

# **Serat Optis Dalam Komunikasi Optis**

**Sumartono Prawirosusanto  
Universitas Gadjah Mada**

## **1 Pendahuluan**

Optika serat telah menjadi penting dalam telekomunikasi, instrumentasi, instrumentasi, jaringan TV-kabel, distribusi dan transmisi data. Penerapan utamanya adalah dalam bidang telekomunikasi. Dalam dasawarsa ini, akan ada perubahan dari kawat tembaga ke serat optis untuk sistem telekomunikasi dan pelayanan informasi. Perubahan ini seluruhnya berdasarkan pertimbangan ekonomi. Biaya yang makin bertambah dan permintaan atas laju-data-tinggi atau saluran pita-lebar dan kurangnya saluran yang tersedia di daerah metropolitan merupakan alasan penggantian ini. Lagi pula, peranti serat optis menyambung dengan baik pada alat pemroses data digital, dan teknologinya sesuai dengan teknologi mikroelektronika modern. Atas dasar alasan ini, pada masa datang telepon, penerima TV, bank, komputer, dan peralatan-peralatan media dan industri akan dihubungkan oleh serat optis (Cheo, 85: Branoksi, 81).

## **2 Sejarah Singkat**

Sudah sejak 1940 ilmuwan mempertimbangkan bahwa telekomunikasi masa depan melalui saluran optis. Pada mulanya ide itu hanyalah impian dari kenyataan bahwa, sejak penemuan Marconi mengenai telegrafi, pakar radio terus mengejar teknologi riakgelombang yang lebih pendek. Setelah 1950, komunikasi mikrogelombang menjadi praktis dan keuntungan penggunaan riakgelombang pendek menjadi nyata. Dengan demikian muncul kepercayaan bahwa dorongan teknologi ke arah riak gelombang yang lebih pendek akan mencapai kawasan optis.

Sekarang, serat optis adalah satu-satunya pemandu gelombang untuk komunikasi optis. Lebarpita serat optis maksimum saat ini adalah beberapa gigahertz (10 Hz), jauh lebih

sempit daripada lebarpita pemandu mikrogelombang. Komunikasi serat optis berkembang bukan karena memberikan pita frekuensi lebar, tetapi terutama karena memberikan pita frekuensi lebar dengan biaya murah bila digunakan banyak serat dalam satu berkas, dengan demikian memanfaatkan fleksibilitas, diameter kecil, dan murahnya biaya.

Cara telekomunikasi pertama dalam sejarah manusia adalah komunikasi optis paling primitif, api sinyal, yang telah digunakan selama ribuan tahun. Kemudian Chappe (Perancis) menemukan cara baru, yang dinamakan "Semafor", dalam 1791. Ini adalah sistem telekomunikasi kecepatan-tinggi pertama dalam sejarah manusia, dan memberi dampak besar pada masyarakat Eropa. Penaklukan negara-negara Eropa oleh Napoleon dikisahkan keberhasilannya sebagian karena penggunaan sistem komunikasi "optis" ini.

### ***Perkembangan Pemandu gelombang Optis.***

Dimulai dengan munculnya laser pada awal 1960-an, berbagai pemandu gelombang seperti pemandu logam berongga, pemandu gelombang selaput tipis, pemandu gelombang lensa, pemandu gelombang cermin, dan pemandu gelombang kanta-gas diteliti. Usaha ini melemah setelah 1970 dengan munculnya serat optis. Kao dan Hockman meneliti mekanisme rugi optis dalam gelas dan meramalkan perbaikan teknologis akan menghasilkan serat optis dengan rugi cukup rendah untuk komunikasi optis. Mereka menyatakan bahwa bila ion-ion logam transisi kandungannya kurang dari  $10^{-6}$ , maka rugi serapan akan susut sampai kurang dari 20 dB/km, dan jika kemurnian bahan bertambah, rugi akan kurang dari beberapa dB/km, sehingga rugi hamburan menjadi faktor pembatas. Dan Kapron dkk (1970) (Corning Glass Works) melaporkan dibuatnya serat dengan rugi 20 dB/km. Rugi serat silika terus berkurang dengan perbaikan metode CVD (Pengendapan uap kimia) dan mencapai 7 dB/km dalam tahun 1972 (Corning GlassWorks); dan 2,5 dB/km dalam 1973 (Bell Lab) dengan metode MCVD (pengendapan uap kimia berubah). Dalam 1974-1975 beberapa peneliti di Amerika Serikat dan Jepang melaporkan mencapai 1,5 sampai 2,0 dB/km. Juga dilaporkan dari Jepang (1976) tercapai rugi sebesar 0,47 dB/km pada riak gelombang 1,2  $\mu\text{m}$ . Sekarang, serat dengan koefisien serapan sebesar 0,5 dB/km dapat dibuat untuk transmisi optis pada panjang

gelombang di atas 1,2 um [0,45dB/km pada 1,31 um dan 0,25 dB/km pada 1,55 um] [Okoshi,82].

### **3 Serat Optis: Sifat Fisis dan Peranti**

Komponen paling utama dalam sistem komunikasi serat optis adalah serat optis itu sendiri, yang terbuat dari bahan kaca ( $\text{SiO}_2$ ) yang tercampur dengan berbagai pendadah untuk mengatur indeks bias dan mengurangi titik lebur. Serat optis mempunyai teras silindris dengan indeks teras dengan profil parabola dengan nilai maksimum pada sumbu serat. Serat ragam-tunggal mempunyai jari teras dalam orde panjang gelombang, khususnya antara 5 um sampai 10 um; sedangkan serat multiragam mempunyai jari teras yang jauh lebih besar, sekitar 25 um sampai 50 um. Dalam hal ini di dalam serat dapat merambat ratusan bahkan ribuan ragam yang terijinkan.

Perambatan cahaya dalam serat optis dapat dipahami dengan optika geometris. Yaitu, cahaya yang terpandu di dalam teras diteruskan dari ujung masukan ke ujung keluaran karena pantulan dakhil total pada bidang batas teras dan selubung, sehingga cahaya tidak membias keluar dan lepas dalam selubung.

#### ***Tebaran (Dispersi), Sambatan Ragam dan Mekanisme Rugi***

Banyak faktor pembatas yang berasal dari sifat geometris dan fisis serat kaca yang mempunyai pengaruh besar terhadap kapasitas alih informasi pemandu agihan spektral sumber dapat menyebabkan perubahan nilai indeks landai serat dan menyebabkan pelebaran denyut. Dalam praktek, ketaksempurnaan struktural dalam serat menyebabkan juga rugi lewat hamburan dan serapan optis. Ketaksempurnaan serat multiragam juga menciptakan sambatan acak antar ragam yang dapat menghasilkan penyempitan denyut dengan rugi daya bocor menjadi ragam radiatif tak terpandu. Untuk memanfaatkan efek penyempitan denyut ini, batas teras-selubung harus disiapkan dengan hati-hati untuk menghindari rugi radiasi.

Pelebaran ragam muncul dari dua efek yang berbeda: tebaran bahan dan struktur pemandu gelombang. Kita dapat memilih serat dengan profil indeks landai sehingga tebaran pemandu menjadi nol, sehingga efek pelebaran denyut hanya berasal dari tebaran bahan. Kita juga dapat menghilangkan efek pelebaran oleh tebaran bahan dengan pemilihan riak gelombang di sekitar 1,3  $\mu\text{m}$ . Karena lebaran bahan nol untuk riak gelombang 1,3  $\mu\text{m}$  ini, dan juga serapan minimum muncul di daerah ini. Penelitian dan pengembangan dalam kinerja sumber laser dan fotodeteksi menjadi gencar.

### ***Rugi Hamburan dan Serapan***

Dari segi tebaran bahan, pemancar riakgelombang panjang dalam daerah 1,2 sampai 1,6  $\mu\text{m}$  untuk sistem serat optis merupakan pilihan yang baik. Alasan lain memilih riak gelombang panjang adalah untuk meminimumkan rugi hamburan. Jumlah daya terhambur oleh gayut pada rapat usak dan tampang lintang hamburan.

Dalam kaca, penghambur utama adalah takmurnian seperti oksida atau ion logam peralihan, dengan ukuran yang jauh lebih kecil dari pada riakgelombang, atau  $r \ll \lambda$ . Dalam had hamburan Rayleigh ini, hamburan sebanding dengan  $1/\lambda^4$ ; nilai khasnya 0,6 dB/km pada  $\lambda = 1 \mu\text{m}$ . Hamburan Mie dapat merupakan sumber rugi bila terdapat pusat hamburan dengan ukuran lebih besar daripada  $\lambda$ . Di samping itu, rugi serapan dalam kaca timbul dari struktur hakiki bahan dan erapan takmurnian. Untuk riakgelombang di atas 0,8  $\mu\text{m}$ , serapan pinggiran pita kurang dari 1 dB/km. Serapan takmurnian disebabkan oleh ion logam, misalnya Fe, Cu, V, Cr, Co, Mn dan Ni. Mencapai 20 dB/km. Sekarang mudah dibuat kaca silika kemurnian tinggi, tanpa terlihat adanya komponen rugi karena takmurnian.

Mekanisme lain yang menyebabkan rugi serapan menyangkut tenaga getar yang berkaitan dengan ikatan yang biasa terdapat dalam kaca. Spektrum getar kaca terletak dalam daerah inframerah 2 sampai 10  $\mu\text{m}$ , di sini harmonik atas getaran iron hidroksil (OH) memegang peranan. Getaran dasar terpusat sekitar 2,8  $\mu\text{m}$ , dengan harmonik atasnya pada 1,4  $\mu\text{m}$ , 0,95  $\mu\text{m}$  dan 0,75  $\mu\text{m}$ . Kandungan OH sisa sebesar 7 ppb telah dapat dicapai, yang sesuai dengan rugi serapan sebesar 0,45 dB/km pada 1,39  $\mu\text{m}$  [Hunsperger, 82].

### ***Rugi Mikrolengkungan***

Rugi optis yang terkaitkan dengan proses pengkabelan timbul sebagai hasil mikrolengkungan serat. Masalah ini penting bila rugi kelengkungan bengkokan adalah kecil tetapi masih cukup besar dibandingkan rugi serat. Rugi macam ini sering ditemukan dalam sistem serat eka-ragam, yang berlaju bit sangat besar. Dalam sistem ini, hanya ragam dasar terteral; tetapi karena pembengkokan, daya ragam dasar dapat hilang melalui sambatan dengan ragam-ragam orde-lebih tinggi dan/atau ragam radiasi. Pada umumnya, rugi mikrolengkungan berkurang dengan cepat dengan bertambahnya beda indeks bias, sehingga penting menggunakan serat indeks-undak eka-ragam dengan tingkap numeris setinggi mungkin untuk sistem telekomunikasi jarak-jauh.

### ***Bahan Kaca***

Pembentukan jejala kaca terutama mengandung oksigen, silikon, boron, natrium, dan aluminium; dengan dicampuri pengubah jejala, misal  $K_2O$ ,  $MgO$ ,  $CaO$ ,  $PbO$ , maka sifat dasar kaca berubah, seperti indeks bias, pengembangan termal, koefisien serapan, dan titik lebur. Kaca silikat natrium, dari kaca silikon yang ditambahi oksida natrium, berkurang suhu leburnya. Sifat umum semua kaca ialah kaca menjadi lembek secara berangsur-angsur bila dipanaskan dan tidak mencair pada suhu tertentu yang tegas, satu ciri khas zat amorf.

### ***Pembuatan Serat.***

Serat dapat ditarik dari satu prabentuk atau langsung dari lelehan serbuk oksida. Metode Sangan-ganda mempunyai laju penarikan tinggi (1-3m/s dan biaya murah dengan produksi besar. Metode MCVD (pengendapan uap kimia termodifikasi); Di sini tabung silika murni menjadi teras. Tabung ini kemudian diruntuhkan sehingga batang kaca yang disebut "prabentuk" terjadi. Serat optis kemudian ditarik dari prabentuk ini. Selain metode pengendapan dalam, dapat juga dilakukan dengan metode pengendapan luar [wilson, 83].

### ***Pengukuran profil Indeks***

Hubungan profil indeks bias dan sifat tunda denyut sangat erat, maka dalam pembuatan dan evaluasi serat optis, pengukuran profil indeks merupakan langkah yang penting. Metode pengukuran profil indeks merupakan langkah yang penting. Metode pengukuran yang ideal harus memenuhi syarat berikut: (1) takmerusak, (2) diterapkan pada setiap profil (3) ketepatan tinggi (4) daya pisah tinggi, dan (5) mudah dalam pengukuran dan pemrosesan data. Metode Pola Hamburan: Profil indeks dihitung dari pola hamburan berkas cahaya yang datang tegak lurus. Batas daya pisah sama dengan seperempat  $\lambda$  cahaya yang digunakan; khasnya ialah 0,2  $\mu\text{m}$ . Baik untuk pengukuran profil serat ekaragam dengan daya pisah cukup praktis. Metode Interferens : Asasnya ialah menentukan agihan indeks bias benda dari ingustan fase cahaya yang melewatinya. Sistem yang dipakai adalah interometer MachZehnder, dapat mencapai daya pisah sebesar 0,7  $\mu\text{m}$  dan ketelitian  $5 \times 10^{-4}$  [Okoshi 82.] Metode Pantul: Asasnya ialah bahwa bila cahaya jatuh tegak lurus pada bahan kaca (indeks bias  $n$ ), koefisien pantulan diberikan oleh  $R = [(1-n)/(1+n)]^2$ . Dengan mengukur  $R$ , profil indeks ditentukan dengan perhitungan. Daya pisah dibatasi oleh diameter berkas masukan; untuk laser He-Ne pada riak gelombang 632,8 nm, batas daya pisah adalah 1,5-3  $\mu\text{m}$ , dengan ketepatan mencapai 5%. Metode Pola Medan-dekat: Bila satu ujung serat diterangi secara seragam, semua ragam yang merambat terteral seragam. Bila semua ragam merambat dengan rugi yang sama, maka agihan daya yang sama akan muncul pada ujung keluaran serat. Pola agihan daya ini akan sebanding dengan beda indeks bias. Metode lain dapat disebutkan di sini adalah: Mikroanalisis sinar-X, metode pencocokan minyak, dan penggunaan mikroskop elektron pemayar.

### ***Pengukuran Tebaran (dispersi)***

Tebaran ragam (modus) dan tebaran bahan serat multiragam dapat ditentukan dengan pengukuran tanggapan denyut dalam ranah waktu atau tanggapan spektral dalam ranah frekuensi denyut keluaran. Pelebaran denyut diukur dengan pencuplikan bentuk gelombang dengan peranti elektronik berdaya pisah tinggi atau dengan menganalisis alihragam Fouriernya. Karena semua serat adalah dispersif, maka suatu denyut pendek akan diperlebar

setelah merambat melalui serat dan dierotkan dalam bentuk, yang gayut pada parameter serat. Sistem dengan penyambat dan sambungan mempunyai rugi sebagai berikut: (1) rugi sambatan serat ke pemancar dan serat ke penerima, (2) rugi sisipan penyambat, (3) rugi agihan daya melalui penyambat. Penyiapan permukaan ujung serat juga penting untuk mengurangi rugi tebaran dan hamburan. Rugi sambungan diukur dengan daya terpancar yang melalui sambungan antara dua serat dan yang tanpa sambungan. Rugi sayatan dan penentuan letak cacat dalam serat yang panjang, ditentukan dengan gaung dan pantulan (OTDR).

### ***Laser Semikonduktor***

Sumber untuk pemancar sistem komunikasi serat optis terutama terdiri dari LED (diode pancar-cahaya) dan laser semikonduktor. Peranti ini memancarkan dalam jangkauan riakgelombang antara 0,75 sampai 1,6  $\mu\text{m}$ . LED merupakan sumber yang memadai atas dasar ketersediaan daya keluaran dan laju tanggapannya. Untuk jarak-jauh dan laju-data sangat tinggi, penggunaan diode laser (LD) diperlukan. Berbagai jenis laser semikonduktor lain yang sekarang dikembangkan untuk sumber adalah: laser DH (heterostruktur ganda), laser CDH (heterostruktur ganda terpenyet), laser DFB (lolo-balik teragih), laser DBR (pantulan Bragg teragih), laser QW (sumur-kuantum) dan MQW (multipel QW), dan sebagainya [Cheo, 85].

## **4. Sistem Komunikasi Optis**

Kita akan mengulas sistem komunikasi optis dan bidang yang saat ini menarik perhatian, yaitu optika terpadu (10). Tujuan 10 adalah miniaturisasi komponen optis seperti sumber, detektor, modulator, penapis dan sebagainya dan membuat sistem pemroses optis yang lengkap dalam satu keping semikonduktor tunggal. Untuk memanfaatkan lebarpita yang tersedia dalam serat optis, perlu dicatat bahwa jangkauan riakgelombang 1,0-1,6  $\mu\text{m}$  bersesuaian dengan lebarpita frekuensi sebesar 120.000 GHz atau 120 THz, maka teknik FDM (pemultipleksan Bagi-Frekuensi) perlu dikembangkan. Teknik pencampuran heterodin

dan memberikan nisbah sinyal-derau (S/N) yang cukup baik, dan frekuensi modulasi yang sudah dicapai masih jauh di bawah kemampuan teoretis pembawa.

Seorang perancang sistem harus memilih berbagai komponene yang cocok untuk terapan tertentu. Pemilihan ini didasarkan pada analisis untung-rugi di antara berbagai parameter sistem yang menyangkut daya optis, rugi serat, derau penerima, tipe sinyal, laju data atau lebar pita, laju ralat bit (BER) minimum adalah  $10^{-9}$ , yang bersangkutan dengan nisbah S?N 12 dB. Sekali konfigurasi sistem optimal ditemukan, perancang meninjau faktor-faktor lain, termasuk keadaan lingkungan, beaya, keandalan, kemudahan penyesuaian, ukuran, bobot, pemasangan, dan pemeliharaan.

Satu dari sifat serat optis yang menarik adalah kemampuannya untuk jarak pengulang besar dengan transmisi data kapasitas tinggi. Dengan kemungkinan penambahan yang cukup nyata dalam jarak antara pengulang pada laju transmisi data tinggi, beaya komponen akan turun dan juga beaya pemasangan, operasi dan pemeliharaan akan berkurang sekali. Dalam suatu sistem dengan laser AlGaAs yang memancarkan pada 0,9  $\mu\text{m}$ , dengan rugi sistem rerata diandaikan kira-kira 4,5 dB/km, dengan 10 Mbps mencapai jarak 12km dan pada laju 400 Mbps mencapai jarak pengulang 9 km. Untuk sistem yang dibuat pada daerah 1,3 sampai 1,6  $\mu\text{m}$ , pertambahan jarak pengulang akan diperoleh, dengan andaian rugi total 0,7 dB/km termasuk rugi serat dan rugi sambungan atau InGaAsP dan detektor APD germanium. Hasilnya adalah jarak pengulang lebih dari 30km pada 1 ps/km dan sumber dengan lebar spektral 2A. Juga telah dicapai jarak penulang lebih dari 115 km pada laju 0,43 Gbps dengan serat ekaragan dan laser yang bekerja pada 1,55  $\mu\text{m}$ .

Sejauh ini penerapan terbesar adalah untuk sambungan beban telepon, yaitu sambungan yang mampu membawa sejumlah besar percakapan telepon serempak antara gardu-gardu telepon, dari beberapa kilometer sampai beberapa ratus kilometer. Untuk sambungan telepon saluran tunggal diperlukan lebarpita sebesar 4 kHz, atau sinyal digital 64 kbps. Jaringan telepon memerlukan sambungan telepon yang mampu membawa banyak saluran tunggal secara serempak. Transmisi digital dapat menampung hal ini dengan mudah karena arus bit yang berbeda dapat disaling-tumpangkan bawah laut, transmisi video , sambungan komputer dan, dalam lingkungan militer, kendali peluru.



Untuk menentukan apakah suatu sistem akan bekerja secara memuaskan, beberapa uji harus dilaksanakan. Tentusaja detektor dan pemancar harus mampu menangani lebar pita yang dipersyaratkan. Tebaran serat sepanjang jarak yang diperlukan harus tidak menyusutkan sinyal minimum harus mencapai detektor. Jika daya yang diluncurkan ke dalam serat diketahui, bersama dengan susutan serat, maka panjang maksimum serat yang digunakan dapat dihitung. Perlu diperhitungkan juga adanya sayatan dan sambungan, dan batas keamanan (katakanlah 5db) juga harus dicakup. Perhitungan ini dinamakan bujet fluks atau bujet daya.

## **5 Penutup**

Kita telah meninjau dari sejarah serat optis zantara komunikasi optis, dan kemudian mempelajari sifat-sifat fisis dan bagaimana mengatasi kekurangan yang merugikan yang terdapat dalam serat untuk memperlancar komunikasi optis, dan beberapa cara pengukurannya. Kemudian kita ulas sistem komunikasi optis yang sederhana. Dapat disebutkan jaringan yang memanfaatkan serat optis sebagai sarana, yaitu sistem-sistem ISDN< B-ISDN, FDDI dan SDH, dan jaringan multidigabit yang akan memanfaatkan sistem baku SONET [LTS,91; LTS, 92].

Mudah-mudahan dalam era pengembangan sistem komunikasi serat optis ini, kita di Indonesia, tidak akan tertinggal jauh dan dapat mulai turut berkecimpung di dalamnya.

## **Biblografi**

- 1 Barnoski, M.K.,1981: ‘Fundamentals of Optical Fiber Communications’. Edisi ke-2, Academic Press, New York, USA.
- 2 Cheo, P.K., 1985: “Fiber Optics: Devices and System”, Prentice Hall International, New Jersey, USA.

- 3 Hunsperger, R.G., 1982: "Intergrated Optics: Theory and Technology", Springer-Verlag, Berlin, RFJ.
- 4 Okoshi, T.,1982: "Optical Fibers", Academic Press, New York, USA.
- 5 Wilson, J., 1983: "Optoelectronics : An Introduction" , Prentice Hall International, Englewood Cliffs, N.J., USA.
- 6 Special Issue: FDDI, IEEE LTS vol.2, Mei 1991.
- 7 SONET: No Longer Justa Concept, IEEEELT vol.2 no.4, November 1991.
- 8 Gigabit Networking: Technical Challenges and Applications, IEEE LTS vol. 3 no.2, Mei 1992.
- 9 Gigabit Networking: Toward a Global Bottleneck Solution, IEEE LTS vol.3 no. 3, Mei 1992.