

FIBER OPTIK DAN TERAPANNYA

Oleh
Sumartono Prawirosusanto



Abstrak

Dalam artikel ini diperkenalkan fiber optik yang dapat memandu gelombang cahaya, dan terapannya di dalam transmisi warta dan instrumentasi. Kita bedakan fiber optik ekaragam (monomodal) dan ragam majemuk (multimodal). Juga dibicarakan piranti-piranti yang dapat dibuat dari fiber optik: piranti sambatan (coupleur) dan piranti pencampur (multiplexeur).

1. PENGANTAR

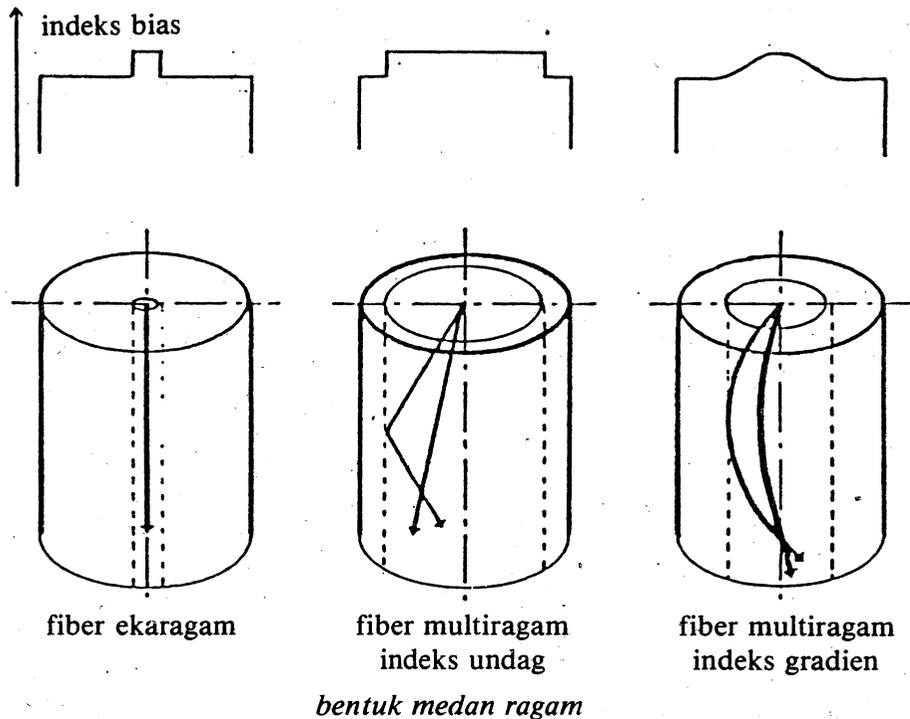
Fiber optik merupakan salah satu unsur yang akan memungkinkan perubahan besar-besaran dalam bidang telekomunikasi. Hal ini disebabkan oleh kemampuan fiber optik dalam menyalurkan warta (informasi) yang sangat besar, volume fiber yang kecil, ketahanannya terhadap gangguan luar dan ketahanannya terhadap kerusakan, dan beayanya yang relatif cukup murah.

Fiber optik dibuat dari bahan baku silika. Kemampuannya memandu gelombang cahaya dihasilkan oleh strukturnya yang terdiri dari teras (core) dan selubung (cladding). Teras yang bertindak sebagai pemandu-gelombang (wave-guide) berbentuk tabung silinder dengan ruji sangat kecil, antara 1,5 mikron sampai 25 mikron. Selubung juga berbentuk silinder yang menutupi teras, dengan ruji 60 mikron atau lebih. Teras terbuat dari bahan yang sama seperti selubungnya, hanya berbeda dalam campuran takmurniannya (doping), seperti misalnya Ge dalam konsentrasi tertentu, menyebabkan indeks biasnya lebih besar dibandingkan dengan indeks bias selubung. Disamping itu, teras juga mempunyai daya serap cahaya yang kecil, sehingga memungkinkan cahaya yang disalurkan lewat teras tersebut tidak mengalami banyak penyusutan intensitas atau tenaganya. Dengan metode pembuatan fiber yang khusus, penyerapan telah dapat dibuat sekecil mungkin, dan telah tercapai hasil rugi dalam orde besar 0,2 db/km. Hal ini memungkinkan transmisi warta dalam jarak sampai 120 km tanpa piranti-ulang (repeater), suatu hal yang tidak mungkin terlaksana dalam transmisi elektrik/elektronik.

2. FIBER OPTIK EKARAGAM DAN RAGAM-MAJEMUK

Fiber optik akan berkelakuan ekaragam (monomodal), yaitu hanya

menyalurkan satu ragam (modus) gelombang elektromagnetik, untuk ruji teras kurang dari 5 mikron, dan bersifat ragam-majemuk (multimodal) untuk ruji teras yang lebih besar. Biasanya, untuk fiber ragam-majemuk ruji teras adalah 25 mikron. Gambar-1 menunjukkan beberapa contoh agihan (distribusi) indeks bias dan bentuk medan di dalam fiber ekaragam dan ragam-majemuk yang sederhana. (Vilani, et.al., 1982) Fiber optik merupakan pemandu gelombang ekaragam bila memenuhi syarat bahwa ruji terasnya mempunyai orde besar sebanding dengan panjang gelombang (λ) cahaya yang disalurkan, atau lebih tepatnya: $a/\lambda \leq 0,22/\Delta n$, dengan a = ruji teras dan Δn = beda indeks bias antara teras dan selubung.



Gambar-1. Indeks bias dan bentuk medan dari beberapa fiber optik.

Untuk nilai Δn antara 0,010 dan 0,002, kita dapatkan:

- * untuk $\lambda = 1,6$ mikron : $3,6 \leq a \leq 8$ mikron,
- * untuk $\lambda = 0,85$ mikron : $1,9 \leq a \leq 4,2$ mikron,
- * untuk $\lambda = 0,633$ mikron : $1,4 \leq a \leq 3,0$ mikron.

Dengan telah dihasilkannya fiber optik dengan daya-susut tenaga sangat kecil, antara 0,2 dan 1,0 dB/km (C. Brehm, 1981:26-27), untuk panjang ge-

lombang antara 1,1 mikron dan 1,6 mikron, maka telah dimungkinkan terlaksananya penempatan yang lebih jauh antara piranti-ulang (repeater) dalam transmisi warta, dan mencapai jarak antara 20 km sampai 120 km. Hal ini merupakan faktor penting dalam pengurangan biaya dan juga dalam peningkatan keandalan (reliabilitas) sambungan transmisi warta.

Penelitian juga banyak dilakukan untuk optimasi parameter-parameter utama dari fiber ekaragam: a (ruji teras), b/a (perbandingan dimensi selubung dan teras), dan Δ (beda indeks bias antara selubung dan teras), untuk mendapatkan syarat-syarat sambungan yang paling menguntungkan. Parameter tersebut sangat tergantung pada sifat-sifat khusus sambungan yang dibuat (debit dan jarak antara piranti ulang), komponen pemancar yang dipakai (panjang gelombang, lebar spektrum) dan struktur kabel. Kita akan mendapatkan suatu rujukan yang berbeda-beda antara ketiga parameter tersebut. Misalnya, nilai a yang kecil, dan dengan demikian nilai Δn yang besar, cenderung mengurangi kerugian yang disebabkan oleh pemasangan (kabel), tetapi menyebabkan kehilangan atau kerugian oleh lengkung dan lengkungan-mikro.

Sebaliknya, untuk ruji teras agak besar, yang bergandengan dengan beda indeks yang kecil, cenderung mengurangi kerugian karena sambungan dan sambatan (kopling). Saat ini penyusutan yang dicapai dengan fiber ekaragam yang telah dibuat di berbagai laboratorium adalah sangat dekat dengan serapan intrinsik dari gelas silika: antara 0,2 dan 0,4 dB/km pada panjang gelombang 1,55 mikron dan antara 0,4 dan 0,6 dB/km pada 1,3 mikron.

3. FIBER DAN TRANSMISI WARTA

Suatu jalur fiber optik mampu menyalurkan secara serentak sejumlah besar gelombang cahaya dengan frekuensi yang berbeda. Gangguan antara warta-warta yang dibawa oleh masing-masing panjang gelombang dapat dibuat sangat kecil bila panjang gelombang pembawa warta tersebut cukup terpisah ($\Delta\lambda = 20\text{nm}$). Dengan demikian, kemampuan membawa warta dari suatu saluran fiber optik dapat meningkat secara tajam. Untuk itu diperlukan piranti pencampur (multiplexer), yang memungkinkan kita untuk memasukkan ke dalam satu fiber optik ekaragam yang sama beberapa gelombang cahaya dengan frekuensi yang berbeda-beda. Dan kemudian, diujung lain dari fiber tersebut, kita mengambil secara selektif sinyal-sinyal yang berbeda yang dimasukkan tadi.

Metoda yang dipakai adalah dengan memanfaatkan piranti sambatan (kopler) antara fiber-fiber ekaragam, yang diperluas. Pencampuran (multiplexing) jelas merupakan suatu hal yang penting untuk telekomunikasi optik. Dalam optika ekaragam, piranti sambatan tersebut dapat dimanfaatkan untuk mencampur (multiplexing) dan memisahkan (demultiplexing),

dan dapat dibuat supaya berfungsi di dalam seluruh daerah panjang gelombang (kasatmata/visibel dan inframerah).

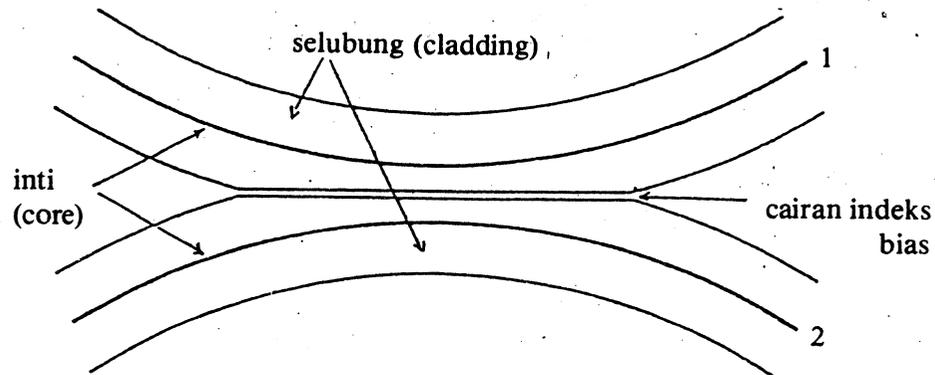
4. PIRANTI SAMBATAN (KOPLER) FIBER EKARAGAM

Piranti sambatan tersebut dapat dibuat antara lain dengan cara memoles (polishing) selubung secara terkontrol satu fiber sehingga mendekati bagian terasnya, dan hal yang sama juga dilakukan terhadap fiber yang kedua. Kemudian ke dua bagian fiber yang dipoles tersebut ditempelkan satu terhadap yang lainnya. Untuk memperlicin bidang sentuh (kontak), agar sambatan menjadi lebih besar, biasanya di antara kedua bidang terpoles tersebut diberi cairan dengan indeks bias yang sama dengan indeks bias selubung kedua fiber tersebut. Dengan mengatur tekanan antara kedua fiber, dengan demikian mengatur jarak terdekat antara kedua teras fiber, kita akan mendapatkan koefisien sambatan yang berbeda-beda. Koefisien tersebut dapat diubah-ubah dari 0 sampai 100%, dan dengan demikian kita akan dapat memperoleh pemindahan tenaga gelombang dari satu fiber ke fiber yang lain dalam perbandingan dari 0 sampai 100% (Bernoux, 1981).

5. PIRANTI PENCAMPUR (MULTIPLEKSER) EKARAGAM

Dalam piranti sambatan tersebut diatas, kedua fiber yang bersambatan adalah identik, sehingga kedua gelombang dengan frekuensi yang sama di dalam kedua fiber mempunyai tetapan perambatan yang sama, dan dengan demikian sambatan tersebut beralun. Tetapi tidaklah demikian bila kedua fiber tersebut berbeda dalam jari-jari r dan berbeda dalam indeks bias terasnya (atau lebih tepatnya, berbeda dalam Δn , selisih antara indeks bias teras dan selubung).

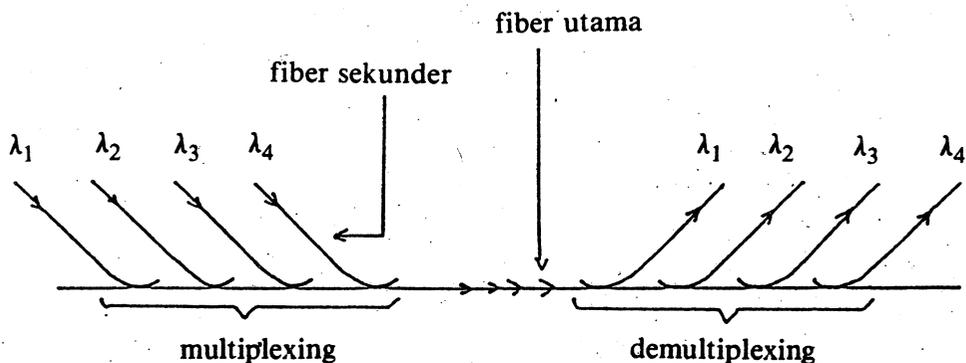
Bila kita membuat piranti sambatan seperti tergambar dalam Gambar-2, dengan 2 fiber dengan jari-jari teras r_1 dan r_2 yang berbeda dan beda indeks Δn_1 dan Δn_2 yang juga tidak sama, sambatan (kopling) antara keduanya pada umumnya adalah nol. Tetapi bila diatur sedemikian sehingga $r_1 > r_2$ dan $\Delta n_1 < \Delta n_2$, maka dapat ditunjukkan bahwa akan terdapat satu panjang gelombang λ ($r_1, r_2, \Delta n_1, \Delta n_2$) dimana sambatan untuk panjang gelombang tersebut tidak nol; dan dengan memilih secara tepat $r_1, r_2, \Delta n_1$ dan Δn_2 kita dapat memilih supaya λ mempunyai nilai yang kita kehendaki. Dari perhitungan-perhitungan secara garis besar telah didapatkan bahwa Δn_1 dan Δn_2 mempunyai nilai antara 0,002 dan 0,010, sedangkan untuk r_1 dan r_2 bernilai antara 2,5 mikron dan 5 mikron (Bernoux, 1981).



Gambar-2. Piranti sambatan fiber-fiber.

Skema dalam Gambar-2 menunjukkan prinsip piranti sambatan, yang dari konstruksinya adalah selektif terhadap panjang gelombang. Fiber-1 adalah fiber utama, yang membawa sinyal-sinyal yang berbeda-beda panjang gelombangnya: $\lambda_1, \lambda_2, \dots$, yang tidak terpengaruh oleh piranti sambatan yang tidak dihitung untuk mereka. Fiber-2 memungkinkan kita memasukkan sinyal λ_3 dengan efisiensi yang hampir mencapai 100%.

Gambar-3 menunjukkan skema piranti pencampur dengan empat panjang gelombang, terdiri dari 4 fiber dengan ruji teras r_i dan beda index Δn_i ($i = 1, 2, 3, 4$) sedemikian sehingga kita mendapatkan sambatan dengan fiber utama untuk panjang gelombang-panjang gelombang $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$ dan λ_4 . Piranti sambatan yang identik dengan pencampur tersebut, bila dicabangkan dalam arah sebaliknya, pada ujung lain dari fiber utama tersebut, memungkinkan kita melakukan pemisahan (demultiplexing).



Gambar-3. Piranti pencampur dan pemisah

6. PEMBUATAN FIBER DAN KEMAMPUANNYA.

Fiber ekaragam yang pembuatannya telah dikuasai dengan baik adalah yang indeks terasnya berbentuk undak (step index), yang dibuat dari silika dengan ketakmurnian germanium untuk teras dan takmurnian fluor-fosfor untuk selubung.

Beberapa hasil dapat disajikan dengan rugi-serapan reratanya (Jeunhomme, 1981)

- * panjang gelombang 1,55 mikron untuk fiber dengan beda indeks yang kecil; diperuntukkan sambungan darat (British Telecom, mencapai panjang fiber 200 km).
- * panjang gelombang 1,55 mikron untuk fiber dengan beda indeks yang besar; diperuntukkan bagi sambungan bawah laut (Laboratorium Marcoussis Perancis, mencapai panjang fiber 80 km).

Dalam hal yang menyangkut kapasitas, fiber yang dihasilkan saat ini mempunyai kapasitas maksimum untuk panjang gelombang antara 1,30 dan 1,35 mikron. Untuk suatu sabungan yang bekerja pada gelombang-kerja kapasita maksimum, kita dapatkan perkalian (debit x jarak x lebar spektrum sumber) mencapai 2500 Gb.km.nm²/s. Bila kita perhitungkan penyimpangan kecil antara panjang gelombang tengah pemancar dan panjang gelombang kapasitas maksimum: untuk penyimpangan kira-kira 25 nm, perkalian (debit x jarak x lebar spektrum sumber) turun menjadi hanya 70 Gb.km.nm²/s.

Sedangkan dalam waktu dekat ini pemakaian fiber pada panjang gelombang 1,55 mikron belum dimungkinkan untuk debit-debit yang tinggi, meskipun penyerapan pada panjang gelombang tersebut jauh lebih kecil bila dibandingkan dengan penyerapan pada panjang gelombang 1,30 mikron. Hal ini disebabkan dispersi khromatik yang bertambah besar pada panjang gelombang 1,55 mikro dan mencapai 15 ps/nm.km, yang membatasi perkalian (debit x jarak x lebar spektrum sumber) menjadi hanya sekitar 10 Gb.km.nm²/s.

7. TERAPAN FIBER OPTIK

Terapan-terapan yang jelas adalah dalam bidang telekomunikasi jarak jauh dan debit tinggi (antar-kota, bawah-laut), dalam bidang instrumentasi (pembangkitan sumber cahaya koheren dengan efek taklinear, pengukuran dengan interferometri), dan juga dalam bidang pengolahan sinyal (penyaring/filter dan penggeser/translator frekuensi optik pembawa, filter modulasi, polarisator, piranti sambatan/kopler, penguatan).

TELEKOMUNIKASI:

Adalah mudah dimengerti bahwa terapan paling utama dari fiber optik

ekaragam ialah dalam bidang telekomunikasi. Prosedur yang relatif sederhana untuk optimasi parameter-parameter fiber untuk memenuhi fungsi penggunaannya (sambungan darat, bawah laut), terapan darat dan bawah laut pada panjang gelombang 1,30 mikron, fiber dengan beda-indeks sekitar 0,0055 dan ruji teras sekitar 3,5 mikron, memenuhi suatu rujukan yang tepat antara berbagai sebab pelemahan (atenuasi), termasuk ruji lengkungan 5 cm dalam kabel dan 2 cm dalam piranti ulang. Dengan ini dapat dicapai perkalian (debit x jarak) yang mencapai 90 Gb.km/s untuk panjang gelombang 1,30 mikron dan 100 Gb.km/s pada 1,55 mikron.

Dapat disebutkan juga telah adanya percobaan transmisi analog (PFM) dari sinyal video berwarna dengan perbandingan sinyal/derau (SNR) sebesar 53 dB dengan memakai fiber sepanjang 68 km pada panjang gelombang 1,30 mikron dan 102 km pada 1,55 mikron dengan sumber laser semikonduktor.

INSTRUMENTASI

Terapan yang terkenal dalam instrumentasi adalah yang menyangkut sensor, terutama hydrophone, gyrometer, dan amperemeter. Disamping itu juga yang mengenai sumber koheren yang dapat diubah-ubah panjang gelombangnya: dengan mempergunakan difusi Raman terangsang dalam fiber ekaragam (dengan teras dicampuri takmurnian germanium), dipompa dengan laser YAG kontinu atau denyut, sumber yang dapat diubah-ubah dari 0,6 sampai 1,8 mikron telah dibuat. Juga, laser Raman kontinu telah diperoleh dengan fiber panjang 35 km yang dipompa dengan laser YAG bertenaga beberapa watt. Suatu laser yang menghasilkan denyut-denyut pendek (200 ps), berulang-ulang (frekuensi 100 MHz), dan gelombangnya dapat diubah-ubah dari 1,1 sampai 1,125 mikron, telah dihasilkan dengan memompa fiber yang ditempatkan antara 2 cermin dengan laser YAG. Juga dengan laser YAG bertenaga puncak 400 watt dan fiber sepanjang 250 m, dihasilkan kontinum antara 0,6 dan 0,8 mikron. Rapat spektral keluarannya adalah sebesar 100 mW/nm pada 1,7 mikron dan 10 nW/nm pada 0,8 mikron (tenaga puncak).

8. PENUTUP

Tulisan ini telah memperkenalkan secara sederhana fiber optik ekaragam dan fiber optik ragam-majemuk. Untuk fiber ekaragam, panjang gelombang terpadunya dapat diatur dengan mengatur ruji terasnya. Dari hasil penelitian telah didapatkan bahwa panjang gelombang yang mempunyai rugi kecil adalah 1,30 mikron dan 1,55 mikron. Fiber dengan rugi kecil ini telah memungkinkan transmisi warta dengan gelombang pembawanya gelombang cahaya. Untuk mempertinggi daya transmisi, diperlukan piranti sambatan, yang dapat difungsikan sebagai multiplekser dan demultiplek-

ser. Di samping itu juga dikemukakan pemanfaatan fiber optik untuk instrumentasi dan telekomunikasi, dan masih banyak lagi yang dapat dilakukan dengan fiber optik (Jeunhomme, 1981; Brehm, 1981).

DAFTAR ACUAN

1. Bernoux, F., (1981), "Etude du multiplexage en fibre monomode par couplage selectif en longueur d'onde", Rapport DEA, Genie Physique, ENSIEG-INPG, Grenoble.
2. Brehm, C., (1981), "Elaboration des fibres optiques: les monomodes ont l'avantage", OPTO-81, Paris, hal. 26-27.
3. Caporossi, D., (1981), "La banalisation des fibres optiques: Mesures et normalisation", OPTO-81, Paris, hal. 31-34.
4. Jeunhomme, L., (1982), "Technologie, et applications des fibres optiques monomodes: point actuel et perspectives", OPTO-82, Paris, hal. 32-36.
5. Vilani, (1982), Voirin, Vrel, Morel, Cochet, "Fibres optiques et telecommunications", Fiber Optiques et Optiques Integree, Revue annuelle ENSIEG-INPG, Grenoble, hal. 9-15.