

## PEMAKAIAN SERAT OPTIK DALAM KOMUNIKASI

Oleh

Herman Dwi Surjono

### Abstrak

Para era globalisasi dan kemajuan teknologi informasi dewasa ini menuntut penyampaian informasi dalam waktu yang cepat pada jangkauan tempat yang tidak terbatas. Ini semua menuntut kualitas transmisi yang handal, untuk itu sejak tahun 1979 telah dikembangkan penggunaan serta optik menggantikan kawat transmisi.

Digunakan serat optik karena serat optik mempunyai beberapa keunggulan yang tidak dimiliki oleh kawat transmisi, yaitu antara lain: bebas interferensi dari luar, bebas dari gangguan medan listrik, ringan, ukuran kecil, mampu membawa data dalam jumlah yang besar, tidak dapat disadap oleh alat macam apa pun sehingga mampu menjamin kerahasiaan data, sejalan dengan fungsi telepon otomatis yang dioperasikan komputer memungkinkan terwujudnya jaringan data yang sepenuhnya digital.

Dalam komunikasi serat optik, informasi dalam bentuk sinyal listrik sebelum dikirim diubah dahulu dalam bentuk sinyal cahaya dengan mempergunakan LED atau dioda LASER. Dengan dasar pemantulan sempurna, sinyal optik dipandu hingga sampai pada penerima. Dan pada penerima, detektor optik akan mengubah sinyal optik menjadi sinyal listrik kembali.

### Pendahuluan

Beberapa bentuk komunikasi selalu muncul dan berkembang dari waktu ke waktu. Mengapa selalu muncul bentuk yang baru karena di samping untuk memperbaiki kualitas dan kehandalan transmisi dan meningkatkan kecepatan laju data sehingga lebih banyak informasi yang dikirim, juga untuk meningkatkan jarak transmisi.

Sistem komunikasi yang mendasar diwujudkan oleh elemen-elemen: pemancar, saluran transmisi, dan penerima. Elemen-elemen ini dapat bervariasi dan berkembang sesuai dengan karakteristik pesan yang akan dikomunikasikan. Pada sistem komunikasi melalui kabel karena jumlah dan jarak

saluran transmisi yang terbatas, maka perkembangannya sekarang ini berkaitan dengan bagaimana mengirim pesan sebanyak-banyaknya dengan saluran seefisien mungkin.

Untuk mengantisipasi perkembangan tersebut kawat konvensional sebagai saluran transmisi rupanya mempunyai beberapa keterbatasan. Pertama adalah kapasitasnya rendah. Sebagaimana kita ketahui bahwa kuantitas informasi yang dikirim berbanding langsung dengan jangkauan frekuensi kerja gelombang pembawa. Semakin tinggi frekuensi pembawa, semakin lebar pula lebar jalur transmisi yang tersedia, dan konsekuensinya kapasitas informasi semakin besar. Sehingga, kecenderungan perkembangan sistem komunikasi saat ini adalah dengan menerapkan frekuensi tinggi. Padahal, pemakaian kawat biasa pada frekuensi tinggi tentu akan menimbulkan efek kulit (skin effect) yang dapat memperburuk laju transmisi (Hardy, 1986).

Keterbatasan kedua adalah bahwa pemakaian kawat biasa sering menimbulkan distorsi bicara silang (cross talk) dan interferensi gelombang elektromagnetik.

Permasalahan-permasalahan tersebut dapat diatasi dengan pemakaian serat optik yang terbuat dari gelas silika yang mudah diperoleh dan merupakan bahan nonkonduktor (isolator) untuk menggantikan kabel konvensional. Serat optik ini berfungsi sebagai pemandu gelombang cahaya. Pada tulisan ini akan dibahas karakteristik serat optik dan beberapa faktor dalam pemakaiannya di dalam sistem komunikasi.

## Prinsip Dasar Optik

Untuk dapat menjelaskan perilaku optik dalam serat gelas, perlu kiranya dibahas terlebih dahulu beberapa hukum optik dasar. Parameter optik dasar dari suatu bahan adalah indeks bias. Dalam ruang angkasa, gelombang cahaya berjalan dengan kecepatan  $c = 3 \times 10^8$  m/s. Kecepatan cahaya ini berhubungan dengan frekuensi  $f$  dan panjang gelombang  $\lambda$  di mana  $c = f \lambda$ . Saat memasuki medium dielektrium atau nonkonduktor, gelombang cahaya akan bergerak dengan kecepatan  $v$  yang lebih kecil dari  $c$ . Perbandingan kecepatan cahaya dalam vakum dengan kecepatan dalam suatu bahan disebut indeks bias dari bahan tersebut, yakni:

$$n = c/v$$

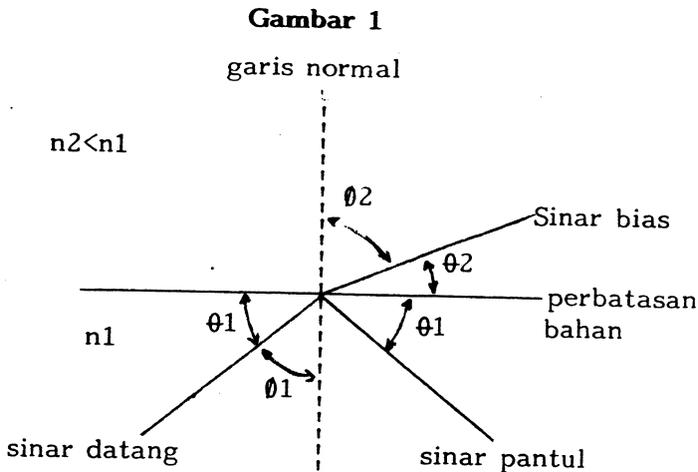
Nilai  $n$  tipikal untuk udara = 1,  $n$  air = 1,33,  $n$  gelas = 1,5, dan  $n$  intan = 2,42.

Konsep pemantulan dan pembiasan dapat diinterpretasikan dengan menganggap perilaku berkas cahaya yang dihubungkan dengan gelombang datar yang melewati bahan dielektrik. Jika seberkas cahaya mengenai perbatasan yang memisahkan dua medium yang berbeda, sebagian berkas dipantulkan kembali ke medium pertama dan sisanya dibelokkan (dibiaskan) saat memasuki bahan kedua. Hal ini terlihat pada gambar 1, di mana  $n_2 < n_1$ . Pembengkokan atau pembiasan berkas cahaya pada perbatasan adalah hasil dari perbedaan kecepatan cahaya dalam dua bahan yang mempunyai indeks bias yang berbeda. Hubungan ini dinyatakan dengan hukum:

$$n_1 \sin \theta_1 = n_2 \sin \theta_2$$

atau

$$n_1 \cos \theta_1 = n_2 \cos \theta_2$$



Apabila sudut datang  $\theta_1$  semakin diperkecil, maka sudut bias pada bahan lebih padat ( $n_2$ ) akan mendekati nol. Kondisi ini disebut sudut datang kritis  $\theta_c$ . Jika sudut datang  $\theta_1$  lebih kecil dari  $\theta_c$  maka berkas cahaya sepenuhnya akan dipantulkan kembali sehingga tidak ada cahaya yang keluar dari gelas (bahan pertama).

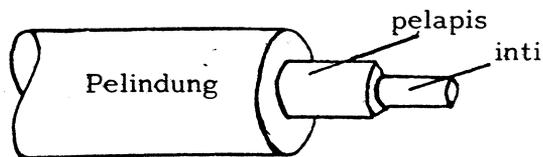
## Struktur dan Mode Serat Optik

Serat optik merupakan pemandu gelombang dielektrik yang beroperasi pada frekuensi optis (cahaya). Umumnya serat pemandu gelombang inti berbentuk silinder yang melewatkan energi elektromagnetik dalam bentuk cahaya dan memandunya paralel terhadap sumbu serat. Karakteristik struktur suatu serat akan menentukan kapasitas serat dalam membawa informasi dan mempengaruhi respon pemandu gelombang.

Propogasi cahaya sepanjang pemandu gelombang dapat dideskripsikan melalui susunan gelombang elektromagnetik yang terpandu atau disebut dengan mode pemandu gelombang. Setiap mode merupakan pola garis-garis medan listrik dan medan magnet yang terulang secara interval panjang gelombang sepanjang serat.

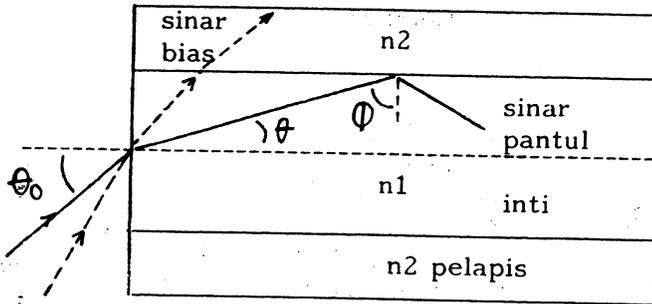
Struktur pemandu gelombang optik berupa dielektrikum tunggal dengan radius  $a$  dan indeks bias nol yang biasanya disebut inti serat. Inti ini dikelilingi Borosilicate yang merupakan bahan dielektrikum untuk pelapis atau sering disebut cladding dengan indeks bias  $n_2$  yang sedikit lebih kecil dari  $n_1$  (lihat gambar 2). Meskipun secara teori pelapis tidak diperlukan oleh cahaya dalam propagasi, tetapi ia mempunyai beberapa tujuan. Pelapis tersebut akan mengurangi kerugian yang disebabkan karena ketidakkontinuan permukaan inti, juga menambah kekuatan mekanik dari serat, dan ia melindungi inti dari kontaminasi lingkungan (Keiser, 1984:20).

Gambar 2



Secara skematis perjalanan seberkas cahaya dalam serat optik dapat digambarkan sebagai berikut (Roddy, 1984).

Gambar 3



Dari hukum Snell, sudut minimum  $\phi_{min}$  yang dapat menyebabkan pemantulan sempurna adalah:

$$\sin(\phi_{min}) = n_2/n_1$$

Berkas cahaya yang mengenai perbatas inti-pelapis dengan sudut datang kurang dari  $\phi_{min}$  akan dibiaskan keluar dari inti dan hilang dalam pelapis. Kondisi persamaan di atas dapat dihubungkan dengan sudut masuk maksimum  $\theta_{max}$  melalui hubungan:

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

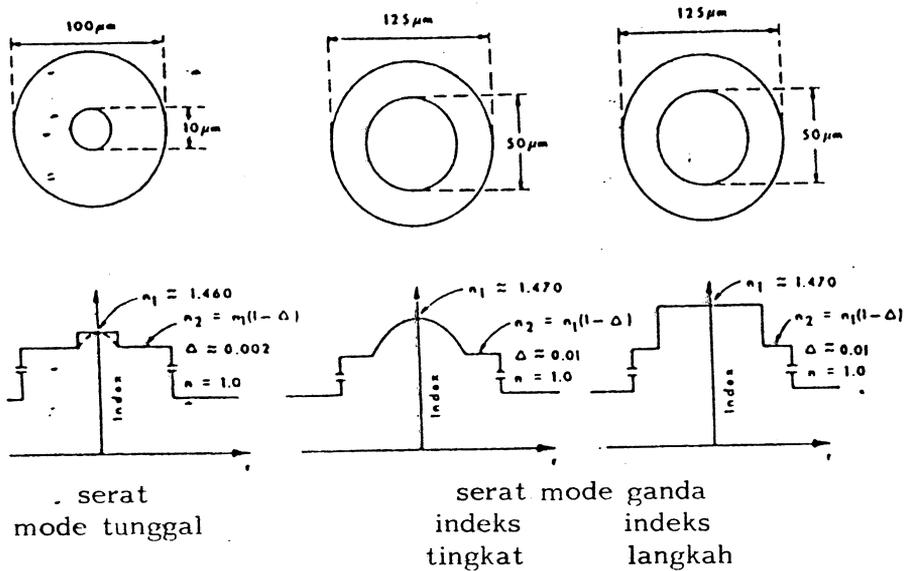
di mana  $\theta_c$  adalah sudut kritis. Sehingga berkas cahaya yang masuk dengan sudut  $\theta_0$  kurang daripada  $\theta_{max}$  akan dipantulkan secara sempurna dalam inti. Kondisi inilah yang dipertahankan dalam pengiriman cahaya dalam serat optik.

Variasi dan komposisi bahan dari inti menimbulkan dua jenis serat yang umum digunakan. Jenis pertama, indeks bias inti merata dan tiba-tiba berubah pada perbatasan dengan pelapis. Ini disebut jenis step-index fiber (serat indeks langkah). Kedua, indeks bias inti berubah sesuai dengan jarak dari tengah serat. Ini disebut jenis graded-index fiber (serat indeks tingkat). Lihat gambar 4.

Kedua jenis tersebut selanjutnya bisa dibagi menjadi mode tunggal (single mode) dan mode ganda (multi mode). Serat mode tunggal berisi hanya satu mode propagasi. Sedangkan serat mode ganda berisi ratusan mode propagasi. Serat mode ganda memberikan beberapa keuntungan dibanding mode tunggal. Radius inti yang lebih besar pada mode ganda akan memudahkan pengumpulan daya optik ke serat dan memudahkan penyambungan antarserat. Di samping itu, pengumpulan cahaya ke dalam serat multi mode dapat meng-

gunakan LED, sementara pada serat mode tunggal harus memakai dioda laser (ILD).

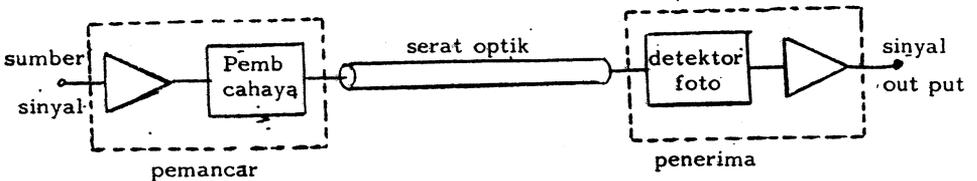
**Gambar 4**



**Sistem Komunikasi dengan Serat Optik**

Transmisi dengan menggunakan serat optik dapat digambarkan sebagai berikut.

**Gambar 5**



Bagian-bagian penting dari sistem tersebut adalah pemancar yang terdiri atas rangkaian penguat dan sumber cahaya, serat optik yang dilapisi oleh kabel bahan logam guna pengaman mekanik atau lingkungan, penerima yang berisi detektor foto dan rangkaian penguat. Serat optik adalah salah satu elemen terpenting dalam transmisi ini. Selain sebagai pengaman serat, kabel logam biasanya berupa kawat tembaga untuk catu daya repeater yang diperlukan pada setiap jarak tertentu.

Salah satu karakteristik serat optik yang prinsip adalah pelemahannya sebagai fungsi dari panjang gelombang. Umumnya, panjang gelombang yang dipakai dalam transmisi berkisar 600-1800 nm. Namun demikian, pelemahan terendah diperoleh pada pemakaian optik dengan panjang gelombang 1100-1600 nm. Dengan perbaikan pada teknologi fabrikasi serat, bisa diperoleh pelemahan sebesar 0,5 db/km pada 1,55 um.

Begitu sinyal optik dipancarkan melalui serat, maka secara progresif sinyal tersebut mendapatkan pelemahan dan distorsi seiring dengan pertambahan jarak. Hal ini bisa disebabkan antara lain oleh penyebaran, penyerapan dan dispersi mekanik di dalam pemandu gelombang (serat) tersebut. Pada penerima, daya optik yang sudah terlemahkan dan distorsi itu dideteksi oleh dioda foto.

## Sumber Cahaya

Sumber cahaya untuk serat optik berlaku sebagai pemancar cahaya sehingga harus memenuhi beberapa kriteria. Pertama, berkas cahayanya harus semonokromatik mungkin (satu frekuensi). Kebanyakan sumber cahaya bukanlah monokromatik, tetapi menempati suatu jalur frekuensi tertentu yang cukup lebar. LED dan ILD (dioda laser), meskipun tidak benar-benar mengeluarkan cahaya monokromatik, sering dipakai dalam sistem serat optik karena spektrum frekuensinya sempit.

Kedua, berkas cahaya yang dipancarkan haruslah berintensitas tinggi sehingga energinya cukup untuk mengatasi pelemahan sepanjang perjalanan di jalur transmisi. Sumber cahaya juga harus dapat dengan mudah dimodulasi baik dengan data analog maupun digital. Dan tentu saja komponen

yang dimaksud haruslah kecil, kompak, dan mudah dikopel ke serat sehingga tidak terjadi kerugian kopling yang berlebihan.

Ada beberapa hal mengapa LED dan ILD sering dipakai dalam sistem serat optik, antara lain adalah bahwa secara dimensi cocok dengan serat optik, memancarkan panjang gelombang 0,8-0,9  $\mu\text{m}$  dan 1,3-1,6  $\mu\text{m}$  yang terletak pada daerah pelemahan serat optik yang rendah, outputnya dapat dikontrol secara cepat dengan mengubah arus biasnya sehingga mudah dimodulasi, dan tahan lama dengan waktu hidup melebihi  $10^6$  jam. Namun, meskipun keduanya punya kesamaan, ada juga perbedaan penting yang perlu diperhatikan.

Perbedaan utamanya adalah bahwa ILD memberikan radiasi berkas cahaya yang relatif sempit, sedangkan LED mempunyai pola radiasi yang lebih besar. Hal ini mempengaruhi jumlah daya optis yang dikopel ke filter dan penyebaran warna pada bandwidth serat. Perbedaan kedua adalah kecepatannya. ILD mampu merespon perubahan arus bias yang lebih cepat daripada LED. Perbedaan ketiga menyangkut linieritas. Cahaya yang dibangkitkan LED hampir sebanding secara linier terhadap arus yang masuk. Tetapi ILD adalah komponen threshold, sehingga output hanya akan linier setelah melalui titik ambang (threshold), yaitu arus minimum yang harus dipenuhi agar ILD dapat bekerja. Sedangkan besarnya arus ambang ini tidaklah konstan, tetapi sangat dipengaruhi oleh temperatur dan umur. Sehingga, pemakaian ILD memerlukan rangkaian penyetabil yang agak kompleks.

ILD cocok untuk penerapan sistem komunikasi serat optik dengan range frekuensi kerja (bandwidth) dari frekuensi menengah hingga frekuensi tinggi. Dibanding dengan LED, ILD memberikan keuntungan, yakni berkas cahaya yang lebih sempit ( $<3\text{nm}$ ), range frekuensi modulasi lebih lebar ( $>500\text{ MGH}$ ) dan daya lebih besar ( $=1\text{mW}$ ). Namun ILD tidak sehandal LED, lebih mahal dan perlu penyetabil.

### **Penerima Optik**

Tujuan penerima optik adalah untuk mendeteksi cahaya yang datang dan mengubahnya menjadi sinyal listrik yang berisi informasi. Inti dari penerima ini adalah detektor foto, yakni yang berfungsi sebagai transduser pengubah cahaya menjadi arus listrik.

Komponen yang sering dipakai dalam sistem komunikasi serat optik sebagai detektor foto adalah dioda foto PIN dan dioda foto avalanche (APD). Alasan pemilihan PIN dan APD biasanya didasarkan atas biaya dan sensitivitas.

Dioda foto PIN merupakan pengembangan dari dioda foto biasa sehingga diperoleh sensitivitas yang tinggi. Yakni dengan cara memberikan lapisan n dengan dopan ringan (hampir mendekati murni atau intrinsic) di antara persambungan dan daerah kontak n yang berdopan lebih tinggi. Lapisan intrinsic ini dibuat agak tebal sehingga sebagian besar photon yang melewati persambungan akan terserap. Kerugiannya adalah bahwa waktu respon dari dioda ini lebih lambat dari dioda biasa, tetapi masih dalam orde nano second.

Adapun APD secara prinsip merupakan penerapan tegangan bias terbalik pada dioda foto PIN, sehingga tercapai kondisi threshold. Pada kondisi ini intensitas internal dekat daerah persambungan menjadi tinggi sehingga elektron yang dipercepat melalui daerah tersebut menyebabkan pasangan hole-elektron sekunder. Dioda foto ini mempunyai sensitivitas yang sangat tinggi.

## Penutup

Serat optik saat ini mulai mengganti kedudukan kawat transmisi dalam sistem komunikasi. Hal ini disebabkan karena serat optik memberikan beberapa keuntungan dibanding dengan saluran kawat. Yakni antara lain: mampu membawa informasi lebih banyak, dapat digunakan pada tempat-tempat isolasi listrik maupun interferensi tinggi, dapat ditekan dengan ukuran kecil sehingga mengurangi kepadatan saluran, dan dengan teknologi yang terus berkembang serat optik bisa lebih murah.

Dalam sistem transmisi dengan serat optik, berkas cahaya bisa tetap berada di dalam inti serat karena terjadi pemantulan sempurna. Hal ini bisa terjadi apabila indeks bias inti  $n_1$  sedikit lebih besar dari indeks bias pelapis  $n_2$  dan apabila cahaya yang datang lebih kecil daripada sudut kritis.

Sebagai pembangkit cahaya dalam pemancar biasanya sering digunakan LED untuk mode ganda ataupun dioda laser untuk mode tunggal. LED banyak digunakan dalam sistem

komunikasi serat optik yang diterapkan untuk transmisi antarkota, sedangkan dioda laser untuk transmisi bawah laut. Transduser guna mengubah cahaya yang diterima menjadi sinyal listrik dipakai dioda PIN atau APD.

Pemakaian serat optik dalam bidang komunikasi antara lain: televisi kabel, komunikasi antarkomputer, transmisi informasi untuk sistem kontrol, komunikasi antarkantor, telekomunikasi umum dan internasional kabel bawah tanah, dan sebagainya.

### Daftar Pustaka

- Cherin, Allen H. 1985. *An Introduction to Optical Fibers*. New York: McGraw Hill.
- Hardy, James K. 1986. *Electronic Communication Technology*. Englewood Cliffs-NJ: Prentice Hall.
- Keiser, Gerd. 1984. *Optical Fiber Communications*. New York: McGraw-Hill.
- Kennedy. 1985. *Electronic Communication System*. New York: McGraw-Hill.
- Roddy, Dennis. 1984. *Electronic Communications*. New Delhi: Prentice Hall of India.
- Subiyanto, Totok. 1985. *Sistem Telekomunikasi Serat Optik dan Masa depannya di Indonesia*. Bandung.