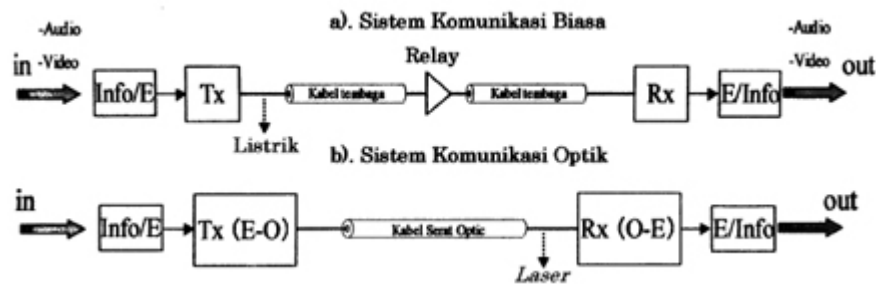


BAB II

LANDASAN TEORI

2.1 Sistem Komunikasi Serat Optik

Sistem Komunikasi secara umum terdiri dari pemancar sebagai sumber pengirim informasi, detektor penerima informasi, dan media transmisi sebagai sarana untuk melewatkannya. Pengirim bertugas untuk mengolah informasi yang akan disampaikan agar dapat dilewatkan melalui suatu media sehingga informasi tersebut dapat sampai dan diterima dengan baik dan benar di tujuan/penerima. Perangkat yang ada di penerima bertugas untuk menterjemahkan informasi kiriman tersebut sehingga maksud dari informasi dapat dimengerti.



Gambar 2.1 Blok Diagram Sebuah Sistem Komunikasi

Pada sistem komunikasi serat optik, media transmisinya adalah berupa serat optik, dengan informasi yang dilewatkan didalamnya berupa sinyal-sinyal pulsa cahaya. Gambar 2.1 menjelaskan proses transmisi dan penerima pada sistem komunikasi serat optik dan sistem komunikasi biasa yang menggunakan kabel tembaga.

Keterangan:

- Tx : Pengirim.
- Rx : Penerima.

Perbedaan sistem komunikasi optik dengan sistem komunikasi biasa terletak pada proses pengiriman sinyalnya. Pada sistem komunikasi biasa sinyal informasi dirubah ke sinyal listrik/elektrik, lalu dilewatkan melalui kabel tembaga. Setelah sampai ditujuan, sinyal tersebut lalu dirubah kembali menjadi informasi yang sama seperti yang dikirimkan. Pada sistem komunikasi optik (b), sinyal informasi dirubah ke signal listrik lalu dirubah lagi ke optik/cahaya. Sinyal ini kemudian di lewatkan melalui serat optik, yang setelah sampai di penerima nanti, cahaya tersebut dirubah kembali ke listrik dan akhirnya diterjemahkan menjadi sinyal informasi.

Beberapa keuntungan dari sistem komunikasi optik adalah (Keiser, page 5):

1. Dapat menjangkau sampai puluhan bahkan ratusan kilometer.
2. Tahan terhadap interferensi gelombang elektromagnetik.
3. Kapasitas transmisinya sangat besar.
4. Kualitasnya lebih bagus dari sistem komunikasi lainnya.
5. Material dasar kabel optik relatif lebih murah dari kabel tembaga.

2.2 Komponen Sistem Komunikasi Serat Optik

Analisis kinerja suatu Sistem Komunikasi Serat Optik, dapat ditinjau dari 3 (tiga) komponen, yaitu perangkat dan sumber pengirim, perangkat dan detektor penerima, dan serat optik itu sendiri. Dalam perancangannya, memperhatikan hal-hal berikut ini (Robert J. Hoss, 1990) :

1. *Loss* kopling sumber seminimum mungkin, dengan cara sedemikian hingga daya yang masuk ke serat optik sebanyak mungkin
2. *Loss* kopling penerima seminimum mungkin, dengan cara sedemikian hingga daya yang diterima oleh detektor sebanyak mungkin.
3. *Loss* sambungan serendah mungkin, dengan pemilihan jenis alat sambung, dan mempertimbangkan karakteristik serat optik yang disambung (diameter dan bahan core/inti serat).
4. *Loss* konektor serendah mungkin dengan mengontrol jenis konektor, dan diameter core maupun cladding.
5. *Loss* instalasi kabel serendah mungkin, termasuk *bending* akibat proses instalasi/penarikan kabel setelah mengalami tekanan dan tegangan.

2.2.1 Sumber pengirim

Terdapat 2 (dua) tipe sumber pengirim optik yang digunakan untuk mengirim cahaya informasi melalui serat optik, yaitu *Light Emitting Diode (LED)* dan *Injection Laser Diode (ILD)*. *LED* biasanya dipakai pada serat optik *multi mode*, karena memiliki spektrum cahaya yang lebar, sedangkan *ILD* yang memiliki spektrum cahaya yang lebih sempit biasanya digunakan untuk komunikasi menggunakan serat optik *single mode*.

Beberapa hal yang perlu dipertimbangkan dalam pemilihan sumber pengirim optik adalah (Robert J. Hoss, 1990) :

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

2.2.2 Detektor Penerima

Terdapat 2 (dua) tipe detektor optik, yaitu PIN (*Positive-Intrinsic Negative*) dan APD (*Avalanched Photo Diode*). Perancangan dan pemilihan perangkat penerima, sangat menentukan dalam suatu analisis sensitivitas dari besarnya daya optik minimum yang didapat dideteksi oleh detektor. Beberapa hal yang menjadi pertimbangan antara lain (Robert J. Hoss, 1990) :

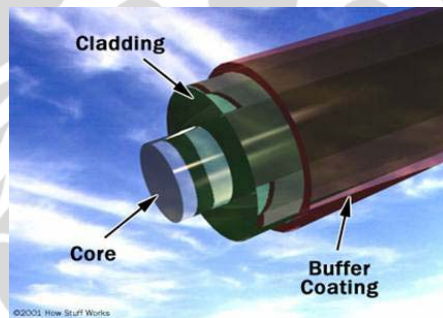
- Pemilihan panjang gelombang optik yang beroperasi. Sifat redaman serat optik sebagai fungsi dari panjang gelombang dan jarak, akan menentukan berapa daya yang diterima detektor.
- *Range/jangkauan* penerimaan daya optik. Range yang lebih lebar akan membuat fleksibilitas yang tinggi dalam penerapan dilapangan.
- Penguatan daya optik sesaat setelah cahaya optik dideteksi. Daya sinyal optik yang sampai diujung penerima, biasanya tidak terlalu besar karena berkurang sepanjang transmisinya dalam serat optik, sehingga perlu dikuatkan terlebih

dahulu sehingga pemrosesan penterjemahan informasi dapat dilakukan dengan sempurna.

- *Loss* koping yaitu rugi-rugi daya sesaat setelah sinyal keluar dari serat optik dan masuk ke detektor penerima.

2.2.3 Serat Optik

Serat optik adalah sebuah kaca murni yang panjang dan tipis serta berdiameter sangat kecil (mikron). Serat optik menggunakan prinsip pemantulan sempurna dengan membuat kedua indeks bias dari core dan cladding berbeda, sehingga cahaya (informasi) dapat memantul dan merambat di dalamnya. Serat optik ditemukan pada tahun 1960-an oleh seorang ilmuwan Fisika bernama Charles Kao dan saat ini telah menjadi tulang punggung bagi komunikasi dunia. Struktur bagian serat optik terdiri dari *core*, *cladding* dan *coating*.

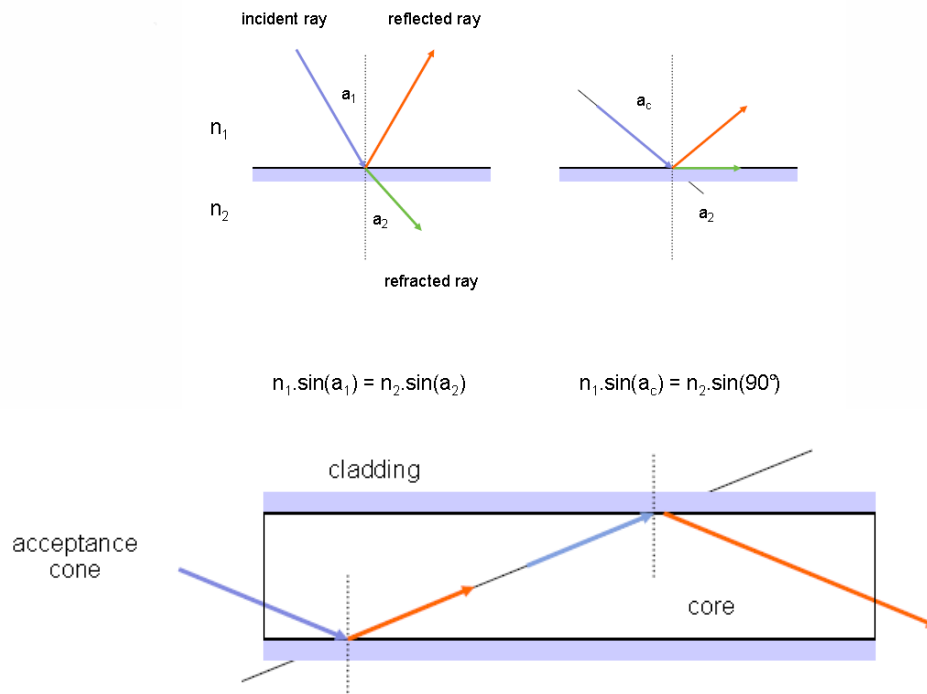


Gambar 2.2 Struktur Bagian Serat Optik

- *Core* merupakan bagian inti dari serat optik, tempat cahaya dilewatkan. Dibagian ini mengalir informasi yang akan disampaikan dari pengirim ke penerima, bisa berupa data maupun suara dengan berbagai aplikasi dan konten di dalamnya.
- *Cladding* mengelilingi inti yang berfungsi memantulkan cahaya kembali ke dalam inti (*core*).
- *Buffer Coating* adalah pelapis pelindung pertama serat optik.

Cahaya dapat merambat didalam serat optik melalui proses pemantulan sempurna yang disebabkan oleh perbedaan indeks bias *core* (n_1) dan indeks bias *cladding*

(n_2) seperti pada gambar 2.3. Semakin sempurna proses pemantulan ini, maka semakin panjang jangkauannya.



Gambar 2.3 Prinsip Penyaluran Cahaya Dalam Serat Optik

2.2.3.1 Jenis Serat Optik

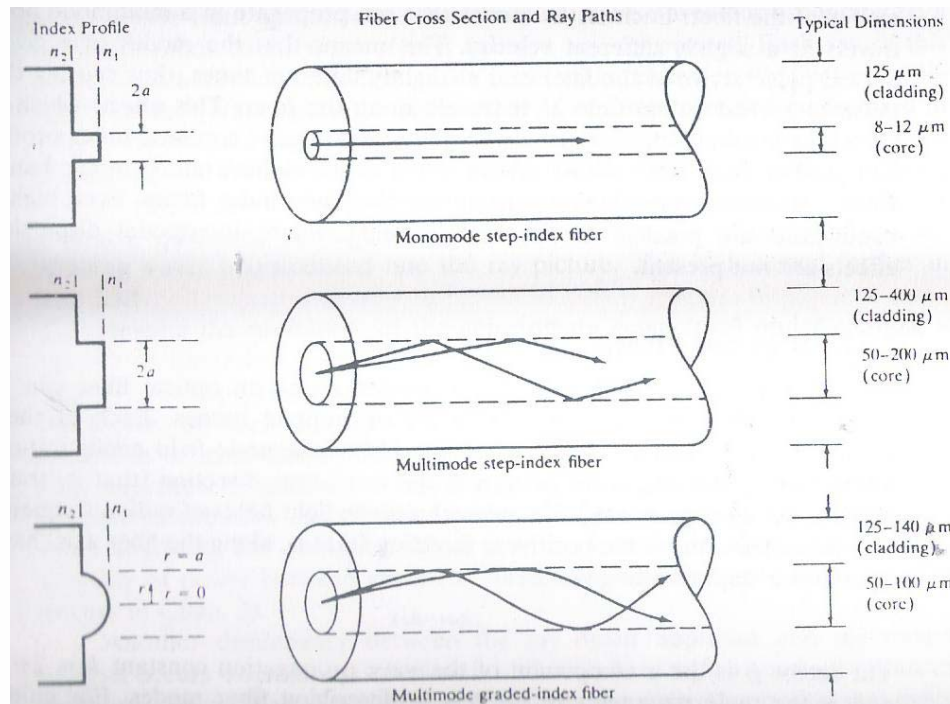
1. *Single-mode*

Mempunyai inti yang kecil (antara 8-10 micron) dan berfungsi mengirimkan sinar laser inframerah (panjang gelombang 1300-1550 nanometer). Karena dimensinya sangat kecil, maka hanya ada 1 (satu) *mode* cahaya yang lewat didalamnya.

2. *Multi-mode*

Mempunyai inti yang lebih besar (berdiameter 0.0025 inch atau 62.5 micron) dan berfungsi mengirimkan sinar laser inframerah (panjang gelombang 850-1300 nanometer), dengan banyak *mode* cahaya yang lewat didalamnya.

Karakteristik Single Mode dan Multi Mode dapat dilihat pada gambar 2.5.



Gambar 2.4 Perbandingan karakteristik *Single Mode* dan *Multi Mode*

Sumber : Optical Fiber Communications, Keiser, 1991

Karena tipis, maka serat optik sangat rentan fisiknya. Oleh karena itu maka diberikan perlindungan berlapis agar menjadi kuat pada saat diimplementasikan. Untuk membungkus serat optik sampai menjadi kabel optik, tergantung dari penerapannya di lapangan. Sebagai contoh, untuk aplikasi kabel teresterial, struktur perlindungannya digambarkan seperti pada gambar 2.4 Dengan susunan seperti ini, maka dalam satu kabel, bisa terdiri sampai ratusan serat optik.



Gambar 2.5 Kabel Serat Optik untuk Aplikasi Teresterial

Sumber : CCSI Communication Cable System Indonesia

2.2.3.2 Sambungan Serat Optik

Pada setiap istem komunikasi jarak jauh menggunakan media fisik (kabel), sering di dapati adanya sambungan. Sambungan itu timbul karena banyak faktor, misalnya karena keterbatasan panjang media, batasan maksimal redaman, maupun akibat kondisi yang tidak diinginkan dilapangan seperti kabel putus. Demikian pula halnya pada sistem komunikasi serat optik.

Penyambungan menurut sifatnya dibedakan menjadi :

- a. Sambungan permanen, sambungan ini pada umumnya digunakan untuk menyambungkan dua buah serat optik. Teknik yang digunakan adalah teknik *Fusion Splice*. Alat untuk penyambungan tipe ini dinamakan *splicer* seperti ditunjukkan pada gambar 2.8. Penyambungan dengan menggunakan metode lebur (*fusion splice*) dilakukan dengan meleburkan ujung-ujung dari serat optik yang akan disambungkan dengan menggunakan laser. Laser ini dihasilkan oleh dua buah elektroda yang dialiri listrik sehingga melepaskan elektron. Panas yang ditimbulkan laser ini cukup tinggi sehingga dalam waktu sebentar saja dapat menyatukan kedua ujung serat optik. Penyambungan dengan metode ini dapat menghasilkan sambungan dengan *Loss* yang sangat kecil (umumnya kurang dari 0,06 dB menurut estimasi pengukuran alat tersebut).



Gambar 2.6 Alat untuk Menyambung Serat Optik (*Fiber Fusion Splicer*)

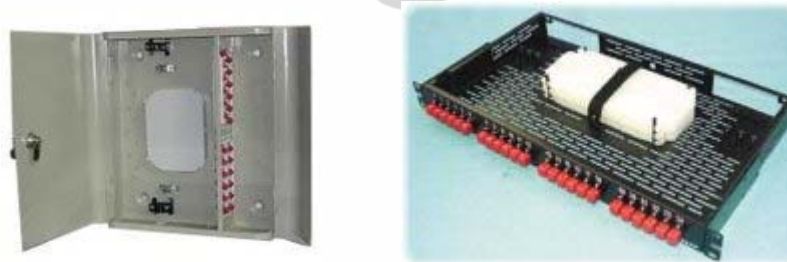
- b. Sambungan tak permanen, umumnya digunakan untuk menghubungkan serat optik dengan perangkat agar mudah dilepas dan dipasang lagi. Untuk sambungan tipe ini menggunakan alat yang disebut konektor *patchcord*. Ada beberapa jenis konektor optik, diantaranya tipe FC, SC, LC, E-2000 dan lain sebagainya seperti digambarkan pada gambar 2.9.



Gambar 2.7 Jenis-jenis *Patchcord*

2.2.3.3 Terminasi Serat Optik

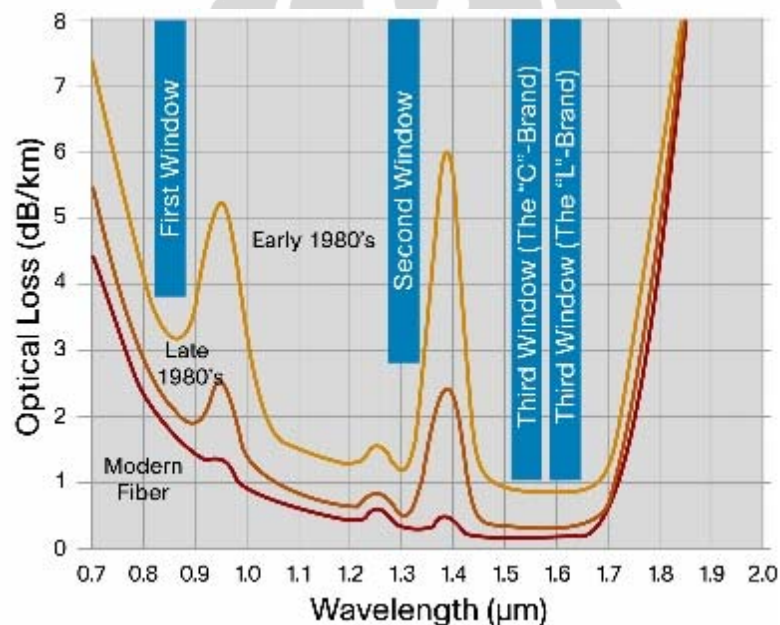
Optical Termination Box (OTB) merupakan terminasi ujung (dekat dan jauh) dari serat optik. Seperti ditunjukkan pada gambar 2.10. OTB terdiri dari port-port yang digunakan untuk melakukan penyambungan menggunakan konektor/*patchcord*. Dalam jumlah port yang besar, biasanya OTB disebut sebagai ODF (*Optical Distribution Frame*).



Gambar 2.8 Tempat Terminasi Serat Optik

2.2.3.4 Kinerja Serat Optik

Sejak awal pertama kali ditemukan, redaman/km serat optik memiliki karakteristik sebagai fungsi dari panjang gelombang cahaya yang beroperasi. Meskipun dari masa ke masa besarnya dapat terus diperbaiki, karakteristik redaman/km ini tetap menjadi sifat alami dari serat optik, sebegus apapun ia. Penelitian yang telah dilakukan, telah menghasilkan 3 (tiga) jendela panjang gelombang beroperasi yang digunakan dalam serat optik, yaitu pada (range) 850 nm, 1310 nm, dan 1550 nm dimana pada ketiga jendela tersebut, besarnya redaman/km yang dihasilkan lebih rendah.



Gambar 2.9 Jendela Redaman/km Serat Optik

Ada 2 (dua) faktor yang mempengaruhi kinerja serat optik, yang menjadi dasar analisis kinerja keseluruhan sistem dan landasan pertimbangan bagi pembangunan suatu sistem komunikasi serat optik. Faktor-faktor tersebut yaitu redaman dan dispersi. Redaman digunakan dalam analisis *power budget*, yaitu berdasarkan optimalisasi daya dari pengirim (*transmitter*) sampai ke penerima (*receiver*) dengan meminimalkan redaman di sepanjang serat optik. Sedangkan dispersi digunakan dalam analisis *rise time budget*, agar tidak terjadi kerusakan sinyal akibat *bit-bit* pulsa digital yang melebar.

1. Redaman diusahakan serendah mungkin, sehingga daya pengirim tetap cukup sampai ke penerima (biasanya faktor cadangan daya sudah termasuk diperhitungkan). Redaman pada kabel optik, disebabkan oleh :
 - Hamburan Rayleigh (*scater*) dan hamburan akibat fluktuasi konsentrasi dopan serat optik. Hamburan Rayleigh (sesuai dengan nama penemunya) merupakan hamburan yang dominan menyebabkan redaman pada serat optik (75%).
 - *Absorption* atau penyerapan akibat ketidaksempurnaan proses pembuatan serat dan penyerapan ion hydrogen.
 - Titik-titik sambungan (*fusion* maupun *mechanical splice*, konektor, dan lain sebagainya)
 - *Bending*, baik yang sifatnya mikro akibat ketidaksempurnaan core dan makro *bending* yang disebabkan oleh kondisi tertentu di lapangan sehingga kabel optik mengalami tekukan yang cukup tajam.
 - Radiasi nuklir yang menyebabkan dampak permanen

Jika P_T adalah redaman total yang diijinkan terjadi antara sumber pengirim dan detektor penerima, P_S adalah daya sumber pengirim, dan P_R adalah sensitivitas penerimaan daya detektor, maka

$$P_T = P_S - P_R = N_b.l_b + N_s.l_s + N_p.l_p + \alpha . L + \text{daya cadangan} \quad (2.1)$$

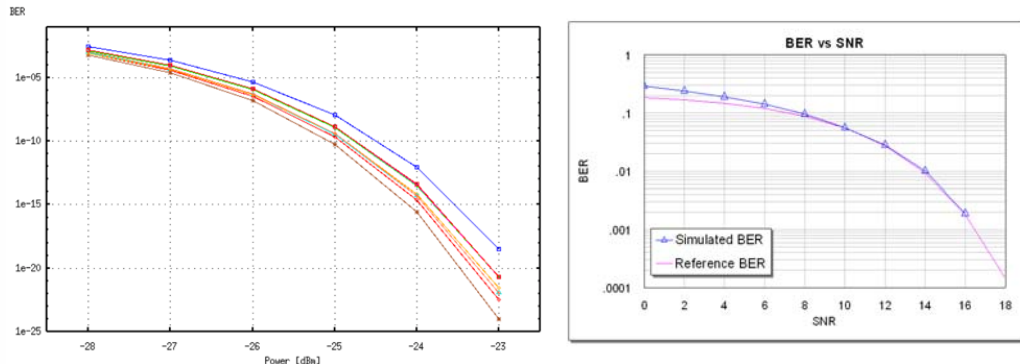
Dimana :

- $N_{b,s,p}$ = jumlah *bending, splicing, patching*
- $l_{b,s,p}$ = redaman *bending, splicing, patching*
- α = redaman/km serat optik
- L = panjang serat optik

2. Dispersi, pelebaran pulsa saat melewati serat optik akibat material maupun *mode* perambatannya dalam serat optik, diusahakan sekecil mungkin. Pada serat optik *single mode*, faktor dispersi ini lebih kecil dari pada *multi mode*.

Ada beberapa parameter yang dapat digunakan untuk mengukur kualitas sistem komunikasi digital, termasuk Sistem Komunikasi Serat Optik, diantaranya *BER (Bit Error Rate)* dan *SNR (Signal to Noise Ratio)*. *BER* menyatakan berapa jumlah *bit error* yang terjadi dalam dalam satuan detik, sedangkan *SNR*

menyatakan perbandingan sinyal dengan *noise*/gangguan. Semakin besar redaman, maka semakin kecil *SNR* dan daya penerimaan, sehingga *BER* akan semakin tinggi sehingga kualitas menjadi berkurang seperti pada gambar 2.10.



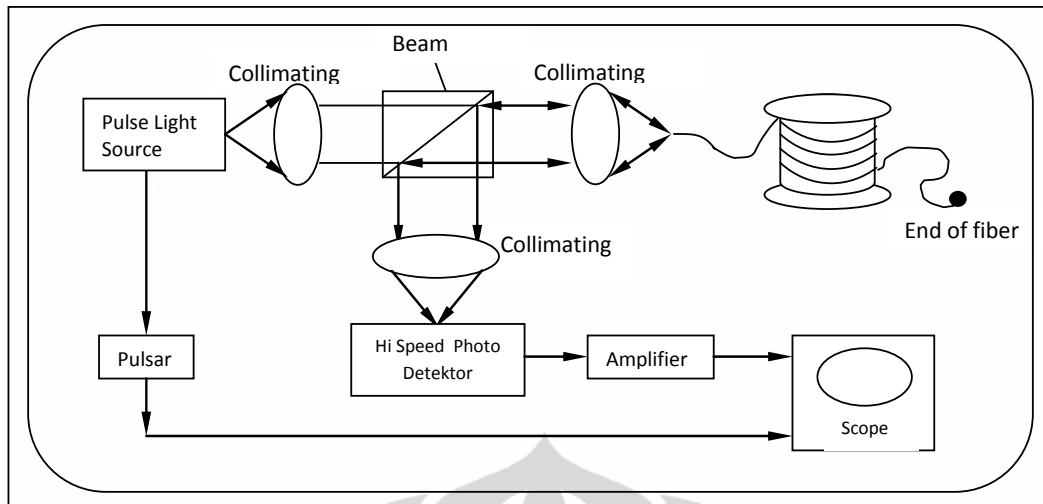
Grafik 2.10 Grafik *BER* vs Daya Penerimaan dan *BER* vs *SNR* Detektor Digital

Untuk mengevaluasi kinerja serat optik, digunakan alat bernama *OTDR* (*Optical Time Domain Reflectometer*). Prinsip kerja dari *OTDR* dijelaskan seperti gambar 2.11. *Pulse Light Source*, membangkitkan pulsa-pulsa yang akan disalurkan pada serat optik. Cahaya tersebut difokuskan oleh *collimating lens* sehingga cahaya yang masuk serat optik mempunyai daya yang optimal dan rugi-rugi yang kecil, sehingga mampu mengukur panjang serat optik yang maksimum.

Setelah cahaya dikonsentrasikan oleh *collimating lens*, cahaya tersebut akan disalurkan ke serat optik. Sebagian dari cahaya tersebut akan dipantulkan kembali, dikarenakan oleh adanya pantulan (*Freshnel Reflection*) dan hamburan (*Rayleigh Scattering*). Pada saat mencapai *beam splitter*, cahaya pantulan tersebut akan dibelokkan sejauh -90° , sehingga cahaya pantulan tidak akan pernah mencapai sumber.

Cahaya yang dibelokkan tersebut diukur besar dayanya oleh *Hi Speed Photo Detektor*. Dan daya pantulan tersebut akan dikuatkan oleh *Amplifier*. Hal ini dilakukan karena cahaya telah menjalani dua kali panjang lintasan, sehingga diperlukan penguatan daya akibat redaman yang telah dialami.

Pulsar berfungsi sebagai penentu lebar pulsa yang dipancarkan ke dalam serat optik. *Pulsar* juga digunakan sebagai *trigger* dari *scope* untuk mulai bekerja. Di *scope* akan ditampilkan hasil pengukuran dan *tracing* dari *OTDR*.



Gambar 2.11 Prinsip kerja *OTDR*

Fungsi-fungsi utama *OTDR* antara lain sebagai berikut:

- *Fault localization*

OTDR dapat menunjukkan lokasi *fault* atau ketidaknormalan lain dalam suatu serat optik. Dengan mengevaluasi grafik redaman terhadap jarak yang ditampilkan, dapat diketahui suatu serat optik dalam kondisi baik atau tidak.

- *Evaluasi power budget*

OTDR dapat digunakan untuk perhitungan dan pengecekan *Loss budget*, dimana hasil tersebut akan digunakan untuk analisis power budget suatu serat optik.

- Menghitung faktor redaman serat optik

Faktor redaman serat optik (dB / km) merupakan salah satu parameter yang menjadi penentu kualitas suatu serat optik. Secara teoritis, hal ini dapat dilakukan dengan perhitungan sebagai berikut :

$$X \text{ (dB)} = A \text{ (dB)} - \alpha \cdot L \text{ (dB)} \quad (2.2)$$

di mana

X = besar daya untuk jarak L

A = daya awal laser yang ditransmisikan ke serat optik

α = faktor redaman dB/km

L = jarak (km)

Sehingga dengan membaca X dan L pada grafik *OTDR*, akan didapatkan α (faktor redaman).

- Evaluasi *splicing* dan konektor

Dengan membandingkan redaman yang ditimbulkan terhadap referensi redaman yang ditoleransikan. Dapat diketahui suatu sambungan atau konektor berfungsi dalam keadaan baik atau tidak.

2.2.3.5 Implementasi Serat Optik dan Trend Perkembangan *ICT*

Kebutuhan masyarakat akan informasi dan hiburan, tidak lepas dari kemajuan sistem komunikasi digital dewasa ini dimana salah satunya adalah sistem komunikasi serat optik. Informasi yang dilewatkan dalam orde *bps* (*bit per second*), telah sampai pada orde *Tera bps* (10^{12}). Berbagai teknologi tinggi yang ditemukan, seperti *internet*, *SDH* (*Synchronous Digital Hierarchy*), *DWDM* (*Dense Wavelength Division Multiplexing*) yang mampu membawa ratusan kanal berkapasitas *Gigabit* per detik tiap kanal, *Video on Demand*, *3G*, dan *WiMax* telah membawa kita pada era *broadband*. Hal ini memerlukan jaringan serat optik yang handal sebagai tulang punggungnya (*backbone*). Bahkan, teknologi seperti *FTT-x* (*Fiber to the X-location*), saat ini sudah banyak yang menggunakan serat optik sampai ke *premises/pengguna* nya.

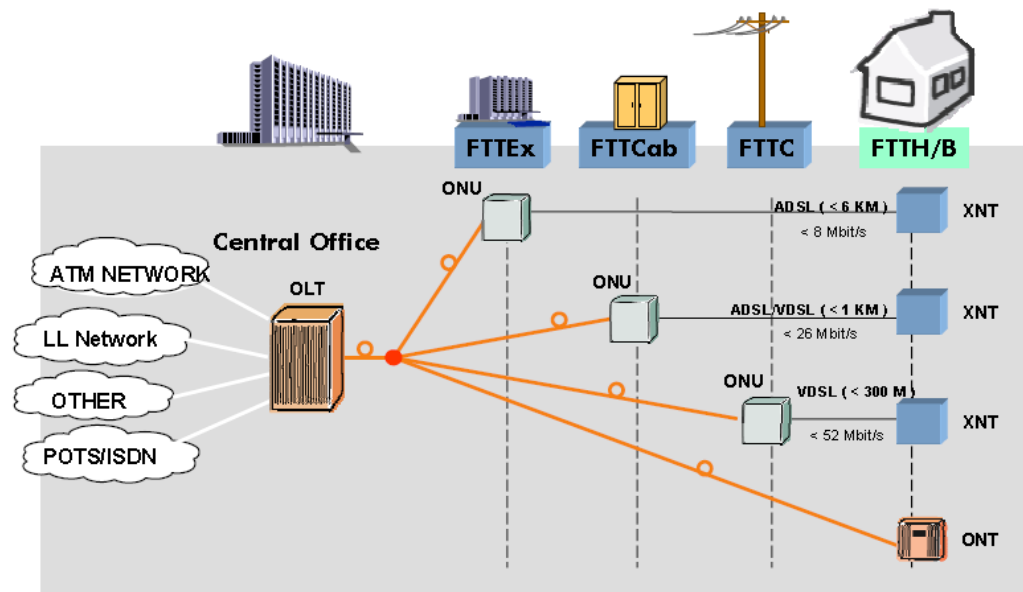
Pada salah satu konferensi tingkat dunia, dinyatakan bahwa *broadband penetration access* saat ini sudah menjadi *key economic indicator* suatu negara¹. Bahkan hal ini sangat menjadi perhatian serius bagi Presiden Amerika Serikat Barack Obama dengan membentuk suatu komite khusus pada Februari 2009, yang bertugas untuk menjamin ketersediaan akses *broadband* bagi warganya. Hal yang sama dilakukan Pemerintah Indonesia melalui Kementerian Komunikasi dan Informasi dan sejumlah kebijakan lainnya di bidang telekomunikasi dan informasi teknologi.

Kinerja dari *broadband* pun dijelaskan sebagai yang harus mampu menyediakan ¹ [2006 OECD Broadband Statistics to December 2006](#) lu “on” tanpa *delay* yang berarti.

Broadband menjadi sangat penting ketika pada zaman ini, manusia membutuhkan akses yang tidak hanya terbatas pada bidang keilmuan *ICT* itu

sendiri, akan tetapi juga pada semua sumber daya untuk meningkatkan kualitas kehidupan manusia antara lain di bidang :

1. Pendidikan budaya (*Education, Culture, & Entertainment*), dimana *broadband* mampu mengatasi kendala geografis dan keuangan dalam mengakses segala kemungkinan, kesempatan dan sumber daya pendidikan dan kebudayaan.
2. Kesehatan (*Telehealth & Telemedicine*), dengan memfasilitasi segala aktivitas perlindungan kesehatan melalui perawatan, diagnosa, dan konsultasi yang dilakukan secara remote oleh para pakar.
3. Pembangunan Ekonomi (*Economic Development/E-Commerce*), di dalam mempromosikan pembangunan ekonomi dan revitalisasi melalui *electronic commerce (e-commerce)*. Dengan cara ini pula mampu menciptakan lapangan pekerjaan baru dan menarik minat dunia industry, serta dapat menyediakan akses bagi pasar regional, nasional dan dunia.
4. Kenegaraan (*Electronic Government /E-Government*). Melalui akses *broadband*, segala informasi dengan dinas pemerintah (termasuk kebijakan, prosedur dan program-program) bahkan dapat dilakukan secara interaktif.
5. Keamanan (*Public Safety and Homeland Security*), misalnya berupa *early warning system* dan program antisipasi penanggulangan bencana, *remote security monitoring* dan *system backup* jaringan layanan umum.
6. Layanan dan nilai tambah. Sebagai contoh adalah teknologi *Voice Over Internet Protocol (VoIP)* yang membuat komunikasi suara bisa dilakukan menggunakan *internet*, sehingga dapat mengurangi biaya komunikasi.



Gambar 2.12 Konfigurasi Jaringan Serat Optik Sampai ke User

Sumber : Alcatel Indonesia, 2010

2.3 Desain Analisis dan Perancangan

2.3.1 Design of Experiment (DoE)

Design of Experiment adalah proses perencanaan suatu percobaan sampai menghasilkan data yang sesuai dan dapat dianalisis menggunakan metode statistik sampai menghasilkan kesimpulan yang valid, objektif dan berarti.

Ada 3 prinsip dasar dalam DoE, yaitu replikasi, randomisasi atau pengacakan dan kontrol lokal.

1. Perlakuan (*treatment*)

Diartikan sebagai sekumpulan dari pada kondisi-kondisi percobaan yang akan digunakan terhadap unit percobaan dalam ruang lingkup desain yang dipilih. Perlakuan ini bisa berbentuk tunggal atau terjadi dalam bentuk kombinasi. Replikasi disini diartikan pengulangan percobaan dasar. Dalam kenyataan replikasi ini diperlukan karena:

- Memberikan taksiran kekeliruan percobaan yang dapat dipakai untuk menentukan panjang interval konfidens (selang kepercayaan) atau dapat digunakan sebagai “satuan pengukuran“ untuk penetapan taraf signifikan dari pada perbedaan-perbedaan yang diamati.

- Menghasilkan taksiran yang lebih akurat untuk kekeliruan percobaan.
- Memungkinkan kita untuk memperoleh taksiran yang baik mengenai efek rata-rata sesuatu faktor.

2. Pengacakan

Umumnya pengacakan diperlukan untuk prosedur pengujian, asumsi-asumsi tertentu perlu diambil dan memenuhi agar supaya pengujian yang dilakukan menjadi benar.

3. Kontrol Lokal

Kontrol lokal merupakan sebagian daripada keseluruhan prinsip desain yang harus dilaksanakan. Biasanya merupakan langkah-langkah atau usaha-usaha yang berbentuk penyeimbang, pemblokkan, dan pengelompokan unit-unit percobaan yang digunakan dalam desain. Jika replikasi dan pengecekan pada dasarnya memungkinkan berlakunya uji keberartian, maka kontrol menyebabkan desain lebih efisien, yaitu menghasilkan proses pengujian dengan kuasa yang lebih tinggi.

Dengan pengelompokan akan diartikan sebagai penempatan sekumpulan unit percobaan yang homogen kedalam kelompok – kelompok agar supaya kelompok yang berbeda memungkinkan untuk mendapatkan perlakuan yang berbeda pula.

Pemblokkan berarti pengacakan unit – unit percobaan kedalam blok sedemikian sehingga unit – unit dalam blok secara relatif bersifat homogen.

Penyeimbangan diartikan usaha memperoleh unit – unit percobaan, usaha pengelompokan, pemblokkan dan penggunaan perlakuan terhadap unit – unit percobaan sedemikian rupa sehingga dihasilkan suatu konfigurasi atau formasi yang seimbang.

2.3.2 Langkah-langkah Membuat Desain Percobaan

Langkah-langkah desain percobaan mengandung hal-hal pokok sebagaimana telah dirumuskan oleh Kempthorne sebagai berikut :

- Pernyataan mengenai masalah atau persoalan yang dibahas.

- Perumusan hipotesis.
- Penentuan teknik dan desain percobaan yang diperlukan.
- Pemeriksaan semua hasil yang mungkin dan latar belakang atau alasan-alasan agar supaya percobaan setepat mungkin memberi informasi yang diperlukan.
- Mempertimbangkan semua hasil yang mungkin ditinjau dari prosedur statistika yang diharapkan berlaku untuk itu, dalam rangka menjamin dipenuhinya syarat-syarat yang diperlukan dalam prosedur tersebut.
- Melakukan percobaan.
- Penggunaan teknis statistika terhadap data hasil percobaan.
- Mengambil kesimpulan dengan jalan menggunakan atau memperhitungkan derajat kepercayaan yang wajar menjadi satuan-satuan yang dinilai.
- Penilaian seluruh penelitian, dibandingkan dengan penelitian-penelitian lain mengenai masalah- masalah yang sama.

2.3.3 Kekeliruan percobaan

Kekeliruan percobaan menyatakan kegagalan daripada dua unit percobaan identik yang dikenai perlakuan untuk memberikan hasil yang sama ini dapat terjadi misalnya kekeliruan waktu menjalankan percobaan, kekeliruan pengamatan, variasi dari bahan percobaan , variasi antara unit percobaan dan pengaruh gabungan dari semua faktor tambahan yang mempengaruhi karakteristik yang sedang dipelajari.

2.3.4 Percobaan Faktorial

Percobaan faktorial merupakan suatu pola (cara) melakukan percobaan, untuk mencoba secara serentak (bersamaan) dari beberapa faktor dalam suatu percobaan. *Percobaan faktorial adalah percobaan yang mencoba dua faktor atau lebih dan masing-masing faktor terdiri dari dua level atau lebih, dimana semua (hampir semua) taraf setiap faktor dikombinasikan menjadi kombinasi perlakuan.* Model matematis dari percobaan faktorial dengan 2 (faktor A dan B) adalah (Montgomery, 2005) :

$$Y_{ijk} = \mu + \tau_i + \beta_j + (\tau\beta)_{ij} + \varepsilon_{ijk} \quad \begin{cases} i = 1, 2, \dots, a \\ j = 1, 2, \dots, b \\ k = 1, 2, \dots, n \end{cases} \quad (2.3)$$

Dimana :

Y = hasil pengamatan

μ = rata-rata keseluruhan

τ_i = pengaruh faktor A level ke-i

β_j = pengaruh faktor B level ke-j

$(\tau\beta)_{ij}$ = pengaruh interaksi antara τ_i dan β_j

ε_{ijk} = kesalahan percobaan

Dalam percobaan faktorial, harus memperhatikan perubahan yang terjadi dalam sebuah faktor; apakah mengakibatkan perubahan yang nyata dari nilai-nilai peubah (variabel) respon pada setiap level dari faktor yang lain. Jika terdapat perubahan yang berarti (nyata), maka kedua faktor tersebut dikatakan terjadi interaksi. Dengan kata lain bahwa faktor yang satu dengan faktor yang lain tidak bersifat bebas atau saling mempengaruhi (terdapat interaksi). Jika terdapat perubahan yang tidak berarti (tidak nyata), ataukah adanya perubahan tersebut karena pengaruh deviasi, maka antara kedua faktor tersebut dikatakan tidak terdapat interaksi, atau dapat dikatakan bahwa faktor yang satu bersifat bebas terhadap faktor yang lain.

2.3.4.1 Faktor dan Level/Tingkat Faktor

Faktor adalah jenis perlakuan yang diberikan pada suatu percobaan dan tingkat faktor adalah uraian dari jenis perlakuan tersebut. Berdasarkan pembagian tingkat faktor, maka faktor dapat dibagi menjadi beberapa macam :

1. Faktor kuantitatif, yaitu faktor yang dapat dinyatakan secara kuantitatif, misalnya: dosis, temperatur, tekanan, konsentrasi larutan
2. Faktor kualitatif bertingkat, misalnya: derajat penyakit (sedang, berat, sangat berat), penggolongan tingkat umur (dibawah 25 tahun, antara 25-35 tahun, diatas 35 tahun).

3. Faktor kualitatif khusus, misalnya: varietas dalam percobaan varietas, macam-macam hama/ penyakit, macam-macam metoda pengukuran dalam percobaan laboratorium.
4. Faktor kualitatif cuplikan, merupakan faktor kualitatif yang dapat dianggap sebagai cuplikan dari periode tertentu dari suatu populasi.

2.3.4.2 Kelebihan dan Kelemahan Percobaan Faktorial

Kelebihan (Montgomery, 2005):

1. Dapat menghemat waktu dan biaya, bila dibandingkan dengan percobaan tunggal untuk mencapai skop dan ketelitian yang sama.
2. Dapat diketahui adanya kerjasama antara faktor (interaksi) dan pengaruh faktor dari dua faktor atau lebih.
3. Dapat dilaksanakan, mana faktor yang lebih penting atau kurang penting (pada percobaan petak terpisah).
4. Kalau percobaan makin besar, dapat dilakukan pembauran dan menghilangkan beberapa perlakuan kombinasi sehingga ketelitiannya tetap dapat ditingkatkan.
5. Dapat mencapai beberapa masalah sekaligus.

Kelemahan:

1. Makin banyak faktor yang diteliti, perlakuan kombinasinya makin meningkat pula, sehingga ukuran percobaan makin besar dan akan mengakibatkan ketelitiannya makin berkurang.
2. Perhitungan/analisisnya menjadi lebih rumit bila faktor/level ditambah, sehingga memerlukan ketelitian yang lebih cermat.
3. Interaksi lebih dari dua faktor agak sulit untuk menginterpretasikan.

2.3.5 *Analysis of Variance (ANOVA)*

Salah satu teknik yang digunakan untuk menganalisa dampak faktor terhadap suatu respon adalah *Analisis varians (ANOVA)*. *ANOVA* diuraikan sebagai variabilitas variabel respon diantara beberapa faktor yang berbeda. Pada *ANOVA*, sangat penting untuk menentukan faktor apa yang signifikan berdampak

terhadap respon dan berapa banyak variabilitas variabel respon yang diakibatkan oleh setiap faktor

ANOVA adalah analisis variasi yang timbul dalam suatu percobaan. Variasi didefinisikan sebagai derajat dimana 2 atau lebih hal berbeda dibandingkan. *ANOVA* digunakan untuk mengetes hipotesa bahwa rata-rata antara 2 atau lebih group apakah sama dengan membandingkan variansi pada tingkat kepercayaan tertentu. Dengan kata lain, menguji apakah variasi dalam percobaan tidak lebih besar dari variasi normal. Asumsinya adalah bahwa sampel memiliki distribusi normal dan memiliki variansi yang sama.

Hipotesa awal (H_0) dari *ANOVA* adalah dengan menganggap bahwa rata-rata group adalah sama (faktor tidak signifikan) dan hipotesa alternative (H_a) selalu bahwa rata-rata group tidak sama (faktor signifikan) Untuk menentukan apakah hipotesa tersebut benar atau tidak, digunakan uji statistik F.

Cara lain untuk menentukan bagaimana suatu data berelasi adalah dengan menggunakan *p-value*. Nilai *p-value* biasanya dihitung secara komputerisasi . Aturannya adalah menerima H_0 jika *p-value* lebih besar atau sama dengan tingkat kepercayaan (nilai alpha), begitu sebaliknya.

Secara Umum, hipotesa dapat dinyatakan dalam persamaan berikut :

$$H_0 : \mu_1 = \mu_2 \text{ atau } \mu_1 - \mu_2 = 0 \quad (2.4)$$

$$H_a : \mu_1 \neq \mu_2 \text{ atau } \mu_1 - \mu_2 \neq 0 \quad (2.5)$$

One-way ANOVA menjelaskan analisis variansi yang timbul pada faktor tunggal sedangkan *two-way ANOVA* yang ditimbulkan oleh 2 faktor. *One-way ANOVA* digunakan ketika data dibagi dalam kelompok berdasarkan 1 jenis faktor untuk mengetahui apakah ada perbedaan yang signifikan antar group dan jika ada, group mana yang berbeda signifikan dari yang lain. Uji statistik diterapkan untuk membandingkan rata-rata group, rata-rata median, dan standar deviasi dengan teknis yang populer adalah Tukey's HSD. Hasil analisis *One-Way ANOVA* dan *two-way ANOVA* ditabelkan pada tabel 2.1 dan 2.2.

Tabel 2.1 *One-way ANOVA*

Source of Variation	d.f.	SS	MS	F ₀
Factor A (between groups)	a-1	$SSA = \sum_{i=1}^a n_i (\bar{y}_i - \bar{y}_{..})^2$	$MSA = \frac{SSA}{(a-1)}$	$\frac{MSA}{MSE}$
Error (within groups)	N-a	$SSE = SST - SSA$	$MSE = \frac{SSE}{(N-a)}$	
Total	N-1	$SST = \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^n (y_{ij} - \bar{y}_{..})^2$		

Sumber : Montgomery, 2005

a	=	jumlah level untuk setiap faktor
i	=	level faktor
j	=	percobaan ke pada suatu level
n _i	=	jumlah percobaan pada faktor level ke-i
y _{ij}	=	nilai respon pada faktor level ke-I dan percobaan ke-j
y _{..}	=	rata-rata keseluruhan
y _{i.}	=	rata-rata faktor level ke-i
N	=	jumlah total percobaan
SS	=	<i>Sum of Square</i>
MS	=	<i>Mean of Square</i>

Tabel 2.2 *Two-way ANOVA*

Source of Variation	d.f.	SS	MS	F ₀
Factor A (between groups)	a-1	$SSA = \sum_{i=1}^a n_i (\bar{y}_i - \bar{y}_{..})^2$	$MSA = \frac{SSA}{(a-1)}$	$\frac{MSA}{MSE}$
Factor B (between groups)	b-1	$SSB = \sum_{j=1}^b n_j (\bar{y}_j - \bar{y}_{..})^2$	$MSB = \frac{SSB}{(b-1)}$	$\frac{MSB}{MSE}$
Error (within groups)	(a-1)(b-1)	$SSE = SST - SSA - SSB$	$MSE = \frac{SSE}{(a-1)(b-1)}$	
Total	N-1	$SST = \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^n (y_{ij} - \bar{y}_{..})^2$		

Sumber : Montgomery, 2005

a	=	jumlah level untuk faktor pertama
b	=	jumlah level untuk faktor kedua
i	=	level faktor pertama

j	=	level faktor kedua
n_i	=	jumlah percobaan pada level faktor ke-i untuk faktor pertama
n_j	=	jumlah percobaan pada level faktor ke-j untuk faktor kedua
y_{ij}	=	nilai respon pada level faktor ke- i dan j
$y_{..}$	=	rata-rata keseluruhan
$y_{i.}$	=	rata-rata level faktor ke-i untuk faktor pertama
$y_{.j}$	=	rata-rata level faktor ke-j untuk faktor kedua
SS	=	<i>Sum of Square</i>
MS	=	<i>Mean of Square</i>

