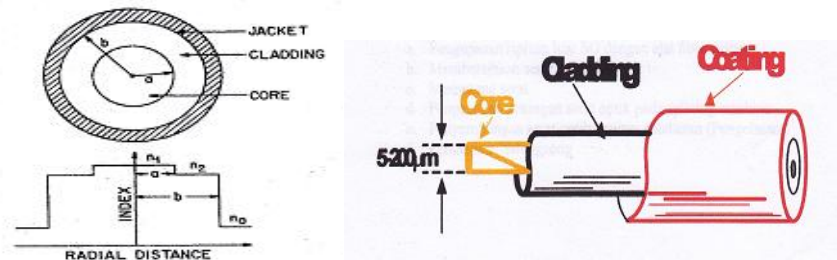
BAB V : KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini berisikan kesimpulan atas semua uraian dan analisa yang telah dilakukan dan diakhiri dengan beberapa saran berkaitan dengan penelitian ini dan penelitian lanjutannya.

BAB II TEORI DASAR TRANSMISI SERAT OPTIK

2.1. Sistem Komunikasi Serat Optik

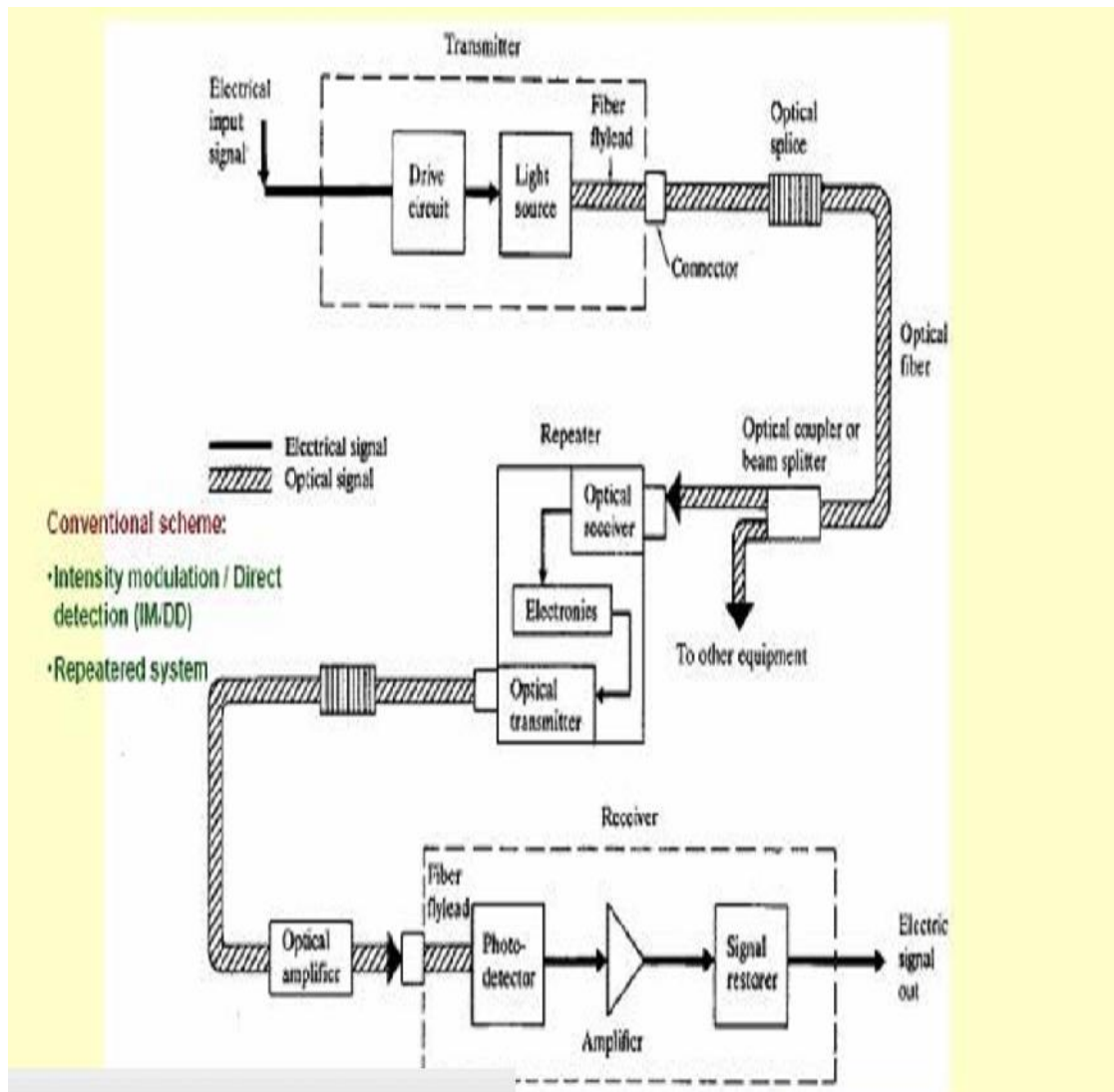
Sistem komunikasi serat optik adalah sistem komunikasi yang menggunakan serat optik sebagai jaringan komunikasi dan cahaya sebagai pembawa (*carrier*). Serat optik dalam hal ini adalah suatu helaian optik tipis berbentuk silinder yang terbuat dari optik transparan yang dapat menyalurkan cahaya dari sumber (*source*) ke tujuan (*destination*) yang jaraknya jauh. Struktur serat optik terdiri dari inti (*core*), selubung (*cladding*), dan pembungkus luar (*jacket*) seperti ditunjukkan pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1. Struktur Serat Optik

Ukuran serat optik sangat kecil $1,5\mu\text{m} - 6\mu\text{m}$. Akan tetapi walaupun fisiknya kecil, media ini dapat menghantar informasi dalam jumlah sangat besar karena serat optik itu sendiri memiliki kapasitas informasi yang sangat besar.

Sistem komunikasi serat optik terdiri dari beberapa komponen seperti ditunjukkan pada Gambar 2.2. Berdasarkan Gambar 2.2, dapat ditunjukkan beberapa komponen-komponen tersebut adalah : terdiri dari komponen utama yaitu T_x (*transmitter*), serat optik, *repeater*, dan *receiver*. *Transmitter* pada sistem komunikasi serat optik terdiri dari beberapa komponen seperti *drive circuit*, *light source*, dari *transmitter* akan dilanjutkan ke *repeater*. *Repeater* itu berfungsi untuk memperpanjang rentang jaringan dengan cara memperkuat isyarat elektronis, kesimpulannya *repeater* itu alat untuk memperkuat signal. Dari *repeater* akan di lanjutkan ke *receiver* yang berfungsi sebagai penerima (*receiver*) yang terletak pada ujung lain dari serat. Modulasi gelombang cahaya ini dapat dilakukan dengan merubah sinyal listrik termodulasi menjadi gelombang cahaya pada *transmitter* dan kemudian merubahnya kembali menjadi sinyal listrik pada *receiver*. Pada *receiver* sinyal listrik dapat dirubah kembali menjadi gelombang suara.



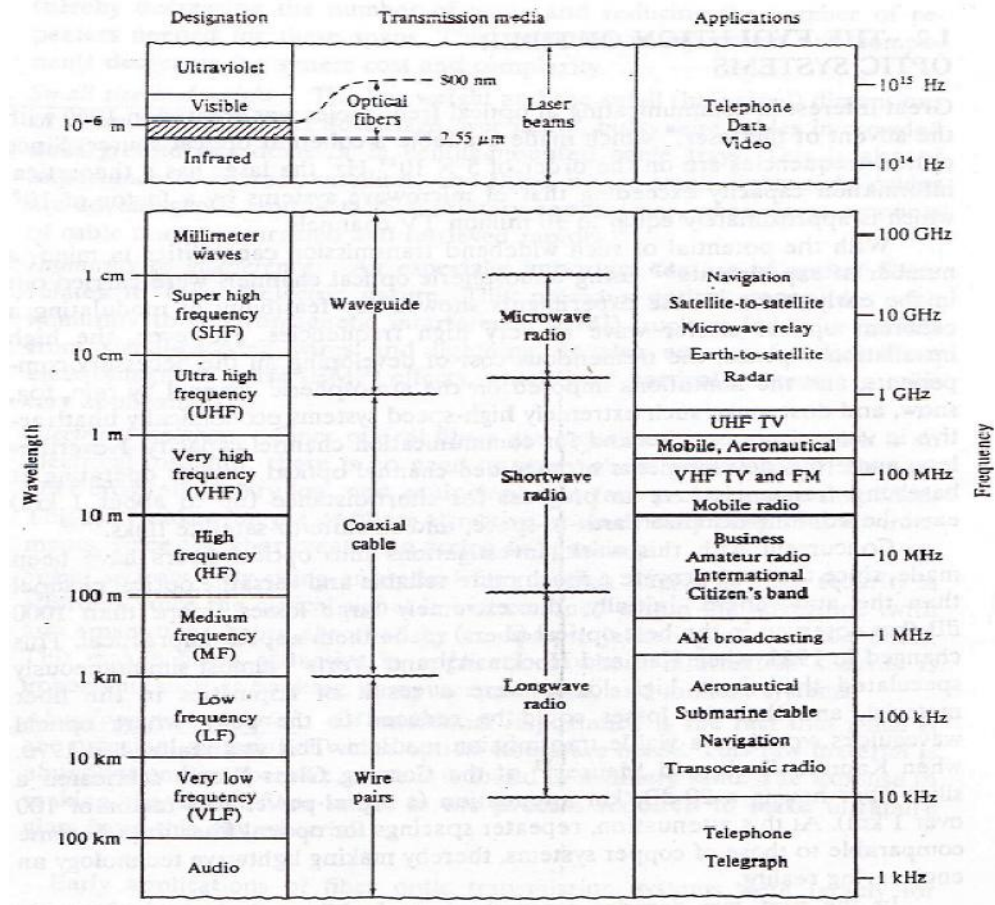
Gambar 2.2. Sistem Transmisi Serat Optik

Pada sistem komunikasi serat optik karena komponen serat optik sangat kecil maka untuk menghubungkannya ke rangkaian elektronik lainnya di perlukan beberapa *konektor*..

2.2. Spektrum Gelombang Elektromagnetik Dan Spektrum Cahaya

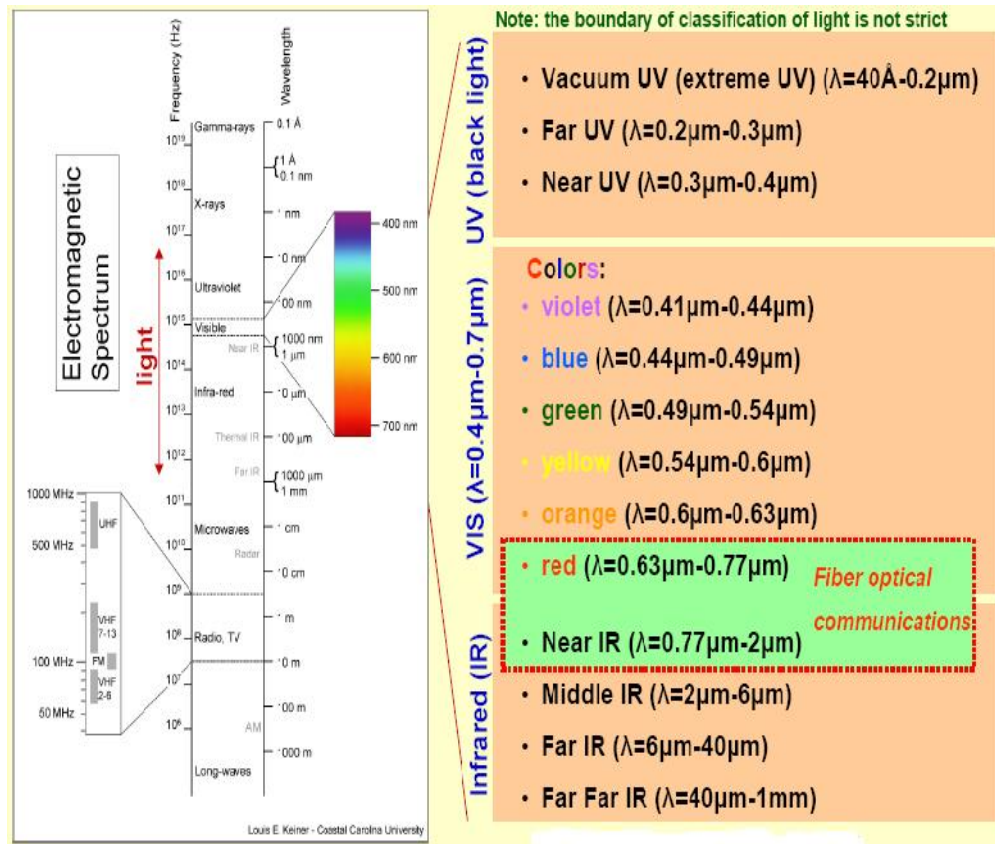
Pada bagian pemancar, sinyal elektrik diubah menjadi sinyal optik oleh optoelektronik berupa LASER (*Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation*) seperti LED (*Light Emiting Diode*) dan LD (*Laser Diode*). Setelah melalui

serat optik cahaya tersebut akan mengalami redaman dan rugi-rugi akibat pembengkokan, kemudian sinyal yang berupa cahaya tersebut akan melalui receiver dan diubah kembali menjadi sinyal elektrik oleh detektor yang terdiri dari optoelektronik transducer yaitu photodiode.



Gambar 2.3. Spektrum Gelombang Elektromagnetik

Berdasarkan Gambar 2.3 dapat dilihat spektrum gelombang elektromagnetik mulai dari beberapa Hertz hingga skala Terra Hertz. Sistem komunikasi Serat Optik menggunakan cahaya sebagai pembawa (*carrier*) yaitu pada band diantara infrared dan *Variable Light*, lebih detail ditunjukkan Gambar 2.4.



Gambar 2.4. Spektrum Gelombang Cahaya

Spektrum cahaya terdiri atas :

Ultra violet adalah radiasi elektromagnetis terhadap panjang gelombang yang lebih pendek dari daerah dengan sinar tampak, namun lebih panjang dari sinar-X yang kecil. Panjang gelombang pada spektrum cahaya pada *Ultra violet* dibagi atas:

- Ultra violet :
 - Extreme UV ($\lambda = 40 \text{ \AA} - 0,2\mu\text{m}$)
 - Far UV ($\lambda = 0,41 \mu\text{m} - 0,44 \mu\text{m}$)

- Near UV (=0,3 μm – 0,4 μm)

Variabel cahaya (*Variable Light*) menyatakan konsep bahwa kecepatan cahaya dalam vakum, biasanya dinotasikan dengan huruf c, ketika cahaya melakukan perjalanan melalui medium, secara efektif memiliki kecepatan lebih lambat.

- Variable Light :
 - Violet (= 0,41 μm – 0,44 μm)
 - Blue (= 0,44 μm – 0,49 μm)
 - Green (= 0,49 μm – 0,54 μm)
 - Yellow (= 0,54 μm – 0,6 μm)
 - Orange (= 0,6 μm – 0,63 μm)
 - Red (= 0,63 μm – 0,77 μm)

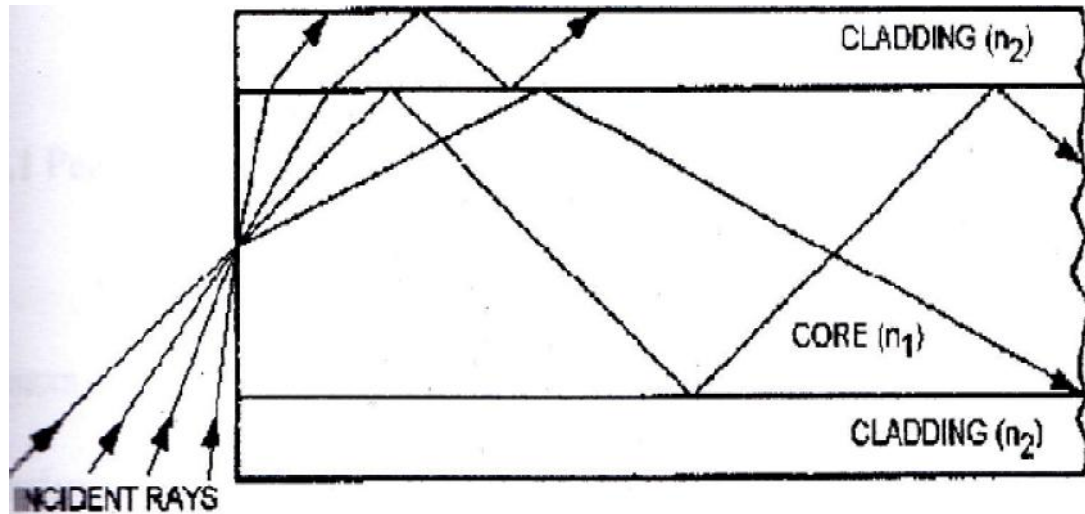
Infrared adalah [radiasi elektromagnetik](#) dari [panjang gelombang](#) lebih panjang dari [cahaya](#) tampak, tetapi lebih pendek dari radiasi [gelombang radio](#).

- Infrared:
 - Near IR (= 0,77 μm – 2 μm)
 - Middle IR (= 2 μm – 6 μm)
 - Far IR (= 6 μm – 40 μm)
 - Far Far IR (= 40 μm – 1 mm)

Sementara itu, spektrum cahaya yang bisa dilewati untuk sistem komunikasi serat optik adalah pada Near IR (= 0,77 μm – 2 μm) dan Red (variable Light) (= 0,77 μm – 2 μm)

2.3 Teori Pemantulan Dan Pembiasan

Konsep pemantulan dan pembiasan cahaya di dalam serat optik, dapat dilihat dari teori optik geometric atau hukum *Snellius* dimana sinar datang dapat merambat sepanjang serat optik yaitu sinar meridian dimana sinar merambat memotong sumbu serat optik dan skew ray dimana sinar merambat tidak melalui sumbu serat optik, seperti yang terdapat pada Gambar 2.5.



Gambar 2.5. Pemantulan dan Pembiasan Serat Optik

Sinar yang melewati suatu medium dengan indeks bias yang berbeda maka cahaya tersebut tidak akan di teruskan melainkan akan dibiaskan. Hal ini dapat di jelaskan dengan persamaan *Snell*.

$$n_1 \sin \theta_1 = n_2 \sin \theta_2 \dots\dots\dots (2.1)$$

dengan :

- n_1 = indeks bias inti
- θ_1 = sudut datang
- n_2 = indeks bias selubung
- θ_2 = sudut bias

Jika cahaya datang dengan sudut Θ_1 dan melewati suatu medium dengan indeks bias $n_1 < n_2$, maka cahaya akan dibiaskan mendekati garis normal sedangkan jika indeks bias $n_1 > n_2$, maka cahaya akan dibiaskan menjauhi garis normal.

Proses pemantulan dimana cahaya yang datang dengan sudut Θ lebih besar dari sudut kritis Θ_c maka cahaya tersebut akan di bengkokkan sebesar Θ juga, hal inilah yang disebut dengan pemantulan.

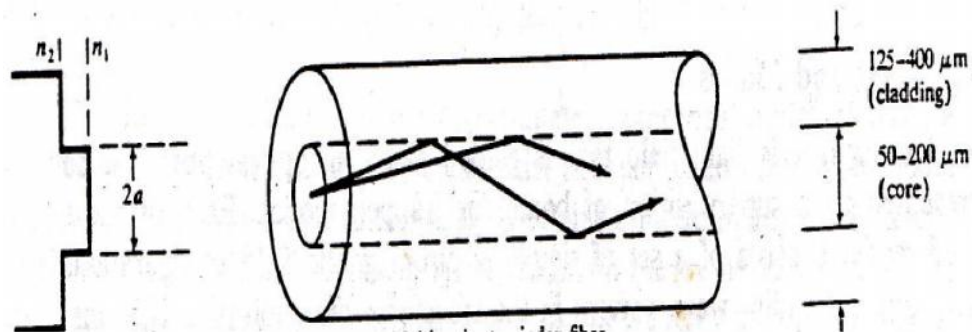
2.4 Karakteristik Serat Optik

Berdasarkan karakteristik serat optik maka jenis serat optik dapat dibagi menjadi beberapa jenis yaitu jenis serat optik berdasarkan profil indeks bias, jenis serat optik berdasarkan *mode*, jenis serat optik berdasarkan sifat optik, dan jenis serat optik berdasarkan materialnya.

Untuk lebih jelasnya dibahas pada sub bab dibawah ini :

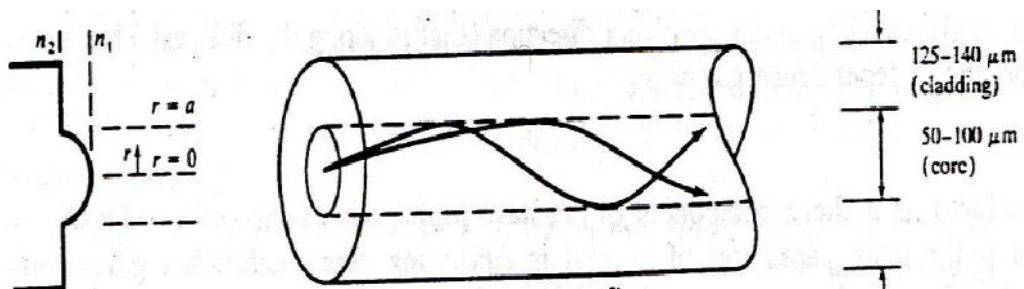
2.4.1. Jenis serat optik berdasarkan indeks bias

Berdasarkan indeks bias maka serat optik itu dapat dibagi menjadi 2 yaitu serat optik *step indeks* dan serat optik *graded indeks*. Serat optik *step indeks* cahaya yang menjalar pada sumbu dipantulkan dengan sudut tertentu hingga sampai pada ujung lainnya. Ada kalanya sinar tertentu akan sampai terlebih dahulu di ujung serat optik, hal ini dapat terjadi karena lintasan yang melalui poros lebih pendek dibandingkan sinar yang mengalami pemantulan pada dinding serat optik. Idealnya cahaya merambat hanya melalui satu ragam saja, yang sejajar dengan sumbu serat. Sehingga serat optik *step indeks* sering dipergunakan pada sistem komunikasi jarak jauh, karena mampu menyalurkan data dengan kecepatan tinggi..



Gambar 2.6. Profil Serat Optik Step Indeks

Sedangkan pada serat *graded indeks* serat optik mempunyai indeks bias cahaya yang merupakan fungsi dari jarak terhadap sumbu/poros serat optik. Dengan demikian cahaya yang menjalar melalui beberapa lintasan pada akhirnya akan sampai pada ujungnya pada waktu yang bersamaan. Jadi pada *graded indeks*, pusat *core* memiliki nilai indeks bias yang paling besar, Serat *graded indeks* memungkinkan untuk membawa *bandwidth* yang lebih besar, karena pelebaran pulsa yang terjadi dapat diminimalkan.

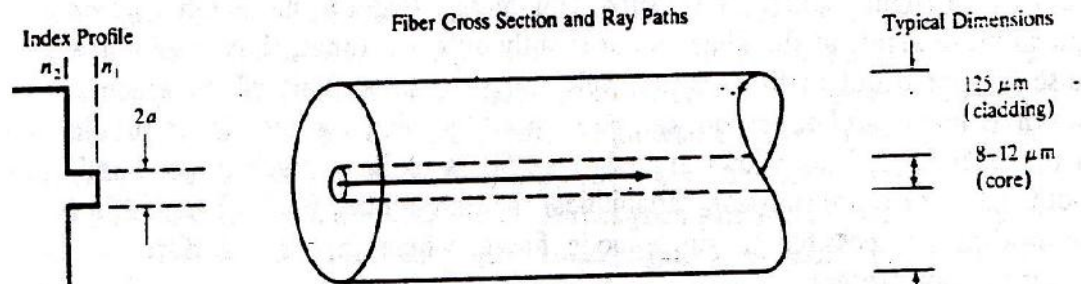


Gambar 2.7. Profil Serat Optik Graded Indeks

2.4.2. Serat optik berdasarkan mode

Berdasarkan mode serat optik dapat dibagi menjadi 2 bagian yaitu *singlemode* dan *multimode*. *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. Satu buah sinar yang tidak terpantul di dalam media optik tersebut membuat teknologi serat optik yang satu

ini hanya sedikit mengalami gangguan dalam perjalanannya. Itu pun lebih banyak gangguan yang berasal dari luar maupun gangguan fisik saja.

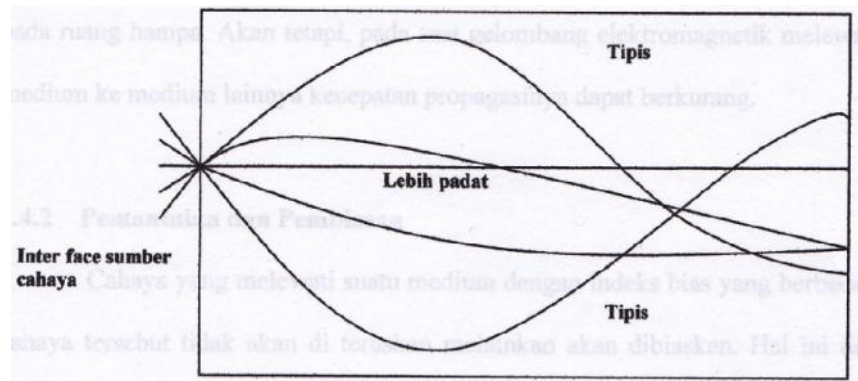


Gambar 2.8. Serat Optik Singlemode

Serat optik *singlemode/monomode* mempunyai diameter inti (*core*) yang sangat kecil 3 – 10 μm , sehingga hanya satu berkas cahaya saja yang dapat melaluinya. Oleh karena hanya satu berkas cahaya maka tidak ada pengaruh *indeks bias* terhadap perjalanan cahaya atau pengaruh perbedaan waktu sampainya cahaya dan ujung satu sampai ke ujung lainnya. Dengan demikian serat optik *singlemode* sering dipergunakan pada sistem transmisi serat optik jarak jauh atau luar kota (*long haul transmission system*).

Singlemode dapat membawa data dengan *bandwidth* yang lebih besar dibandingkan dengan *multi mode fiber optik*, tetapi teknologi ini membutuhkan sumber cahaya dengan lebar spektral yang sangat kecil pula dan ini berarti sebuah sistem yang mahal. *Single mode* dapat membawa data dengan lebih cepat dengan *multi mode*. Tetapi harga yang harus Anda keluarkan untuk penggunaannya juga lebih besar. *Core* yang digunakan lebih kecil dari *multi mode* dengan demikian gangguan-gangguan di dalamnya akibat distorsi dan overlapping pulsa sinar menjadi berkurang. Inilah yang menyebabkan *single mode* fiber optik menjadi lebih reliabel, stabil, cepat, dan jauh jangkauannya.

Sedangkan untuk serat optik *multimode* sesuai dengan namanya kabel jenis ini memiliki beberapa serat optik yang dibundel secara bersama. Serat optik *multimode* mempunyai ukuran/diameter inti yang lebih besar dengan rekomendasi dari CCITT G.651 sebesar 50 μm dan dilapisi oleh jaket selubung (*cladding*) dengan diameter 125 μm , berkas sinar yang masuk dengan sudut yang berbeda-beda akan mempunyai tingkat kelengkungan yang berbeda. Cahaya dibiaskan secara konstan sehingga terjadi pembiasan berulang-ulang. Serat ini sering digunakan pada jaringan komputer dan LAN (*Local Area Network*).



Gambar 2.9. Serat Optik Multimode

Keuntungan dari kabel ini adalah inti yang besar sehingga penyambungannya mudah dilakukan. Sedangkan kerugian dari kabel ini adalah terjadinya dispersi. Oleh karena itu serat optik ini digunakan untuk jarak pendek. Berkas cahaya yang merambat melalui kabel ini dibelokkan sampai arah rambatnya sejajar dengan sumbu serat. Gelombang cahaya yang merambat melalui lapisan bagian luar berjalan lebih jauh dari pada cahaya yang melalui lapisan bagian dalam. Tetapi indeks bias lapisan luar lebih kecil, berarti kecepatan cahaya bagian luar lebih cepat dari bagian dalam serat optik.

2.4.3. Serat optik berdasarkan sifat optik

Sedangkan berdasarkan sifat optik itu sendiri maka serat optik terdiri atas : *Active Fiber, Passive Fiber, Hi-bi Fiber, Photo Sensitive Fiber, Photonic Crystal Fiber.*

2.4.4. Serat optik berdasarkan material

Didalam pembuatan pembuatan serat optik maka serat optik dibagi atas beberapa bagian yaitu serat optik silika, serat optik plastik, serat optik kaca halida. Serat optik silica dimana pembawa cahaya (*core/inti*) terdiri dari komposisi Silikon (SiO_2) yang dimasukkan sejumlah kecil Germanium (Ge), Flour (F) atau Fosfor (P) yang mengendalikan indeks penyebaran atau membantu proses pembuatan serat optik. Bahan yang lain yang digunakan untuk *cladding* atau kulit inti (dimana daerah ini tidak memandu energi optik) harus tidak merugikan sehingga dapat mempengaruhi karakteristik fisik serat, fungsi kulit inti pada umumnya digunakan sebagai perlengkapan sambungan (*splicing*), perangkat injeksi atau deteksi local. Dalam pemilihan bahan serat optik, harus diperhatikan sejumlah persyaratan bahan harus transparan dan efisien pada panjang gelombang dan secara fisik bahan serat mempunyai perbedaan pembiasan untuk inti dan kulit.

Serat optik plastik sangat baik untuk jarak dekat (sampai 100 M) dan biaya lintasannya (link) rendah. Meskipun attenuasi sinyal optiknya lebih besar dari serat kaca, kekerasan dan daya serat plastik dapat ditangani dengan khusus. Perbedaan indeks bias yang tinggi antara bahan inti dan kulit dengan angka tangkap (NA) 0,6 . Diameter inti 110 μm sampai 1400 μm menggunakan sumber pembawa LED (*Light Emitting Diode*) pada daerah luas yang dihubungkan dengan serat plastik karena sistemnya yang ekonomis. Susunan serat plastik terdiri dari :

1. Inti dari *Polys terene* ($n_1 = 1,6$) dan kulit dari *Methyl Methacrylate* ($n_2 = 1,49$)

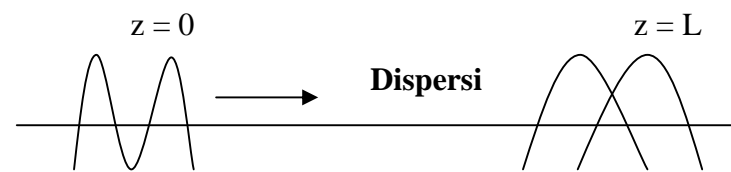
dengan $NA = 0,6$.

2. Inti dari *Polymethyl Metacrylate* ($n_1 = 1,49$) dan kulit dari *Kopolimer* ($n_2 = 1,4$) dengan $NA = 0,5$.

Serat optik kaca/*Kacaflour* mempunyai rugi transmisi rendah pada panjang gelombang tengah infra merah ($0,2 \mu\text{m}$ sampai $8 \mu\text{m}$, dengan rugi-rugi terendah dengan panjang gelombang $2,55 \mu\text{m}$). Bahan *kacaflour* dari logam berat, dengan ZrF_4 sebagai komponen utama dan membentuk jaringan kaca yang membutuhkan tambahan BaF_2 , LaF_2 , AlF_3 dan NaF yang menghasilkan kristal kaca sebagai inti serat. Untuk kaca berindeks bias rendah ZrF_4 diganti dengan HaF_4 , sebagai kulit. Meskipun rugi minimum transmisi $0,001 \text{ dB/Km}$, pembuatan serat yang panjang mengalami kesulitan disebabkan pencampuran bahan memerlukan ketelitian tingkat tinggi, dan serat optik kaca halida mudah patah.

2.5 Degradasi Sinyal Serat Optik

Degradasi sinyal pada sistem komunikasi serat optik terjadi dikarenakan oleh 2 hal yaitu dispersi dan attenuasi. Dispersi adalah efek pelebaran pulsa yang terjadi sepanjang saluran pada fiber optik. Dispersi disebabkan oleh perbedaan waktu propagasi antara mode-mode yang berbeda. Hal ini terjadi karena mode-mode tersebut merambat pada serat melalui arah dan panjang lintasan yang berbeda, dengan demikian waktu yang dibutuhkan akan mencapai tujuan berbeda pula.

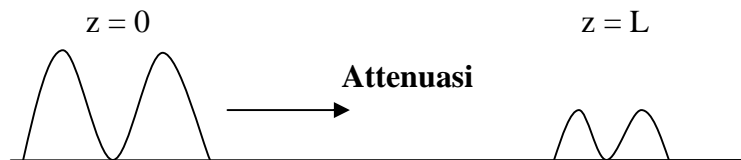


Gambar 2.10. Ilustrasi dispersi pada serat optik

Pada gambar 2.10. dispersi terjadi akibat pelebaran pulsa karena kecepatan perjalanan yang berbeda di dalam serat sehingga membatasi bandwidth serat. Sehingga cara mengatasi terjadinya disperse adalah dengan memberikan jarak(waktu) sebelum data berikutnya dikirimkan.

Serat optik sebagai medium transmisi secara umum tergantung pada frekuensi optik, karena interaksi gelombang elektromagnetik dengan loncatan electron dielektrik. Pada tingkat dasar asal dispersi dihubungkan dengan karakteristik frekuensi resonansi dimana media menyerap radiasi elektromagnetik melalui osilasi loncatan electron.

Attenuasi merupakan fenomena pelemahan sinyal selama ia berpropagasi melalui kabel serat optik. Attenuasi sebenarnya adalah fungsi dari panjang kabel. Jika sinyal mengalir terlalu jauh, ia bisa menurun kualitasnya sehingga stasiun penerimanya tidak mampu lagi menginterpretasikannya dan komunikasi akan gagal.



Gambar 2.11. Ilustrasi attenuasi pada serat optik.

Dalam arti lain atenuasi adalah melemahnya sinyal yang diakibatkan oleh adanya jarak yang semakin jauh yang harus ditempuh oleh suatu sinyal dan juga oleh karena makin tingginya frekuensi sinyal tersebut

Apabila sebuah sinyal dilewatkan suatu medium seringkali mengalami berbagai perlakuan dari medium (kanal) yang dilaluinya. Ada satu mekanisme dimana sinyal yang melewati suatu medium mengalami pelemahan energi yang selanjutnya dikenal sebagai atenuasi (pelemahan atau redaman) sinyal.

Attenuasi dapat terjadi karena beberapa faktor dan dapat dibagi didalam beberapa bagian yaitu *absorbtion*, *scattering loss*, *splicing*, *radiation Loss*.

a. Absorbtion

Absorbtion terjadi karena kerusakan atomic dalam komposisi bahan gelas, biasanya disebabkan oleh sinar gamma, absorbtion dapat juga terjadi karena *Extrinsic Absorbtion* oleh atom pengotoran dalam bahan gelas, dan juga karena *Intrinsic Absorbtion* oleh atom unsure pokok bahan.

b. **Scattering Loss**

Ini terjadi akibat ketidak homogenan struktur material pembuatan bahan serat optik, atau karena perbedaan indeks bias bahan.

c. **Splicing**

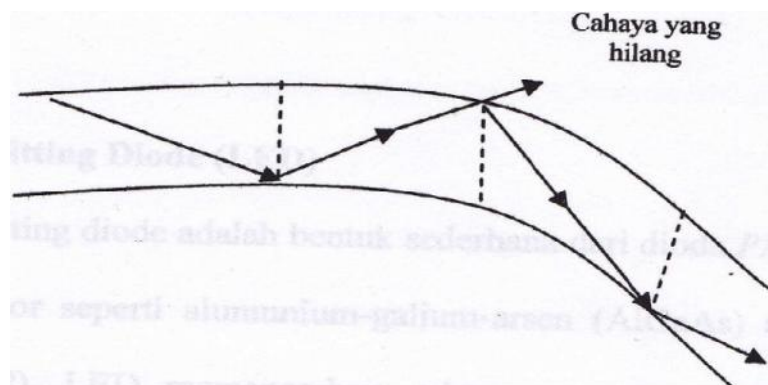
Dapat terjadi karena core tidak tepat ditengah, dan mungkin juga dikarenakan bentuk serat optik yang tidak bulat.

d. **Radiation Loss**

Radiation Loss dapat terjadi karena 2 hal yaitu :

1. *Macrobending*

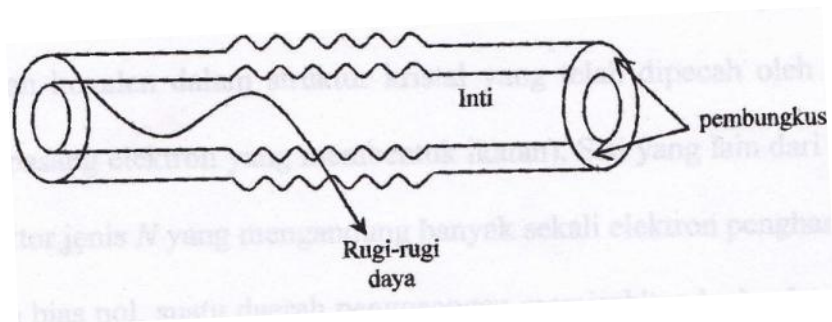
Macrobending (rugi-rugi skala makro) ini dapat terjadi karena pembengkokan pada sebuah kabel serat optik, pembengkokan ini dapat terjadi karena instalasi serat optik mengikuti disain bangunan dan inilah yang dapat menyebabkan timbulnya rugi daya yang cukup serius, dan lebih jauh lagi kemungkinannya terjadinya kerusakan mekanis (pecahnya serat optik).



Gambar 2.12. Pembengkokan *Macrobending*

2. *Microbending*

Berbeda dengan *macrobending*, *microbending* pada umumnya timbul didalam proses manufaktur. Penyebab yang bisa dijumpai adalah perbedaan laju pemuaihan (penyusutan) antara serat optik dan lapisan-lapisan pelindung luarnya. Ketika kabel serat optik menjadi dingin, lapisan jaket maupun bagian inti akan mengalami penyusutan dan memendek. Jika bagian ini mantel menyusut lebih lambat dari lapisan jaketnya, maka bagian inti akan bergeser dari posisi relatifnya semula dan hal ini dapat menimbulkan pembengkokan. Fenomena inilah yang dikenal sebagai permasalahan *microbending*.



Gambar 2.13. Pembengkokan *Microbending*