

**ANALISA UNJUK KERJA SISTEM KOMUNIKASI SERAT OPTIK**

*Wiwien Hadikurniawati, Sarita Yuniarti Hanum  
Dosen Fakultas Teknik Universitas Stikubank Semarang*

---

**DINAMIKA  
TEKNIK**  
Vol. II, No. 2  
Juli 2008  
161 – 172

---

**Abstract**

*Growth of telecommunications technology in this time very fast. Consumer of telecommunications no only seeing sophisticated a communications system technology but also consider efficiency aspects and effectiveness. Communications system which quickly and cheap represent prima facie choice. Communications optic fibre system offer speed of data which is better to be compared to copper strand of metal system. Communications optic fibre system use light for the process of delivery of data by using method reflection of perfection. This article will explain more circumstantial about process and structure work optic fibre communications system.*

**Key words : optic fibre, communication system, single mode, multi mode, transmitter, receiver**

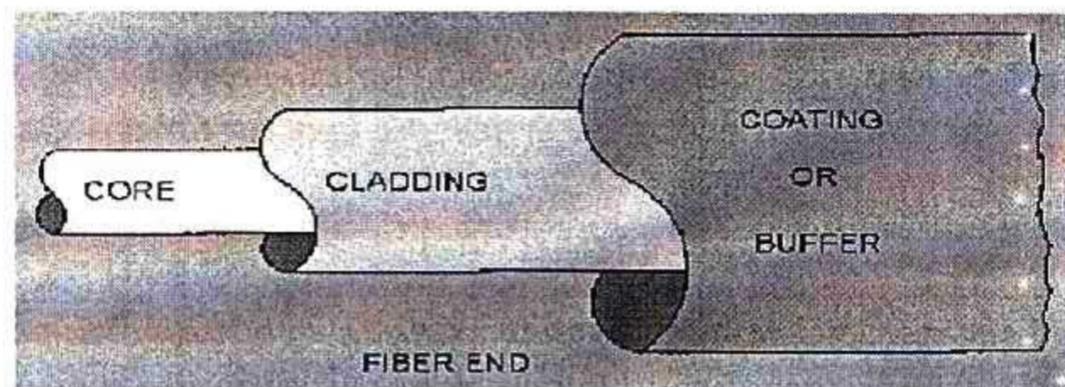
**Pendahuluan**

Telah dikembangkan sebuah teknologi baru yang menawarkan kecepatan data yang lebih besar sepanjang jarak yang lebih jauh dengan harga yang lebih rendah daripada sistem kawat tembaga. Teknologi baru ini adalah serat optik, di mana serat optik menggunakan cahaya untuk mengirimkan informasi (data). Cahaya yang membawa informasi dapat dipandu melalui serat optik berdasarkan fenomena fisika yang disebut *total internal reflection* (pemantulan sempurna). Secara tinjauan cahaya sebagai gelombang elektronika, informasi dibawa sebagai kumpulan gelombang-gelombang elektromagnetik terpadu yang disebut mode. Serat optik terbagi menjadi 2 tipe yaitu *single mode* dan *multi mode*.

Sistem komunikasi serat optik digunakan untuk memenuhi kebutuhan akan transmisi data yang semakin pesat. Hal-hal lain yang melatarbelakangi digunakannya transmisi serat optik antara lain perkembangan teknologi komunikasi yang menuju kepada jaringan telekomunikasi digital dan *broadband*, konvergensi teknologi komputer, telekomunikasi dan broadcast.

### Struktur Serat Optik

Struktur dasar sebuah serat optik terdiri dari 3 bagian : *core* (inti), *cladding* (kulit) dan *coating* (mantel) atau *buffer* (pelindung), seperti yang ditunjukkan pada gambar 1. Inti adalah sebuah batang silinder yang terbuat dari bahan dielektrik (bahan silica,  $\text{SiO}_2$ ), biasanya diberi doping dengan germanium oksida ( $\text{GeO}_2$ ) atau fosfor penta oksida ( $\text{P}_2\text{O}_5$ ).



Gambar 1. Struktur Dasar Serat Optik

Meskipun cahaya merambat sepanjang inti serat tanpa lapisan material kulit, namun kulit memiliki beberapa fungsi :

- Mengurangi cahaya yang *loss* dari inti ke udara sekitar
- Mengurangi *loss* hamburan pada permukaan inti.
- Melindungi serat dari kontaminasi penyerapan permukaan
- Menambah kekuatan mekanis

Untuk perlindungan tambahan, kulit dibungkus oleh lapisan tambahan (terbuat dari plastik jenis tertentu) yaitu mantel atau *buffer* untuk melindungi serat optik dari kerusakan fisik. *Buffer* bersifat elastis, mencegah abrasi dan mencegah *loss* hamburan akibat *microbends*.

Keunggulan utama dari serat optik dibandingkan dengan kabel logam dalam hal konstruksinya ialah bahwa serat optik sangat kecil dan ringan, sehingga tidak membutuhkan ruang yang besar. Namun kelemahannya, kabel serat optik sangat rentan dan sensitif terhadap gangguan mekanik dan uap air. Karena itu kabel serat optik harus dilindungi oleh material-material lain yang lebih kuat. Pada dasarnya, material-material pelindung tersebut dibuat untuk menguatkan struktur

dasar/konstruksi dari serat optik, seperti mengkakukan serat optik sehingga tidak mudah tertekuk. Semakin kuat materi pelindungnya, biasanya semakin keras. Untuk kabel tanam langsung, maka material-material pelindungnya meliputi jaket HDPE (*High Density Polythylene*), pelindung dari uap air, pelapis baja hingga pita alumunium. Untuk kabel udara harus dilengkapi dengan *bearer* dari baja agar mantap ketika digantung dan tidak mudah putus bila terkena tekanan seperti angin dan gaya gravitasi bumi.

### **Tipe Serat Optik**

Serat optik dibedakan dari struktur dan dari properti transmisinya. Pada dasarnya, serat optik diklasifikasikan ke dalam dua tipe, yaitu serat *single mode* dan *multi mode* berdasarkan jumlah mode yang merambat sepanjang serat optik. Perbedaan mendasar pada keduanya adalah ukuran inti (*core*). Pada *single mode* ukuran inti kecil. Ukuran inti (diameter) antara 8 sampai 10 mikrometer. *Single mode* mempunyai rugi sinyal rendah dan kapasitas informasi yang tinggi (*bandwith*) dibandingkan dengan *multi mode*. Serat *multi mode* dapat merambat lebih dari satu mode. Serat multi mode dapat merambat lebih dari 100 mode. Jumlah mode yang dirambatkan tergantung dari ukuran inti dan numerical aperture (NA). Semakin besar ukuran inti dan NA, maka jumlah mode akan bertambah. NA yang tinggi dan ukuran inti yang besar menjadikan serat mudah untuk dibuat koneksi seratnya.

### **Perambatan Cahaya Di Dalam Serat Optik**

Konsep perambatan cahaya di dalam serat optik, ditinjau dengan dua pendekatan/teori, yaitu optik geometrik di mana cahaya dipandang sebagai sinar yang memenuhi hukum-hukum geometrik cahaya (pemantulan dan pembiasan) dan optik fisis, di mana cahaya dipandang sebagai gelombang elektromagnetik (teori mode).

### a. Tinjauan Optik Geometrik

Dari tinjauan optik geometrik memberikan gambaran yang jelas dari perambatan cahaya sepanjang serat optik. Ada dua tipe sinar dapat merambat sepanjang serat optik, yaitu sinar meridian di mana sinar dapat merambat memotong sumbu serat optik dan *skew ray* di mana sinar merambat tidak melalui sumbu serat optik. Sinar meridian dapat diklasifikasikan menjadi *bound* dan *unbound rays*. *Unbound rays* dibiaskan keluar dari inti, sedangkan *bound rays* akan terus-menerus dipantulkan dan merambat sepanjang inti. Secara umum sinar-sinar meridian mengikuti hukum pemantulan dan pembiasan.

*Numerical aperture* (NA) merupakan parameter yang menentukan seberapa baik cahaya dapat dilewatkan dalam serat optik, atau dikenal juga dengan istilah *coupling*. Refraksi cahaya dapat terjadi antara 2 material kaca yang memiliki indeks bias berbeda. Cahaya merambat dalam serat optik dengan memanfaatkan prinsip refraksi internal total pada pertemuan antara *core* dengan *cladding*, sehingga cahaya merambat sebagai gelombang terpandu (*guided wave*). Adanya refraksi pada inti serat optik akan menyebabkan *loss* karena sebagian cahaya tidak dipantulkan ke dalam serat optik, melainkan menembus *cladding* dan tidak kembali ke dalam inti. Refraksi ini terjadi karena sudut datang cahaya melebihi batasan sudut yang memungkinkan cahaya dipantulkan kembali.

Adapun *numerical aperture* didefinisikan dengan:

$$NA = \sin \theta_c = \sqrt{n_1^2 - n_2^2} \dots\dots\dots(1)$$

di mana :

$\theta_c$  : sudut datang cahaya yang diperbolehkan

$n$  : indeks bias *core* dan *cladding*

*Numerical aperture* akan semakin mengecil seiring dengan mengecilnya diameter inti. Karena itu pada serat optik *single mode* yang berdiameter inti sekitar 10 mikrometer, nilai *numerical aperture* lebih kecil bila dibandingkan dengan serat optik *multi mode*, yang berdiameter inti sebesar 50 mikrometer. Semakin kecil nilai

*numerical aperture*, semakin besar sudut datang cahaya yang memungkinkan cahaya untuk dipantulkan.

### b. Tinjauan Optik Fisis

Pendekatan cahaya sebagai sinar hanya menerangkan bagaimana arah sebuah gelombang datar merambat di dalam sebuah serat namun tidak meninjau sifat lain dari gelombang datar yaitu *interferensi*, di mana gelombang datar saling berinterferensi sepanjang perambatan, sehingga hanya tipe-tipe gelombang datar tertentu saja yang dapat merambat sepanjang serat. Oleh karena itu diperlukan tinjauan optik fisis yang memandang cahaya sebagai gelombang elektromagnetik yang disebut teori moda. Teori moda selain digunakan untuk menerangkan tipe-tipe gelombang datar yang dapat merambat sepanjang serat, juga menerangkan sifat-sifat serat optik seperti *absorpsi*, *attenuasi* dan *dispersi*.

Mode adalah konfigurasi perambatan cahaya di dalam serat optik yang memberikan distribusi medan listrik dalam *transverse* yang stabil sehingga cahaya dapat dipandu di dalam serat optik. Kumpulan gelombang-gelombang elektromagnetik yang terpandu di dalam serat optik disebut mode-mode. Teori mode memandang cahaya sebagai sebuah gelombang datar yang dinyatakan dalam arah, amplitudo dan panjang gelombang dan perambatannya. Gelombang datar adalah sebuah gelombang yang permukaannya (di mana pada permukaan ini fasenya konstan, disebut muka gelombang) adalah bidang datar tak berhingga tegak lurus dengan arah perambatan. Hubungan panjang gelombang, kecepatan rambat dan frekuensi gelombang dalam suatu medium :

$$\lambda = \frac{C}{f \cdot n} \dots\dots\dots(2)$$

- di mana :
- $\lambda$  = panjang gelombang
  - $C$  = kecepatan cahaya dalam ruang hampa =  $3 \cdot 10^8$  m/det
  - $f$  = frekuensi cahaya
  - $n$  = indeks bias medium

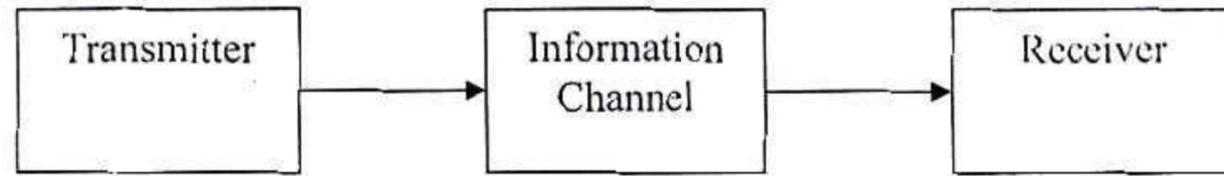
Pada suatu serat, perambatan konstan dari gelombang datar merupakan fungsi dari mode dan panjang gelombang. Perubahan dalam perambatan konstan untuk gelombang yang berbeda disebut dispersi. Pemancar cahaya pada serat optik memancarkan cahaya dengan frekuensi yang berbeda-beda, tidak pada satu frekuensi saja. Hal ini menyebabkan dispersi kromatik, yaitu perubahan dalam perambatan konstan untuk panjang gelombang yang berbeda. Perubahan dalam perambatan konstan untuk mode yang berbeda disebut dispersi modal. Pada serat multi mode semakin bertambah jumlah mode, dispersi modalnya juga bertambah. Dispersi bahan hanya terdapat pada serat jenis *multi mode*, karena pada jenis ini diameter inti cukup besar sehingga cahaya dapat merambat dengan lintasan yang berbeda-beda. Lintasan yang berbeda menyebabkan waktu perambatan yang berbeda sehingga pulsa akan melebar. Namun pada jenis *graded-indeks multimode*, dispersi ini dapat dikurangi dengan cukup signifikan karena indeks bias yang berubah secara gradual di perbatasan inti dan cladding menyebabkan kecepatan rambat cahaya pada daerah tersebut lebih kasar, sehingga waktu tempuh tiap lintasan hampir sama.

Dispersi bahan dapat dikarenakan indeks bias bahan yang berbeda untuk panjang gelombang cahaya yang berbeda. Dispersi *waveguide* hampir tidak berpengaruh pada serat *multi mode*, tetapi cukup signifikan pada *single mode*. Dispersi ini diakibatkan karena posisi pembuatan inti (*core*) yang tidak sempurna, sehingga menyebabkan perbedaan panjang gelombang dalam *core*.

### **Dasar Sistem Komunikasi Serat Optik**

Dasar dari sistem komunikasi terdiri dari sebuah pemancar (*transmitter*), *information channel* dan penerima (*receiver*) seperti ditunjukkan dalam gambar 2. Pada *transmitter* informasi dihasilkan dan diolah menjadi bentuk yang sesuai untuk dikirimkan sepanjang *information channel*, informasi ini berjalan dari *transmitter* ke *receiver* melalui *information channel* ini. *Information channel* dapat dibagi menjadi 2 kategori : *Unguided channel* dan *Guided channel*. Contoh dari *unguided channel* adalah atmosfer. Sistem yang menggunakan *atmospheric channel* adalah radio,

televisi dan *microwave relay links*. *Guided channels* mencakup berbagai variasi struktur transmisi konduksi, seperti *two wire line*, *coaxial cable*, *twisted-pair*.



Gambar 2. Dasar Sistem Komunikasi

Gambar 2 menunjukkan blok diagram sistem komunikasi serat optik secara umum, di mana fungsi-fungsi dari setiap bagian adalah sebagai berikut :

**a. Message Origin**

*Message origin* dapat berupa besaran fisik non listrik (suara atau gambar), sehingga diperlukan transduser (sensor) yang merubah *message* dari bentuk non listrik ke bentuk listrik. Contoh : mikrofon merubah gelombang suara menjadi arus listrik dan *videos cameras* (CCD) merubah gambar menjadi arus listrik.

**b. Modulator dan Carrier Source**

*Modulator* memiliki dua fungsi utama, yaitu merubah *message* elektrik ke dalam bentuk yang sesuai dan menumpangkan sinyal ini pada gelombang yang dibangkitkan oleh *carrier source*. Format modulasi dapat dibedakan menjadi modulasi analog dan digital. Pada modulasi digital untuk menumpangkan sinyal data digital pada gelombang *carrier*, *modulator* cukup menghidupkan atau mematikan *carrier source* sesuai dengan sinyal datanya.

**c. Carrier Source**

*Carrier source* membangkitkan gelombang cahaya di mana padanya informasi ditransmisikan, yang umum digunakan adalah *Laser Diode* (LD) atau *Light Emitting Diode* (LED). Pemancar jenis laser dioda memiliki lebar spektral yang lebih sempit daripada pemancar LED, sehingga menghasilkan dispersi kromatik yang lebih kecil. Intinya, bila pemancar cahaya benar-benar hanya memancarkan satu cahaya saja, maka tidak akan terjadi dispersi kromatik.

#### **d. Channel Coupler**

*Channel coupler* menyalurkan *power* gelombang cahaya yang telah termodulasi dari *carrier source* ke *information channel* (serat optik).

#### **e. Information Channel (Serat Optik)**

Karakteristik yang diinginkan dari serat optik adalah atenuasi yang rendah dan sudut *light-acceptance-cone* yang besar. *Amplifier* dibutuhkan pada sambungan yang sangat panjang (ratusan atau ribuan kilometer) agar didapatkan *power* yang cukup pada *receiver*. *Repeater* hanya dapat digunakan untuk sistem digital di mana ia akan merubah sinyal optik yang lemah ke bentuk listrik kemudian dikuatkan dan dikembalikan ke bentuk sinyal optik untuk transmisi berikutnya. Waktu perambatan cahaya di dalam serat optik bergantung pada frekuensi cahaya dan pada lintasan yang dilalui, sinyal cahaya yang merambat di dalam serat optik memiliki frekuensi berbeda-beda dalam rentang tertentu (lebar spektrum frekuensi) dan powernya terbagi-bagi sepanjang lintasan yang berbeda-beda. Hal inilah yang menyebabkan distorsi pada sinyal.

Pada sistem digital distorsi ini berupa pelebaran (dispersi) pulsa digital yang merambat di dalam serat optik, pelebaran ini makin bertambah dengan bertambahnya jarak yang ditempuh, dan pelebaran ini akan tumpang tindih dengan pulsa-pulsa yang lainnya, hal ini akan menyebabkan kesalahan pada deteksi sinyal. Adanya dispersi membatasi kecepatan informasi. Pada fenomena *optical soliton*, efek dispersi ini diimbangi dengan efek nonlinier dari serat optik sehingga pulsa sinyal dapat merambat tanpa mengalami perubahan bentuk (tidak melebar).

#### **f. Detector dan Amplifier**

Digunakan foto detector (*photo-diode*, *photo transistor*) yang berfungsi merubah sinyal optik yang diterima menjadi sinyal listrik.

#### **g. Signal Processor**

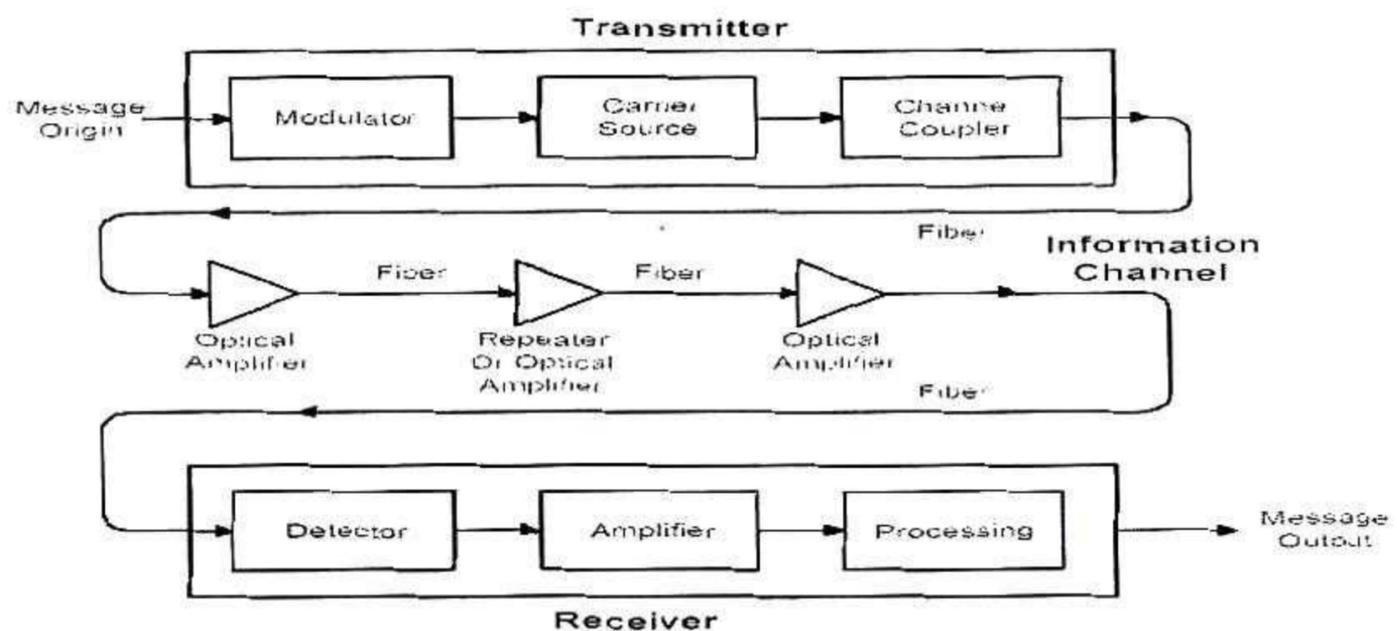
Untuk transmisi analog, sinyal processor terdiri dari penguatan dan filtering sinyal. *Filtering* bertujuan untuk memaksimalkan rasio dari daya sinyal terhadap power sinyal yang tidak diinginkan. Fluktuasi acak yang ada pada sinyal yang diterima diebut sebagai *noise*. Pengaruh *noise* terhadap sistem komunikasi ditentukan

oleh besaran SNR (*Signal to Noise Ratio*), yaitu perbandingan daya sinyal dengan daya noise, biasanya dinyatakan dalam desibel (db). Makin besar SNR maka makin baik kualitas sistem komunikasi tersebut terhadap gangguan *noise*.

Pada sistem digital, sinyal prosesor terdiri dari penguatan dan *filtering* sinyal serta rangkaian pengambil keputusan. Rangkaian pengambil keputusan ini memutuskan apakah sebuah bilangan biner 0 atau 1 yang diterima selama slot waktu dari setiap individual bit. Karena adanya *noise* yang tidak dapat dihilangkan maka selalu ada kemungkinan kesalahan dari proses pengambilan keputusan ini, dinyatakan dalam besaran *Bit Error Rate* (BER) yang nilainya harus kecil. Jika data yang dikirim adalah analog (misal suara), namun ditransmisikan melalui serat optik secara digital (pada *transmitter* dibutuhkan *Analog to Digital Converter* (ADC) sebelum sinyal masuk *modulator*) maka dibutuhkan juga *Digital to Analog Converter* (DAC) pada sinyal prosesor, untuk merubah data digital menjadi analog, sebelum dikeluarkan ke *output* (misalnya speaker).

#### h. Message Output

Jika *output* yang dihasilkan dipresentasikan langsung ke manusia yang mendengar atau melihat informasi tersebut, maka *output* yang masih dalam bentuk sinyal listrik harus diubah menjadi gelombang suara atau *visual image*. Transduser (*actuator*) untuk ini adalah speaker untuk *audio message* dan tabung sinar katoda (CRT) untuk *visual image*.



Gambar 3. Blok Diagram Sistem Komunikasi Serat Optik

### Kelebihan dan Kekurangan Sistem Komunikasi Serat Optik

Sistem komunikasi menggunakan serat optik dikatakan merevolusi dunia telekomunikasi karena dibandingkan dengan sistem konvensional menggunakan kabel logam (tembaga), serat optik memiliki kelebihan :

a. *Less expensive*

Untuk ukuran yang sangat panjang (dalam beberapa mil) serat optik lebih murah daripada kabel tembaga untuk ukuran yang sama.

b. *Thinner*

Serat optik dapat dibuat dengan diameter lebih kecil (ukuran diameter kulit dari serat sekitar 100  $\mu\text{m}$  dan total diameter ditambah dengan jaket pelindung sekitar 1 – 2 mm) daripada kabel tembaga.

c. *Higher Carrying Capacity*

Frekuensi pembawa optik berkisar antara  $10^3$  sampai dengan  $10^6$  Hz, mendekati sinar infra merah. Karena bekerja pada frekuensi tinggi maka jumlah informasi yang dibawa lebih banyak.

d. *Less Signal Degradation*

Sinyal yang *loss* pada serat optik lebih kecil (kurang dari 1 dB/km pada rentang panjang gelombang yang lebar) dibandingkan dengan kabel tembaga.

e. *Light Signals*

Sinyal cahaya dari satu serat optik tidak berinterferensi dengan sinyal cahaya pada serat optik lainnya di dalam kabel yang sama. Tidak ada interferensi elektromagnetik sehingga dapat meningkatkan kualitas percakapan telepon atau penerimaan televisi.

f. *Low Power*

Pada sistem kabel tembaga membutuhkan tegangan listrik yang tinggi, sedangkan pada sistem serat optik *transmitter*nya menggunakan daya yang rendah karena sinyal pada serat optik mengalami *loss* yang rendah. Hal ini jelas akan mengurangi biaya yang dibutuhkan.

g. *Digital Signals*

Dapat menyalurkan sinyal dengan frekuensi tinggi, sehingga cocok untuk pengiriman sinyal digital pada sistem *multipleks digital* dengan beberapa Mbps sampai Gb/s.

h. *Non flammable*

Karena tidak ada arus listrik yang melalui serat optik, maka tidak ada resiko bahaya api.

i. *Flexibile*

Serat optik sangat fleksibel dan dapat mengirim dan menerima cahaya, maka digunakan pada kamera digital fleksibel untuk tujuan :

- Medical imaging*
- Mechanical imaging*
- Plumbing*

### **Aplikasi Sistem Komunikasi Serat Optik**

a. *Telephone Sistem*

Serat optik digunakan pertama kali oleh perusahaan telepon di Amerika Serikat pada April 1977 dengan kecepatan informasi 1,544 Mbps. Sekarang penggunaannya sudah hampir di seluruh dunia dengan kecepatan informasi 1,2 sampai 4,8 Gbps dengan jarak antara 30 sampai dengan 40 kilometer.

b. Video, seperti *broadcast* dan *video on demand*.

c. Komputer dan transmisi data.

d. Lainnya, seperti pengukuran *non contact temperature*, monitoring arus dan tegangan pada *hi-power station*, dll.

## Kesimpulan

1. Teknologi serat optik menawarkan kecepatan data yang lebih besar sepanjang jarak yang lebih jauh dengan harga yang lebih rendah daripada sistem konvensional menggunakan kawat logam (tembaga).
2. Struktur dasar dari sebuah serat optik terdiri dari 3 bagian, yaitu *core* (inti), *cladding* (kulit) dan *coating* (mantel) atau *buffer* (pelindung). Indeks bias kulit lebih kecil daripada indeks bias inti.
3. Dibandingkan dengan sistem konvensional (kabel tembaga) sistem serat optik memberikan keuntungan dalam hal *less expensive, thinner, higher carrying capacity, large bandwidth, less signal degradation, light signals, low power, non-flammable, flexible, easy maintenance*.
4. Sistem komunikasi serat optik secara umum terdiri dari *transmitter* (*message origin, modulator, carrier source* dan *channel coupler*), *information channel* (serat optik) dan *receiver* (*detector, amplifier, signal processor* dan *message output*).

## Daftar Pustaka

- Ainslie, B.J., 1991, *A Review of the Fabrication and Properties of Erbium Doped Fiber for Optical Amplifier*, J. Lightwave Technology, Vol.9 no.2, pp 220 – 227
- Hardley, P.L., 1996, *Introduction to FSO Communication*, IEE Proc Optoelectron.
- Milloni, W.P., Sessler, H.J., 1991, *Lasers*, John Wiley and Sons Pte. Ltd., Singapore.
- Nakagawa, N., Nishi, S., Aida, K., Yoneda, A.F., 1991, *Track and Distribution Network Application of Erbium Doped Fiber Amplifier*, J. Lightwave Technology, Vol.9 no.2, pp 198 – 208.
- Palais, C. Joseph, 1988, *Fiber Optic Communications*, 2<sup>nd</sup> edition, Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey, USA.
- Wilson, J., Howkes, J.F.B., 1983, *Optoelectronics An Introduction*, Prentice Hall, USA.