

# 18

## Transmisi Serat-Optik

---

Serat optik dan teknologi optik barangkali terdiri dari area pengembangan telekomunikasi yang paling menggembirakan. Kapasitas sirkuit serat-optik yang potensial adalah luas. Secara teoritis memungkinkan bagi tiga serat-optik hair-thin untuk membawa lalu lintas yang ekuivalen dari setengah penduduk Amerika Utara yang bicara lewat telepon pada separuhnya. Pengenalan kabel serat-optik yang meluas pada keduanya yaitu jaringan transmisi lokal dan utama akan menciptakan revolusi pada telekomunikasi.

Tehnologi serat optik berkembang sangat cepat. Hubungan serat yang terpasang diantara dua kantor swicthing utama pada 1980 beroperasi secara khusus pada 34 Mbps. Hubungan yang mirip akhir-akhir ini sedang dipasang dengan kapasitas 1.7 gbps (lihat kotak 18.1). Hubungan jarak jauh sampai diatas ratusan atau ribuan mil pada masa yang akan datang akan beroperasi pada kecepatan dalam akses 10 Gbps. Rata-rata bit sudah lebih tinggi dari pada 16 Gbps sudah didemonstrasikan pada laboratorium pengembangan. Pentingnya optik pada perkembangan telekomunikasi yang akan datang tidak bisa terlalu diharapkan. Jaringan-jaringan itu terus akan dipasang dengan jumlah serat yang bertambah pada

semua area, mencakup loop lokal. Pada waktunya jaringan telekomunikasi secara menyeluruh akan di transformasi. Pelanggan akan memiliki akses pada sirkuit serat-optik yang memiliki kapasitas untuk mengirimkan dan menerima volume besar dan berbagai macam lalulintas, Terpisah dengan mendukung pelayanan telekomunikasi seperti suara, data, dan vidio, kabel serat optik bisa dipakai untuk pendistribusian signal *televisi definisi-tinggi* pada layar dengan kualitas gambar mirip dengan yang ada digedung film. Gambar 18.1 menunjukkan perbandingan diantara kabel serat-optik, kabel koaksial, dan saluran pasangan kawat copper.

## **TRANSMISI OPTIK**

Salah satu aplikasi praktis yang paling awal dengan menggunakan transmisi optik pada telepon dilakukan oleh Alexander Graham Bell pada tahun 1880, hanya setelah empat tahun ia menemukan telepon. Bell menggunakan sinar matahari yang melalui lensa yang difokuskan pada getaran transmitter dengan tekanan suara pembicara akustik. Sinar matahari itu dipantulkan dari transmitter pada antena penerimaan, yang mengontrol alat seperti foto sel selenium, resistan yang bermacam-macam dengan intensitas sinar matahari. Variasi resistan itu kemudian dimodulasi dengan menggunakan arus dc dari battery. Dengan cara ini Bell mampu menggunakan properti sinar reflektif untuk memantulkan signal yang dibuat secara elektrik. Kenyataan ini merupakan telepon optik pertama. Bell memberi nama alatnya Photophone. photophone itu bukan merupakan keberhasilan waktu hubungannya dengan fakta yang hanya akan bekerja bila matahari bersinar. Hal ini harus melakukan ratusan tahun yang lain sebelum ide aslinya menggunakan sinar sebagai media komunikasi menjadi prakteknya dengan sistem serat optik percobaan pertamanya.

Konsep dasar komunikasi serat optik ada berbagai cara mirip dengan ide aslinya Bell. Signal elektrik dari suatu telepon pertama-tama diubah menjadi bentuk digital sebagai rangkaian pulsa sinar on/off, dibuat pada banyak kasus dengan laser. (pikirkan pulsa sinar sebagai hal yang mirip dengan memindahkan sinar lampu on dan off untuk mengirimkan signal kode Morse.). Diberi fakta bahwa sinar itu bisa melalui kaca dengan mudah, pulsa-pulsa sinar itu bisa ditransmit bisa turun hair-thin strand dari kaca yang sangat asli. Bila pulsa sinar mencapai yang diinginkan, pulsa-pulsa itu harus diubah lagi menjadi pulsa elektrik dan kembali menjadi telepon, muncul sebagai suara yang dikatakan. (lihat Gambar 18.2)

**KOTAK 18.1** Keterangan tentang awalan yang dipakai

| Awalan          | simbol | faktor aplikasi |
|-----------------|--------|-----------------|
| tera (trillion) | T      | $10^{12}$       |
| giga (billion)  | G      | $10^9$          |
| mega (million)  | M      | $10^6$          |
| kilo (thousand) | k      | $10^3$          |
| centi (hundred) | c      | $10^2$          |
| milli           | m      | $10^{-3}$       |
| micro           | $\mu$  | $10^{-6}$       |
| nano            | n      | $10^{-9}$       |
| pico            | p      | $10^{-12}$      |
| femto           | f      | $10^{-15}$      |

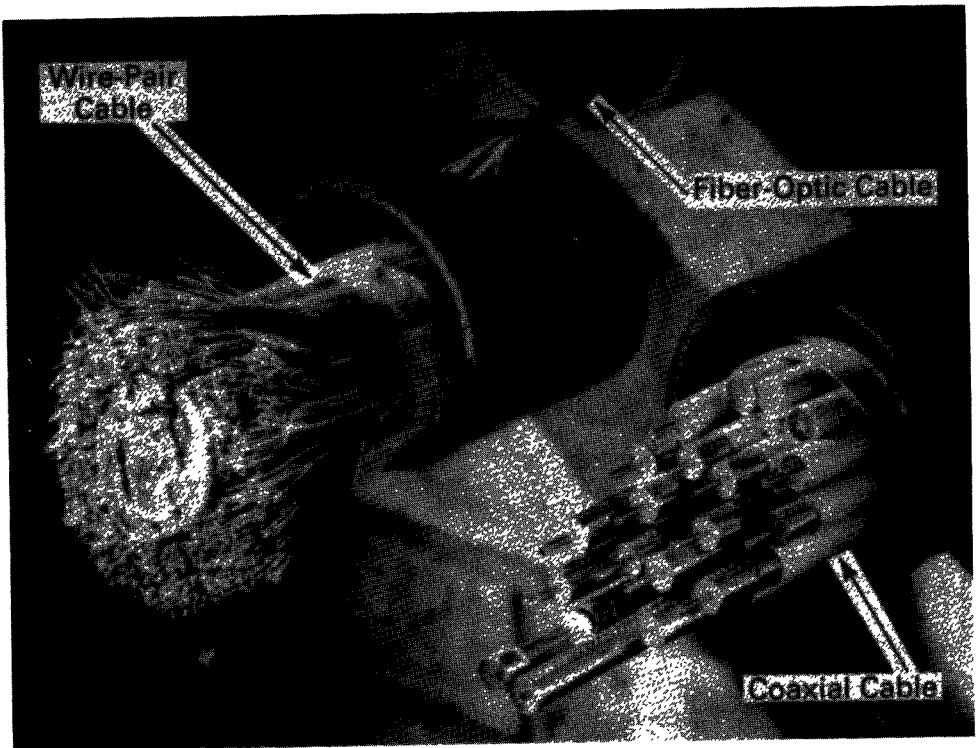
*Contoh :*

Tbps berarti : bit trillion perdetik

Fs berarti : femto detik, yaitu 0.000000000000000 1 detik

Ditunjukkan bahwa satu pulsa sama dengan satu bit, hubungan diantara dua komputer yang mentransmit 5 Mbps akan memerlukan beberapa bentuk sumber sinar yang bisa memancarkan pulsa sinar pada rata-rata lima juta pulsa perdetik. Sistem serat-optik pada jaringan yang ada sekarang beroperasi pada kecepatan yang jauh lebih tinggi, mencakup 565 Mbps dan 1.7 Gbps ; sehingga sumber sinar itu harus memiliki rata-rata pulsa yang sangat cepat. Kita membahas dua sumber sinar yang paling umum, laser dan sinar yang memancarkan dioda (LEDs), kemudian pada Bab berikutnya.

Bila pulsa sinar itu terus melalui kabel serat, hilangnya signal (kelemahannya) adalah kritis. Hilangnya signal itu diukur dengan desibel. Sebelum jumlah kelemahan itu mencapai poin dimana menunjukkan jumlah kesalahan yang tidak bisa diterima, signal aslinya harus dibuat dan disusun kembali dengan kekuatan aslinya dan kemudian ditransmit kembali. Dua parameter utama yang menentukan jarak diantara repeater merupakan kekuatan dari signal asli dan properti transmisi kabel. Dengan kabel serat-optik, faktor utama yang menentukan jumlah kelemahan merupakan aslinya dari kaca yang mana signal itu berjalan. Salah satu keuntungan pokok dari kabel serat-optik terhadap kabel copper atau kabel koaksial adalah kenyataan bahwa hilangnya kelemahan serat adalah jauh lebih sedikit dari

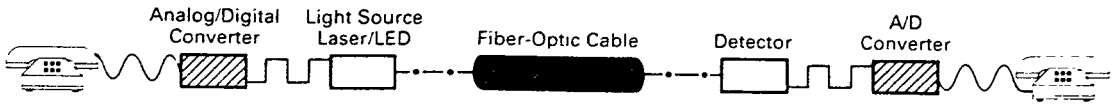


*Gambar 18.1* Hair-thin strand dari kabel serat optik mengganti kabel koaksial, seolah-olah mengganti saluran kawat coper besar pada jaringan utama. (kebaikan telekomunikasi)

pada kabel koaksial atau copper. Ini berarti bahwa jarak signal yang melalui kabel itu sebelum perlu ditentukan secara substansial lebih panjang dengan kabel serat optik. Jika lautan itu sejelas kabel serat-optik sekarang, anda akan mampu melihat semua gunung dibawah tanah sewaktu anda melalui lautan pasifik.

## **PROPERTI TRANSMISI KACA**

Bila sinar itu melalui satu meter kaca jendela, Pyrex, atau air sinar itu kehilangan kira-kira dua per tiga dari power yang ada (hilang 5-dB). Dengan memindahkan hampir semua ketidakaslian dan menjadi kaca itu dengan isi silika yang sangat tinggi, hal ini memungkinkan untuk membuat kaca yang mana sinar bisa melaluinya dengan hilangnya signal yang sangat rendah. Banyak sistem transmisi serat-

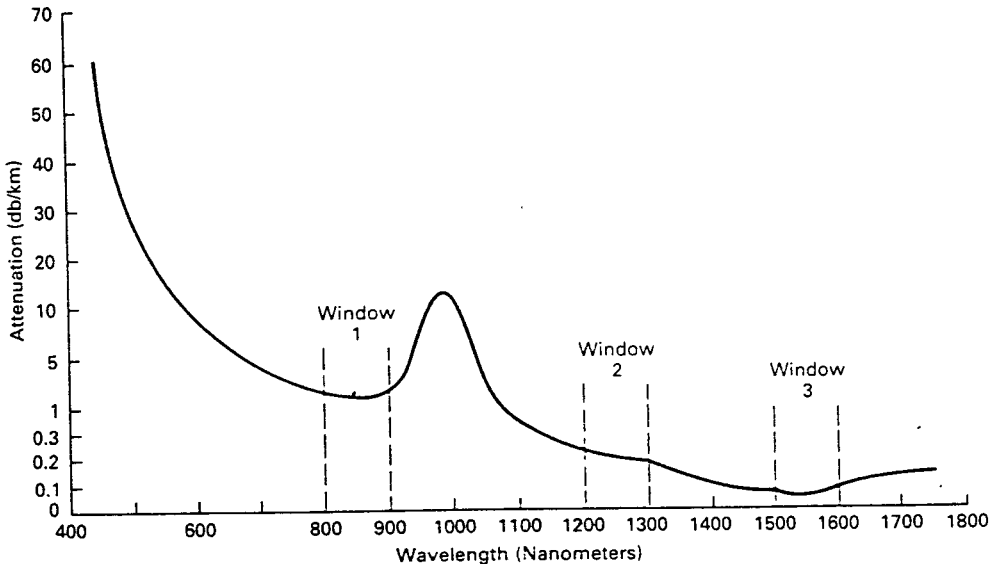


**Gambar 18.2.** Prinsip-prinsip dasar dari komunikasi serat-optik. Signal itu lewat dari fase seperti pada bentuk gelombang analog; kemudian melalui pengubah analog menjadi digital yang mengubah gelombang analog menjadi rangkaian pulsa digital. Kemudian signal digital itu melewati sumber sinar, yang mungkin menjadi laser atau LED, yang mengubah pulsa digital elektronik menjadi pulsa sinar yang ekuivalen. Pada akhir penerimaan suatu detektor menangkap pulsa sinar dan menterjemahkannya dalam pulsa digital, yang kemudian terus melalui pengubah analog menjadi digital yang lain yang mengubah signal digital kembali menjadi analog. Jika alat itu dihubungkan dengan kabel serat-optik yang mengeluarkan signal digital, seperti misal komputer, konversi analog menjadi digital tidak diperlukan. Dalam banyak sirkuit serat optik terrestrial, repeater yang untuk membuat signal ditempati kira-kira setiap 40 kilometer. Supaya dibuat, pulsa sinar itu pertama-tama harus diubah lagi menjadi pulsa elektrik; kemudian signal itu dibuat dan diubah lagi dalam pulsa sinar.

optik pada operasinya sekarang memiliki hilangnya signal diantara 0.5 dan 0.3 dB tiap kilometer. Hilangnya signal yang rendah ini menjadikan jarak repeater pada kabel serat dimana saja diantara 20 dan 50 kilometer. Seperti yang kita bahas secara mendetail pada Bab berikutnya ini, jumlah kelemahannya merupakan faktor panjang gelombang yang mana sinar itu sedang ditransmit. Pada umumnya, panjangnya gelombang itu semakin tinggi (ditunjukkan pada nano meter), maka kelemahan itu makin sedikit. Gambar 18.3 menggambarkan berbagai panjangnya gelombang yang dipakai pada sistem transmisi serat-optik dan jumlah kelemahan. Jumlah kelemahan itu juga diperintah oleh tipe serat yang dipakai, seperti yang akan kita lihat kemudian.

Mengapa sinar itu tetap ada di dalam serat? sinar itu turun melalui silinder kaca yang dikelilingi oleh zat, biasanya kaca, dari indeks bias rendah.

Bila sinar itu menembus tepi silindernya, maka secara total terefleksi dan tetap ada pada silinder, seperti yang ditunjukkan dalam Gambar 18.4. Refleksi internal total ini terjadi dalam pola yang sama pada permukaan kolam. Jika anda meletakkan kepala anda di bawah air itu dan melihat permukaan yang jauh, maka akan nampak kaca refleksi secara total. Sinar lampu tidak membias diluar kolam sama sekali, karena sudut tembusannya yang rendah tetapi secara total terefleksi kembali dalam air. Sinar lampu itu melintasi serat dan dibatasi dalam serat oleh refleksi internal total. Hal ini hanya akan diserap oleh serat, dan akan diperkuat



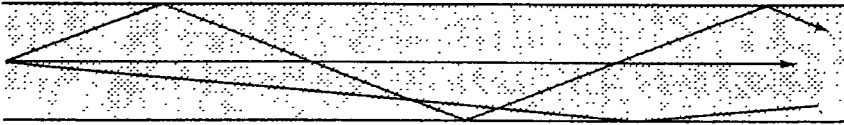
**Gambar 18.3.** Panjang gelombang yang berbeda yang dipakai pada sistem serat-optik dan jumlah kelemahan. Salah satu prasarat operasional dari sistem transmisi serat-optik adalah untuk mencapai kelemahan yang mungkin yang aling rendah bila sinar itu sedang ditransmit pada panjang gelombang yang ada. Diagram ini menggambarkan tiga jendela panjang gelombang yang dipakai sekarang, yang mengarahkan kelemahan yang mungkin paling rendah. Jendela 1: kelemahan diantara 2 dan 3 dB/kilometer pada panjang gelombang 800 sampai 900 nm. Sistem serat optik sebelumnya menggunakan dioda yang memancarkan sinar yang beroperasi pada 850 nm. Jendela 2: generasi sistem serat di berikutnya menggunakan dengan beroperasi pada 1200 sampai 1300 nm untuk menunjukkan kelemahan diantara 0.2 dan 0.3 dB/kilometer. Mayoritas sistem yang terpasang sekarang beroperasi dalam panjang gelombang ini. Gelombang 3: laser semi konduktor selanjutnya yang beroperasi pada range panjang gelombang dari 1500 sampai 1600 nm akan memiliki kelemahan kurang dari 0.1 dB/kilometer.

secara periodik. Sinar lampu pada frekuensi yang berbeda bisa melintasi serat yang sama, dan ikatan serat yang cukup fleksibel akan terus bersama untuk membentuk satu kabel.

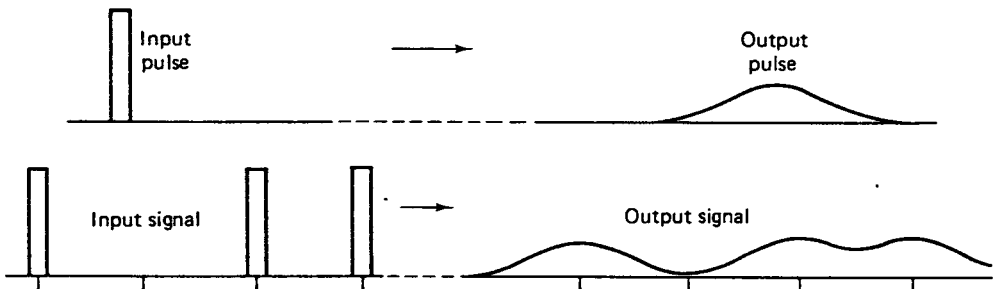
## **DISPERSI (PENYEBARAN)**

Seperti yang bisa dilihat dari Gambar 18.3, bandwidth yang berguna secara potensial dari serat kaca adalah sangat tinggi. Rata-rata transmisi serat sekarang

Light rays are reflected down a glass fiber with total internal reflection at the surface:



However some light rays travel by shorter paths than others. This causes the signal to become increasingly dispersed:



This dispersion puts an upper limit on the signaling rate of a glass fiber. Fibers can be constructed with very low dispersion and such fibers can carry a very high information rate.

Gambar 18.4

adalah jauh dibawah kapasitas teoritis ini. Satu faktor yang membatasi kapasitas transmisi ini merupakan *dispersi* dari signal sewaktu melintasi serat.

Sinar lampu yang melintasi serat bisa ditransmit oleh garis edar yang berbeda, seperti yang ditunjukkan dalam Gambar 18.4. Suatu sinar yang terus melintasi turun sumbu serat akan mencapai yang dituju sebelum sinar yang melambung menuruni serat dengan disertai banyak refleksi. Oleh karena itu, pulsa yang sangat pendek ditransmit menuruni serat akan tersebar pada waktunya, seperti yang ditunjukkan. Semakin jauh pulsa itu ditransmit, akan semakin menyebarkan. Pada serat khusus dari 100 micron diameter [0.1 milimeter (mm)] diameter, sinar aksial ditransmit 1 kilometer dalam beberapa nanosecond waktunya lebih sedikit dari pada sinar yang memiliki garis edar yang paling panjang. Pulsa yang lebih sedikit dari pada beberapa nanosecond terpisah akan berhadapan antar muka dengan yang lainnya dan menjadi tidak bisa dibedakan. Bila repeater pada serat menjadi

10 km terpisah, maka pulsa yang menyebar membatasi rata-rata transmisi jauh dibawah 100 Mbps per serat.

Properti serat yang lainnya yang menyebabkan dispersi merupakan variasi non linier dari indeks biasanya dengan frekuensi. Komponen frekuensi yang berbeda memiliki velositas yang berbeda pada kaca itu. Jika pulsa yang sedang ditransmit benar-benar monokromatik (sebagai misal, frekuensi atau warna tunggal), variasi indeks refraktif tidak berpengaruh dengan serat yang mengarahkan sinar LEDs (sinar yang menghilangkan dioda), pulsa itu berisi campuran frekuensi dan juga keluar setelah pulsa itu melintasi beberapa kilometer. Dengan kata lain, laser mentransmit pulsa frekuensi tunggal (monokromatik).

## **TIGA JENIS SERAT**

Dispersi bisa dikurangi dalam beberapa cara. Jika serat benar-benar tipis, akan ada sedikit dispersi. Tetapi seperti serat akan mudah pecah. Oleh karena itu kabel optik sudah di kontruksi yang mana banyak serat yang tipis dimasukkan bersama pada sarung plastik seperti tali lampu elektrik. Bundel itu luwes dan kuat, dan signalnya langsung menjadi kelompok serat paralel.

Suatu pendekatan yang lebih baik untuk telekomunikasi jarak jauh menggunakan serat kaca dengan inti sentral yang dilintasi oleh kaca dengan indeks refraktif yang sedikit lebih rendah seperti yang ditunjukkan dalam pusat Gambar 18.5. Ini mengacu sebagai serat mode tunggal, dimana serat dengan sinar ganda pada puncak Gambar 18.5 disebut serat multimode. Gelombang elektromagnetik terus melintasi serat dengan inti pada mode elektromagnetik tunggal, sebagai akibatnya, sinar tunggal yang mengarah ke sumbu serat. Informasi yang membawa kapasitas serat mode tunggal lebih besar dari pada serat multimode tetapi lebih mahal untuk diproduksi. Kesulitasannya serat mode tunggal adalah bagaimana memasukkan signal yang cukup kuat kedalam inti kaca, yang mungkin hanya memiliki diameter 5 mikron (0.005 mm). Untuk ini laser yang kecil diperlukan.

Pendekatan lain yang ditunjukkan pada dasar Gambar 18.5 menggunakan serat dengan indeks refraktif variabel. Indeks refraktif itu bermacam-macam dari yang tinggi pada pusat sampai pada yang lebih rendah di luar. Sinar yang menyimpang dari pusat serat di belokkan lagi, serat itu berlaku sebagai bagian dari lensa. Indeks refratif dengan hati-hati dinaikkan sehingga sinar itu difokuskan secara terus menerus sewaktu melintasi serat. Sinar-sinar itu naik sewaktu melewati kaca indeks



refraktif yang lebih rendah, dan hasilnya semua sinar ada pada akhir serat dengan rata-rata waktu yang sama. Dispersi itu maka tetap rendah.

Serat indeks yang dinaikkan kompleks untuk dibuat. Bahan kimia itu menguap dan disimpan pada silinder yang kemudian dikeluarkan untuk membentuk serat. Kabel-kabel optik yang akan datang mungkin memiliki serat optik yang terpisah yang dikelompokkan bersama pada satu sarung luwes, seperti yang ditunjukkan dalam Gambar 18.6.

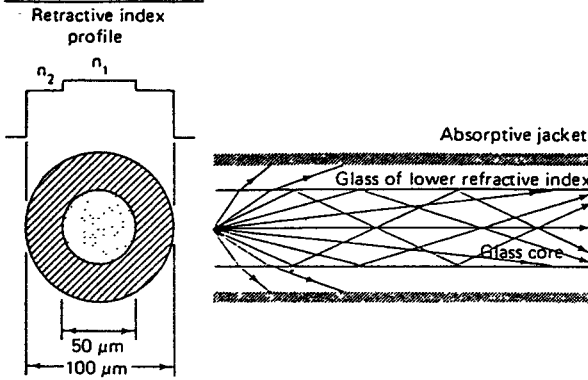
Masalah praktis pada penyebaran serat dalam jaringan telepon adalah bagaimana serat itu bisa di sambung, sehingga serat-serat itu panjangnya benar untuk saluran, dan bagaimana serat yang pecah bisa diperbaiki. Teknik-teknik itu telah di temukan untuk menyambung kabel optik dengan memperbaiki kode akhirnya, dengan meluruskan kabel dengan sangat tepat dan dengan menggunakan pasta optik tembus cahaya. Gabungan dalam kabel serat multimode bisa dibuat dengan hilangnya signal kurang dari satu desibel. Lebih sulit untuk menyambung kabel serat mode tunggal sebab ketelitian yang sangat tinggi diperlukan dalam memperbaiki inti sentral yang mungkin hanya lima mikron dalam diameter (0.005 mm).

## SUMBER CAHAYA

Ada dua sumber lampu yang berbeda untuk komunikasi serat optik, laser dan lampu yang menghilangkan dioda (LEDs). Properti yang paling penting dari sumber lampu adalah bahwa properti itu mampu mentransmit sumber lampu stabil dan konstan dan memiliki kehidupan aktif yang lama. Hampir semua transmisi serat optik menggunakan LEDs sebagai sumber lampu. Dengan mengoperasikan panjang gelombang dari 850 nanometer (nm) pada serat multimode rata-rata transmisi naik sampai 140 Mbps mungkin dengan penempatan repeater kira-kira setiap 10 sampai 15 kilometer. Gambar 18.7 menunjukkan dioda yang memancarkan sinar yang dihasilkan dalam bentuk keping konduktor kurang dari 1 milimeter tersimpan dengan damar epoksi pada serat kaca. Arus yang mencapai LED dimodulasi, dan sinar yang memancarkan secara terus menerus; sehingga tidak ada modulasi optik yang diperlukan. Signal yang ditransmit diterima oleh foto dioda, keping semikonduktor kecil tersimpan dengan diberi seperti yang ditunjukkan dalam Gambar 18.8.

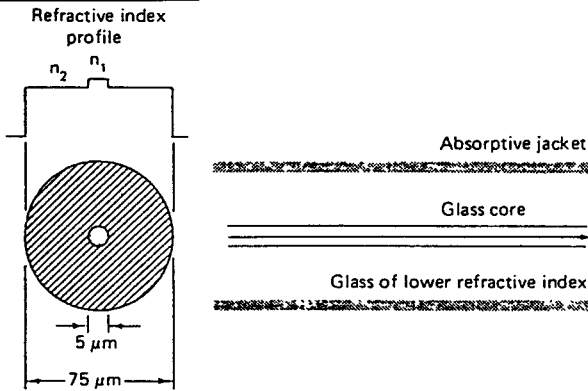
Tetapi untuk komunikasi jarak panjang dengan kelemahan yang rendah, panjang gelombang yang lebih tinggi adalah perlu. Pada kasus ini laser dipakai selain LEDs. Keduanya LEDs dan laser memiliki peranan untuk melakukan sistem

### Multimode Fiber



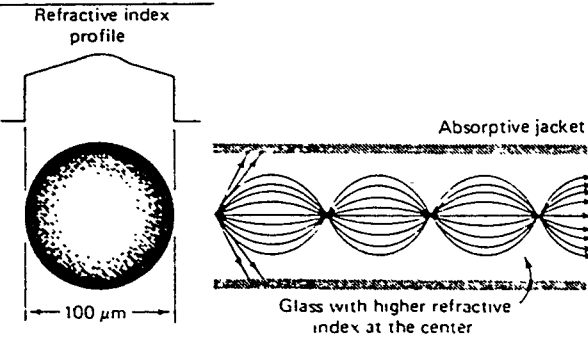
Rays are trapped in the glass core by surrounding it with glass of a lower refractive index. Multiple beams travel down the fiber, having slightly different path lengths and hence causing some dispersion of the signal.

### Single-mode Fiber



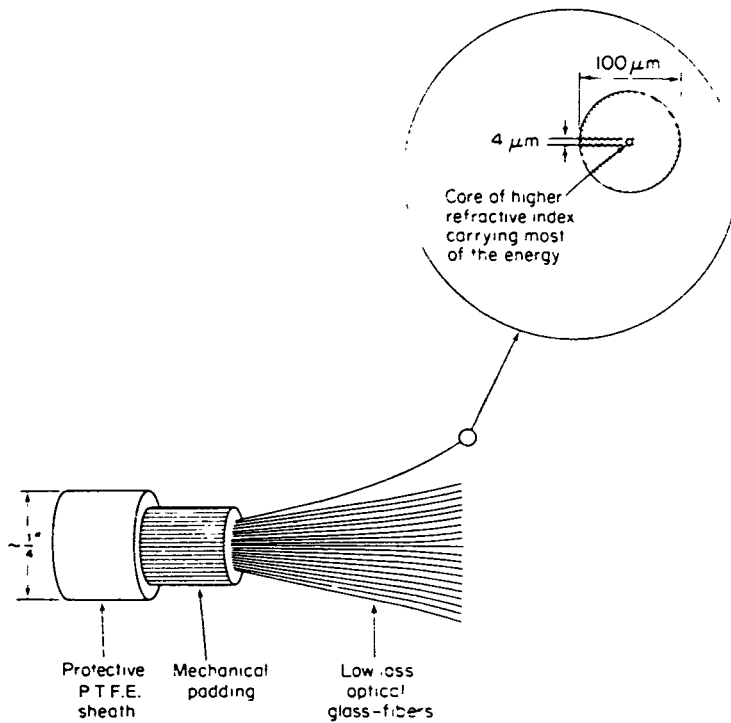
Similar to the above fiber except that the small core allows propagation in only one electromagnetic mode; in effect the light travels only as axial rays. The low dispersion permits a very high bit rate to be sent down the cable. A laser is needed to inject enough light into the small core.

### Graded-Index Fiber



A refractive index which is variable across the cross-section of the glass causes the rays to be continuously refocused as they travel down the fiber.

Gambar 18.5. Tiga tipe propagasi lampu serat kaca.

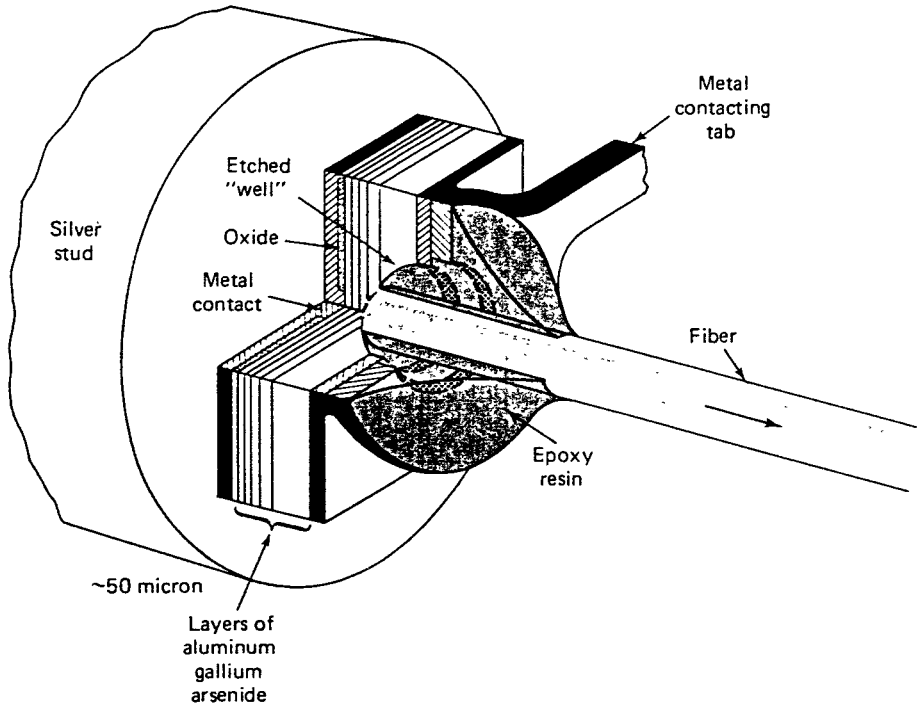


**Gambar 18.6** Kabel optik yang akan datang berisi ratusan atau ribuan serat optik dari salah satu tiga tipe yang ditunjukkan dalam gambar halaman 13.5. Gambar ini menunjukkan kabel yang berisi serat mode tunggal. Kabel seperti itu bisa menyalurkan banyak panggilan telepon dari pada semua panggilan utama, worldwide.

transmisi serat optik. Satu area dimana LEDs bisa dipakai merupakan sistem serat optik yang dipakai pada loop telepon lokal. Inilah jarak diantara pelanggan dan poin batasan jaringan terdekat, seperti misalnya switch remote atau multiplexer, biasanya tidak lebih dari pada pasangan mil. Aplikasi yang lain untuk sistem LED dalam bentuk jaringan kantor serat optik dan juga pada mobil dan pesawat terbang, dimana kabel serat optik dipakai sebagai pengganti kawat copper.

## SERAT PADA LOOP LOKAL

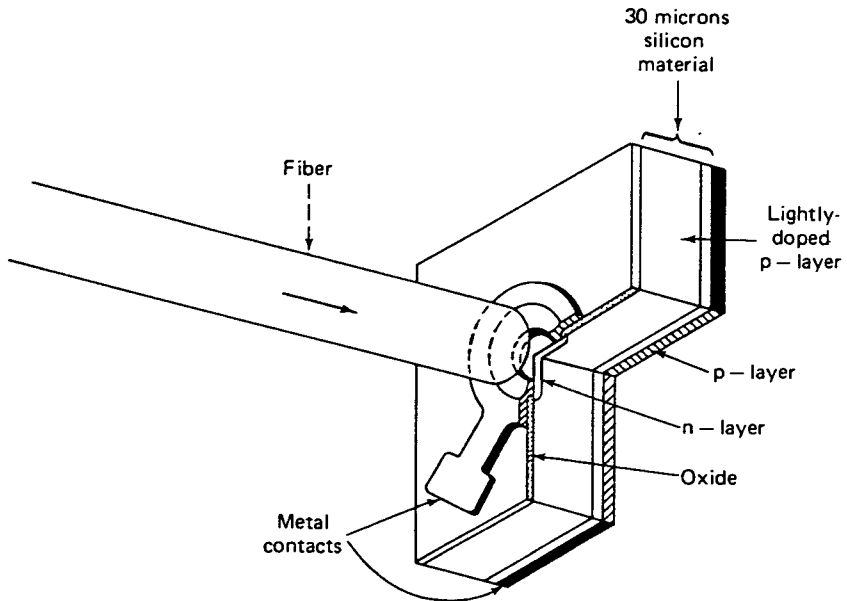
Untuk menanggapi mayoritas sistem serat optik sudah terpasang pada jaringan interoffice dan utama. Tahap berikutnya adalah pengenalan serat optik pada loop



**Gambar 18.7** Sinar yang cerah memancarkan dioda, tersimpan pada serat transmisi kaca. Sinar yang memancar berbeda-beda sebagai arus input dimodulasi. (Courtesy AT dan T).

lokal mengambil kabel serat pada kantor atau rumah pelanggan. Untuk banyak jaringan pelanggan lokal baru akan lebih murah memasang kabel serat dari pada copper. Dengan menggunakan teknik multiplexing divisi gelombang mirip dengan yang dilukiskan keduanya tanda hasil dan perolehan bisa dimultiplex menjadi serat tunggal; sehingga hanya satu serat yang dibutuhkan tiap rumah. Potensial dari memiliki serat dalam loop lokal adalah luar biasa. Sistem 565-Mbps yang sekarang beroperasi pada jaringan utama bisa dengan mudah diterapkan pada loop lokal. Kabel 565-Mbps tunggal di rumah sebagai misal, bisa menghasilkan sebagai berikut:

- Sebelas channel 50-Mbps HDTV simultan (televisi devinisi tinggi) (dengan kompresi).



**Gambar 18.8.** Foto dioda PIN silikon menerima sinar yang ditransmit oleh LED dalam Gambar 18.6 dan mengubahnya menjadi arus. Foto dioda memiliki bandwidth yang beroperasi dari beberapa ratus megahertz. (Courtesy AT dan T).

- Sebelas channel data 50-Mbps
- Channel yang banyak untuk
  - Vidio phone
  - Musik
  - Channel suara
  - Telemetry
  - Televisi facmile berwarna kualitas-fotografik dan layar dinding vidio.
  - Akses pada musik dan perpustakaan vidio.

Ciri jaringan telepon adalah merupakan perbaikan pada bandwidth cenderung diimplementasi pada jaringan utama, dan kemudian pancaran itu perlahan-lahan turun pada pelanggan sewaktu biaya teknologi baru itu mencapai poin dimana mengimplementasi pada kantor dan kemudian rumah dari jutaan pelanggan men-

jadi ekonomis. Secara teoritis poin itu sudah tercapai. Tetapi masih banyak porsi jaringan antar kantor dan utama dimana serat sudah terpasang. Kabel serat optik sekarang dipasang pada loop lokal di beberapa negara sebagai pilot trial untuk pelayanan broadband pada masa yang akan datang. Pada serat area yang lain sedang dipasang di loop lokal pusat bisnis utama. Wilayah keuangan di London, dikenal sebagai Square Mile berisi 656 Mbps ring serat yang dipasang oleh telkom Inggris untuk memenuhi persediaan suara pribadi dan sirkuit data dari banyak lembaga keuangan internasional dan bank-bank di daerah itu. Salah satu cara yang mana kabel serat akan sampai pada rumah dari banyak rumah pelanggan di Amerika Serikat akan sebagai operator jaringan TV kabel yang mengganti kabel koaksial dengan serat. Tetapi, pada umumnya tidak mungkin banyak sebelum akhir 1990 sebelum persentase populasi memiliki kabel serat yang menjalar kerumahnya. Areal lain dimana serat optik memiliki harapan utama adalah pada jaringan areal lokal di kantor-kantor dan pabrik-pabrik. Informasi yang menangani kapasitas kabel serat menjadikannya ideal untuk komputer kecepatan tinggi sampai komunikasi komputer.

Sewaktu biaya turun banyak korporasi akan menggunakan kabel serat pada gedung kantornya untuk membawa lalu lintas video dan data dan suara. Sistem serat yang ada sekarang cenderung dipakai untuk hubungan antar jaringan area lokal. Karena kabel serat optik tidak mudah mendapat gangguan elektrik, maka media ideal untuk menghubungkan rakitan terkomputer dan suatu sistem usaha pada suatu pabrik.

Menjelang tahun 2000 teknologi optik dalam bentuk transmisi dan switching akan mendominasi telekomunikasi. Adanya ini akan menjadikan memiliki pada bagaimana dan apa yang kita komunikasi mungkin serevolusioner dengan penemuan telepon itu sendiri.

## **LASER**

Untuk aplikasi kapasitas tinggi jarak jauh, laser adalah lebih efektif dari pada LED. *Laser* sebagai ganti "amplifikasi sinar oleh emisi radiasi yang terstimulasi dan didahului oleh *maser*, yang berarti" amplifikasi gelombang mikro oleh emisi radiasi terstimulasi." Suatu laser menghasilkan sinar lampu sempit yang sesuai (semua arus gelombang pada unison seperti gelombang yang keluar dari batu yang dijatuhkan dalam kolam), dan monokromatis (menduduki frekuensi atau warna tunggal) atau terdiri dari emisi monokromatik ganda. Suatu analog dengan

gelombang suara adalah tidak tetap, tetapi akan membantu pembaca untuk memvisualkan perbedaan diantara sinar laser dan sinar lampu. Suara dari tuning fork terdiri gelombang yang merupakan satu frekuensi dan merupakan sangat beralasan. Dengan kata lain jika saya meletakkan sebuah palu melalui jendela saya, gelombang suara tidak akan monokromatik tidak juga beralasan. Pembentuk itu mungkin dibandingkan dengan sinar laser, kemudian dengan lampu. Sinar laser atau sinar laser dibentuk oleh proses molekuler yang analogi terhadap tuning fork. Adalah mungkin membuat molekul tertentu oscillate dengan frekuensi tetap seperti tuning fork.

Elektron pada suatu atom hanya bisa berpindah pada orbit tetap tertentu. Hubungannya dengan setiap orbit adalah level energi khusus. Kadang-kadang elektron bisa menjadi sebab mengubah orbit, dan bila langkah ini terjadi, energi total hubungannya dengan atom berubah. Oleh karena itu atom bisa memuat sejumlah level energi yang berlainan kenyataan yang sangat terkenal dari mekanik kuantum. Proses-proses tertentu bisa menyebabkan elektron keluar dari satu orbit menuju lainnya atau menentukannya dengan cara lain, supaya menyebabkan atom beralih dari satu level energi menuju lainnya. Dengan cara ini gelombang radio atau radiasi elektromagnetik yang lain dipancarkan dengan kuantum yang berlainan.

Bila sinar ordiner di pancarkan, masa molekuler mengalihkan level energinya secara random. Kumpulan gelombang yang tidak berhubungan dihasilkan. Tetapi dibawah tindakan lasing, molekul-molekul itu diarahkan supaya memancar pada unison (penyatuan); zat itu bergerak pada frekuensi yang ditunjukkan dan arus gelombang yang berhubungan pada hasil frekuensi tunggal. Hal ini bisa bergeser dari frekuensi gelombang mikro (maser) menjadi frekuensi lampu (laser) menjadi laser sinar X.

Bila sinar laser yang dihasilkan oleh molekul lasing tertentu jatuh pada molekul dari jenis itu, ini bisa menyebabkan pergeseran diantaranya. Bentuk resonansi dimulai. Pembaca mungkin membayangkan pendulum yang besar jauh terlalu berat untuk bergerak jauh dengan dorongan keras tunggal. Jika dia memberikan rangkaian dorongan secara relatif, bagaimanapun, pembaca bisa menjadikannya mengikuti arus mode terakhir. Dia mungkin terus mendorong kepada poin yang benar dalam ayunan itu, dan panjangnya ayunan itu bertambah sampai pendulum itu menghasilkan kekuatan yang besar. Ini suatu resonansi. Dorongan-dorongannya telah menjadikan pergeseran secara besar-besaran. Dalam pola yang sama (dan lagi analogi itu sangat membantu tetapi tidak tepat), sinar laser yang lemah bisa menjatuhkan zat lasing dan menyebabkan resonansi di dalamnya. Hal ini men-

jadikan molekul-molekul itu bergeser sehingga sinar laser yang kuat dipancarkan. Sinar laser itu telah dibesarkan. Dengan cara ini sinar frekuensi tunggal atau beberapa frekuensi tunggal bisa dipancarkan.

Sinar lampu ordiner, bahkan sinar yang kita gambarkan sebagai monokromatik, sebenarnya terdiri dari meluasnya frekuensi yang kecil, yang mana masing-masing akan cenderung sedikit berbeda dengan lensa atau prisma. Tetapi sinar laser tidak diderakan oleh prisma dan susunan optik bisa dibuat untuknya begitu persis sehingga sinar lampu laser bisa disinarkan pada bulan dan hanya menyinari porsi permukaannya sedikit. Sinar bisa dipusatkan dengan satu lensa pada area satu menit dan konsentrasi energi yang benar-benar pada area kecil seperti itu menyebabkan pemanasan yang lokal terjadi. Alat las atau potong disediakan dengan presisi (ketelitian) mini jauh diluar impian para pembuat jam Swiss. Ahli bedah memiliki pisau bedah mikroskopis; sinar kematian yang potensial, umum.

Untuk meringkas sinar laser berbeda dengan sinar ordiner karakter. Berbagai aplikasi yang luas tentang laser didasarkan pada satu faktor atau lebih.

1. Sinar laser adalah sangat monokromatik. Tetapi sinar ini mungkin memiliki lebih dari satu frekuensi monokromatik (warna). Dengan menggunakan filter frekuensi tunggal bisa dipisahkan dari lainnya.
2. Sinar itu adalah sesuai dengan gelombang yang secara teratur disusun dan pada fase dengan masing-masing lainnya.
3. Ini bisa memiliki intensitas yang sangat besar, begitu besar sehingga bisa menjadikan orang buta terus.
4. Laser memancarkan sinar pada sinar yang paralel dari pada dalam semua arah seperti filamen bolam
5. Karena sinar laser paralel dan monokromatik, sinar ini bisa memiliki dispersi rendah; bisa secara tepat dilangsungkan oleh lensa dan prisma. Pulsa-pulsa itu menjadi sedikit meluas bila turun melalui serat yang cocok.

Untuk telekomunikasi kita bisa memiliki sinar intensitas besar yang bisa terkontrol, yang bisa diperbesar dan yang memiliki frekwensi 100,000 kali lebih tinggi dari pada signal gelombang mikro sekarang. Informasi potensial yang membawa kapasitas adalah ribuan kali lebih besar dari pada gelombang mikro.



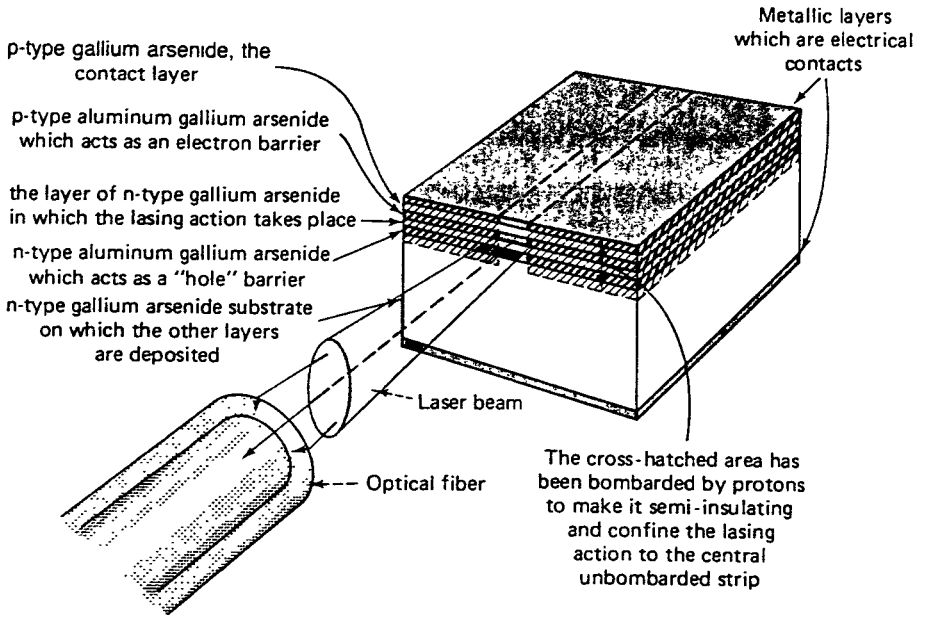
## LASER SEMI KONDUKTOR

Masalah hubungannya dengan serat optik, khususnya serat mode tunggal ditunjukkan dalam Gambar 18.5, adalah bagaimana memperoleh signal yang kuat didalam serat yang kecil. Cahaya untuk serat mode tunggal harus dikilapkan satu tabung kira-kira 5 mikron (0.005 mm) pada diameter. Laser itu bisa memberikan sangat kecil tetapi secara kuat sumber yang terang yang memancarkan lampu pada cahaya paralel sempit dan bisa dilekatkan secara langsung pada serat.

Tipe laser yang menarik khususnya untuk maksud ini merupakan laser semi konduktor. Laser ini kecil dan secara potensial tidak mahal untuk diperoleh dalam jumlah. Laser ini bisa dibuat metode epitaxial mirip dengan laser yang dipakai untuk membuat sirkuit LSI dan VLSI. Kristal-kristal itu dikeluarkan dan bahan-bahan kimia itu disimpan pada lapisan, lapisan sebelah luar yang merupakan arus metalik membawa kontak.

Gambar 18.9 menunjukkan laser semi konduktor. Laser ini merupakan papan gallium arsenide yang seperti persegi panjang kecil dilapisi dengan lapisan aluminium gallium arsenide dan gallium arsenide secara bergantian. Pada bagian puncak dan dasar itu adalah lapisan metal yang berlaku sebagai kontak elektrik. Lapisan-lapisan itu terdiri dari daerah tipe p dan tipe n seperti yang ditunjukkan dalam Gambar 18.9 Kemudian daerah tipe n berisi elektron mobile-carrier arus negatif. Daerah tipe p berisi carrier arus positif yang berakibat tidak adanya elektron dari struktur molekuler, mengacu sebagai "lubang". Bila arus elektrik, sebagai misal sebuah battery, diterapkan pada kontak elektron dari lapisan tipe n dimasukkan dalam lapisan tipe p. Pada lapisan gallium arsenide tipe p pusat, elektron berhubungan "lubang", dan energi ekkses itu dipancarkan seperti lampu. Tindakan lasing termasuk dalam lapisan sentral ini. Lampu yang ada dibatasi pada lapisan itu sebab lapisan aluminium gallium arsenide yang berdampingan adalah dari indek bias yang lebih rendah. Tepi blok itu seperti cermin sehingga tepi-tepi itu merefleksikan lampu pada lapisan itu. Lampu itu kemudian menstimulasi generasi lampu yang lebih. Ini menstimulasi banyak lampu sampai cahaya radiasi yang berlingketan terpancar.

Tindakan lasing itu dibatasi pada lapisan tebal gallium arsenide sentral. untuk menentukan cahaya tebal pensil, semua tetapi bidang lapisan sentral itu dibuat semi insulasi dengan menyerangnya dengan proton selama proses pembuatan. Kemudian kepingan laser itu memancarkan cahaya sempit yang kuat, cukup kecil untuk memasuki serat optik. Seperti pada produksi sirkuit VLSI, jumlah kepingan



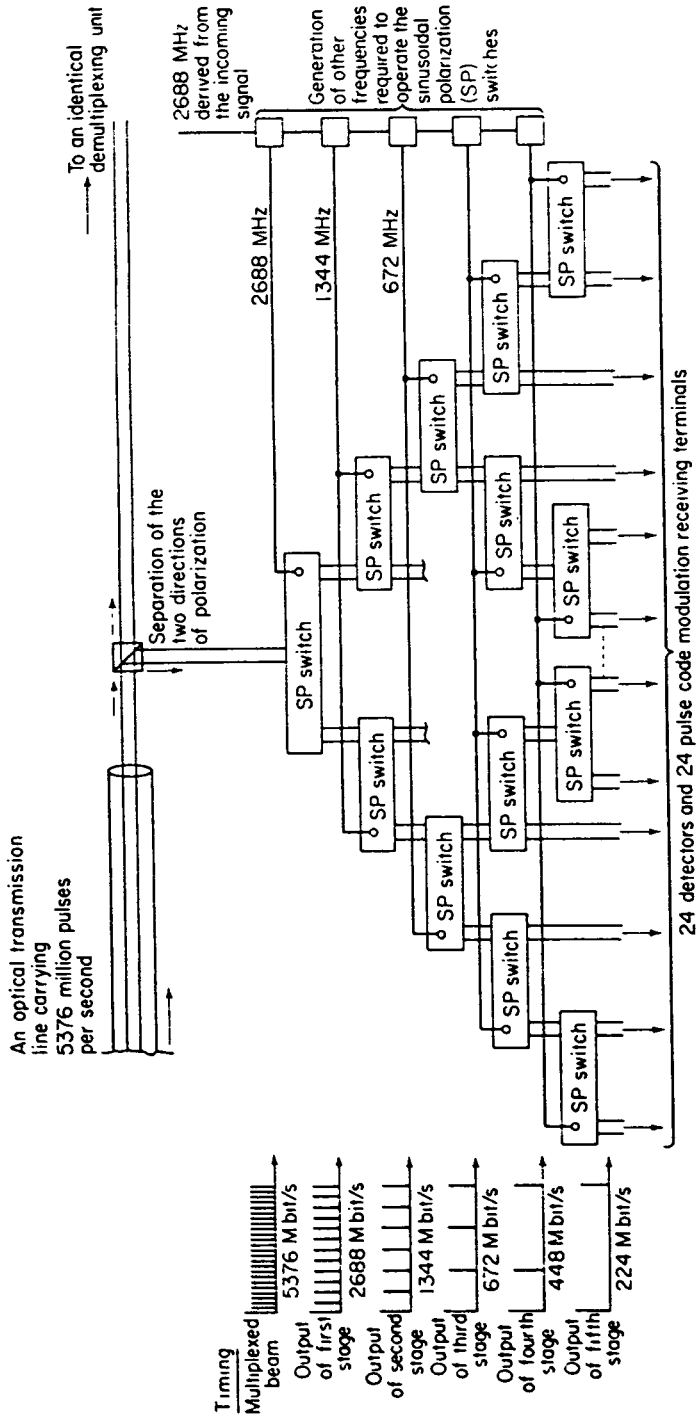
**Gambar 18.9** Kepingan laser yang kecil yang mengeluarkan sorotan yang sangat sempit, cukup kecil untuk memasuki serat optik. Kepingan semacam itu dapat dihasilkan dalam jumlah besar pada galium arsenid yang sangat tipis daripada seperti produksi dalam jumlah besar dari kepingan LSI dan VLSI yang biasa.

itu dihasilkan secara serentak dengan menyimpang berbagai lapisan kimia pada wafer bahan substrate, dan kemudian memotong wafer itu menjadi kepingan-kepingan.

## MEMMULTIPEKSING SINYAL LASER

Sinyal laser bisa dimultiplex dalam serat kaca seperti sinyal elektrik bisa dimultiplex dalam kabel koaksial atau kawat. Keduanya yaitu dari multiplexing divisi-waktu dan frekuensi sudah dipakai dalam percobaan. Dengan menggandakan komposisi semikonduktor, laser bisa dibuat untuk memancarkan frekuensi yang berbeda.

Untuk mencapai multiplexing divisi-waktu, suatu laser bisa dibuat untuk menghasilkan rangkaian pulsa lampu yang sangat sempit. Bila laser memancarkan frekuensi yang berbeda, setiap fase yang berlingketan dan monokromatik, frekuensi-frekuensi ini mengganggu lainnya, dalam beberapa tempat menunda



Gambar 18.10 Belum diterjemahkan

yang lainnya keluar dan masuk dalam penguat tempat-tempat tertentu untuk membentuk pulsa intensitas tinggi, sempit. Semakin besar jumlah frekuensi yang dipakai, semakin pulsa yang ada. Pulsa yang sangat sempit sudah dibuat, terpisah jauh pada saat itu. Deretan pulsa ini bisa dibuat menentukan sinyal digital dan bisa dipakai untuk modulasi kode pulsa. Karena pulsa-pulsa ini secara relatif jauh terpisah, pada saat menggunakan teknik-teknik sekarang, untuk memodulasinya ; dan karena pulsa-pulsa itu sangat sempit, Beberapa deretan pulsa bisa diinterleaved (time-division multiplexed). Proses-proses seperti itu mulai dengan arus pulsa tunggal dan membelah dalam beberapa aliran pulsa identik. Aliran pulsa yang terpisah kemudian ditunda oleh jumlah yang berbeda dengan melintasinya melalui komponen optik, sebagai misal koil serat yang panjangnya berbeda. Kemudian aliran pulsa itu secara terpisah dimodulasi dan dikombinasikan lagi. Timingnya adalah aliran pulsa yang terkombinasi akan mengosongkan pulsa durasi pendek tanpa ada dua pulsa yang kebetulan ada.

Gambar 18.10 menunjukkan batas yang didesign pada multiplex aliran pulsa 5.376 Gbps. Proses multiplexing merupakan kebalikan dari apa yang terjadi pada gambar. Filter polaris di puncak gambar membelah aliran menjadi dua 2688 Mbps, yang kemudian memasuki dua unit multiplexing identik. Unit yang terdemultiplex terdiri dari pancaran switch polarisasi. Switch-switch itu terdiri dari kristal yang memutar mengintari pesawat polarisasi lampu, yang tergantung pada voltase yang diterapkannya. Semuanya itu dipakai untuk memindahkan pulsa channel yang tidak diperlukan secara selektif dan dioperasikan oleh voltase sinusoidal. Harus merupakan sinkronisasi yang sangat tepat; sehingga informasi timing diambil dari aliran pulsa input.

Laser-laser itu telah dibuat yang menunjukkan aliran pulsa yang mana pulsa itu sependek 0.4 pico second ( $0.4 \times 10^{12}$  second — cahaya itu melalui kira-kira seper sepuluh pada saat ini !). Laser seperti itu bisa memberikan transmisi data lebih dari  $10^{12}$  melalui serat optik yang ada sekarang, dan beribu-ribu serat seperti itu bisa dimasukkan dalam satu kabel flexibel.