

Pengenalan Sistem Komunikasi Serat Optik

Fiber Optic Communications, Joseph C. Palais

<http://www.howstuffworks.com> , <http://www.tpub.com>

Abstrak

Pada 30 tahun belakangan ini, 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, 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 elektromagnetik, informasi dibawa sebagai kumpulan gelombang-gelombang elektro-magnetik terpandu yang disebut mode. Serat optik terbagi menjadi 2 tipe yaitu *single mode* dan *multi mode*. Secara umum sistem komunikasi serat optik terdiri dari : *transmitter*, serat optik sebagai saluran informasi dan *receiver*. Pada *transmitter* terdapat *modulator*, *carrier source* dan *channel coupler*, pada saluran informasi serat optik terdapat *repeater* dan sambungan sedangkan pada *receiver* terdapat *photo detector*, *amplifier* dan *data processing*. Sebagai sumber cahaya untuk sistem komunikasi serat optik digunakan LED atau *Laser Diode* (LD).

Kata Kunci : Serat optik, internal total reflection, mode, single mode, multi mode, transmitter, saluran informasi, receiver, repeater, sambungan, modulator, carrier, source, channel coupler, detector, amplifier, data processing,, LED, Laser Dioda (LD), photo detector.

1. Maksud dan Tujuan

1.1 Maksud Penulisan

Untuk memenuhi tugas penulisan makalah pada mata kuliah seminar Program Pasca Sarjana (Magister Teknik) Bidang Ilmu Teknik Fakultas Teknik, Program Studi Elektroteknika dan Aplikasi LASER Universitas Indonesia.

1.2 Tujuan Penulisan

1.2.1 Mempelajari struktur serat optik dan memahai prinsip perambatan cahaya pada serat optik baik tinjauan cahaya secara geometrik maupun secara gelombang elektro-magnetik (teori moda).

1.2.2 Mengetahui bagaimana sejarah perkembangan teknologi serat optik.

1.2.3 Mempelajari keuntungan-keuntungan sistem serat optik dibandingkan dengan sistem konvensional menggunakan kabel logam (tembaga).

1.2.4 Mempelajari dasar sistem komunikasi serat optik secara umum.

2. Sejarah Perkembangan Teknologi Serat Optik

Pada tahun 1880 Alexander Graham Bell menciptakan sebuah sistem komunikasi cahaya yang disebut *photo-phone* dengan menggunakan cahaya matahari yang dipantulkan dari sebuah cermin *suara-termodulasi* tipis untuk membawa percakapan, pada penerima cahaya matahari termodulasi mengenai sebuah foto-konduktif sel-selenium, yang merubahnya menjadi arus listrik, sebuah penerima telepon melengkapi sistem. *Photo-phone* tidak pernah mencapai sukses komersial, walaupun sistem tersebut bekerja cukup baik.

Penerobosan besar yang membawa pada teknologi komunikasi serat optik dengan kapasitas tinggi adalah penemuan Laser pada tahun 1960, namun pada tahun tersebut kunci utama di dalam sistem serat praktis belum ditemukan yaitu serat yang efisien. Baru pada tahun 1970 serat dengan loss yang rendah dikembangkan dan komunikasi serat optik menjadi praktis (Serat optik yang digunakan berbentuk silinder seperti kawat pada umumnya, terdiri dari inti serat (*core*) yang dibungkus oleh kulit (*cladding*) dan keduanya dilindungi oleh jaket pelindung (*buffer coating*)). Ini terjadi hanya 100 tahun setelah John Tyndall, seorang fisikawan Inggris, mendemonstrasikan kepada Royal Society bahwa cahaya dapat dipandu sepanjang kurva aliran air. Dipandunya cahaya oleh sebuah serat optik dan oleh aliran air adalah peristiwa dari fenomena yang sama yaitu *total internal reflection*.

Teknologi serat optik selalu berhadapan dengan masalah bagaimana caranya agar lebih banyak informasi yang dapat dibawa, lebih cepat dan lebih jauh penyampaiannya dengan tingkat kesalahan yang sekecil-kecilnya. Informasi yang dibawa berupa sinyal digital, digunakan besaran **kapasitas transmisi** diukur dalam 1 Gb.km/s yang artinya 1 milyar bit dapat disampaikan tiap detik melalui jarak 1 km. Berikut adalah beberapa tahap sejarah perkembangan teknologi serat optik :

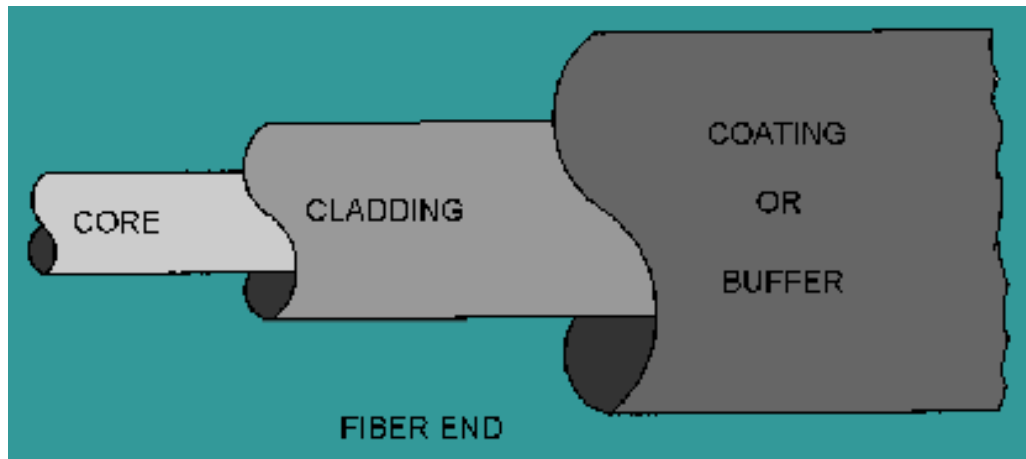
- Generasi Pertama (mulai tahun 1970)
 - Sistem masih sederhana dan menjadi dasar bagi sistem generasi berikutnya terdiri dari :
 - **Encoding** : Mengubah input (misal suara) menjadi sinyal listrik.
 - **Transmitter** : Mengubah sinyal listrik menjadi gelombang cahaya termodulasi, berupa LED dengan panjang gelombang 0,87 μm .
 - Serat Silika : Sebagai pengantar gelombang cahaya.
 - **Repeater** : Sebagai penguat gelombang cahaya yang melemah di jalan
 - **Receiver** : Mengubah gelombang cahaya termodulasi menjadi sinyal listrik, berupa foto-detektor
 - **Decoding** : Mengubah sinyal listrik menjadi output (misal suara)
 - *Repeater* bekerja dengan merubah gelombang cahaya menjadi sinyal listrik kemudian diperkuat secara elektronik dan diubah kembali menjadi gelombang cahaya.
 - Pada tahun 1978 dapat mencapai kapasitas transmisi 10 Gb.km/s.
- Generasi Ke- Dua (mulai tahun 1981)
 - Untuk mengurangi efek dispersi, ukuran inti serat diperkecil.

- Indeks bias kulit dibuat sedekat-dekatnya dengan indeks bias inti.
 - Menggunakan diode laser, panjang gelombang yang dipancarkan 1,3 μm .
 - Kapasitas transmisi menjadi 100 Gb.km/s.
- Generasi Ke- Tiga (mulai tahun 1982)
 - Penyempurnaan pembuatan serat silika.
 - Pembuatan chip diode laser berpanjang gelombang 1,55 μm .
 - Kemurniaan bahan silika ditingkatkan sehingga transparansinya dapat dibuat untuk panjang gelombang sekitar 1,2 μm sampai 1,6 μm
 - Kapasitas transmisi menjadi beberapa ratus Gb.km/s.
 -
 - Generasi Ke- Empat (mulai tahun 1984)
 - Dimulainya riset dan pengembangan sistem koheren, modulasinya bukan modulasi intensitas melainkan modulasi frekuensi, sehingga sinyal yang sudah lemah intensitasnya masih dapat dideteksi, maka jarak yang dapat ditempuh, juga kapasitas transmisinya, ikut membesar.
 - Pada tahun 1984 kapasitasnya sudah dapat menyamai kapasitas sistem deteksi langsung (modulasi intensitas).
 - Terhambat perkembangannya karena teknologi piranti sumber dan deteksi modulasi frekuensi masih jauh tertinggal.
 - Generasi Ke- Lima (mulai tahun 1989)
 - Dikembangkan suatu penguat optik yang menggantikan fungsi *repeater* pada generasi-generasi sebelumnya.
 - Pada awal pengembangannya kapasitas transmisi hanya dicapai 400 Gb.km/s tetapi setahun kemudian kapasitas transmisinya sudah menembus 50.000 Gb.km/s !
 - Generasi Ke- Enam ?
 - Pada tahun 1988 Linn F. Mollenauer mempelopori sistem komunikasi optik *soliton*. *Soliton* adalah pulsa gelombang yang terdiri dari banyak komponen panjang gelombang yang berbeda hanya sedikit dan juga bervariasi dalam intensitasnya.
 - Panjang *soliton* hanya 10^{-12} detik dan dapat dibagi menjadi beberapa komponen yang saling berdekatan, sehingga sinyal-sinyal yang berupa *soliton* merupakan informasi yang terdiri dari beberapa saluran sekaligus (*wavelength division multiplexing*).
 - Eksprimen menunjukkan bahwa soliton minimal dapat membawa 5 saluran yang masing-masing membawa informasi dengan laju 5 Gb/s. Kapasitas transmisi yang telah diuji mencapai 35.000 Gb.km/s.
 - Cara kerja sistem soliton ini adalah **efek Kerr**, yaitu sinar-sinar yang panjang gelombangnya sama akan merambat dengan laju yang berbeda di dalam suatu bahan jika intensitasnya melebihi suatu harga batas. Efek ini kemudian digunakan untuk menetralkan efek dispersi, sehingga soliton tidak melebar pada waktu sampai di *receiver*. Hal ini sangat menguntungkan karena tingkat kesalahan yang ditimbulkannya amat kecil bahkan dapat diabaikan.

3. Struktur Serat Optik dan Perambatan Cahaya pada Serat Optik

- Struktur Dasar Sebuah Serat Optik

Gambar (1) di bawah merupakan struktur dasar dari sebuah serat optik yang terdiri dari 3 bagian : **core** (inti), **cladding** (kulit), dan **coating** (mantel) atau **buffer** (pelindung). Inti adalah sebuah batang silinder terbuat dari bahan dielektrik (bahan silika (SiO_2), biasanya diberi doping dengan germanium oksida (GeO_2) atau fosfor penta oksida (P_2O_5) untuk menaikkan indeks biasnya) yang tidak menghantarkan listrik, inti ini memiliki jari-jari a , besarnya sekitar $8 - 200 \mu\text{m}$ dan indeks bias n_1 , besarnya sekitar 1,5. Inti di selubungi oleh lapisan material, disebut kulit, yang terbuat dari bahan dielektrik (silika tanpa atau sedikit doping), kulit memiliki jari-jari sekitar $125 - 400 \mu\text{m}$ indeks bias-nya n_2 , besarnya sedikit lebih rendah dari n_1 .



Gambar (1)

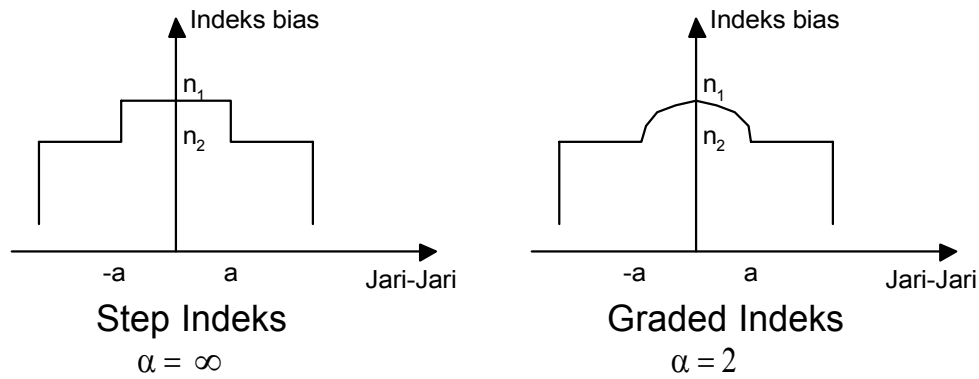
Walaupun cahaya merambat sepanjang inti serat tanpa lapisan material kulit, namun kulit memiliki beberapa fungsi :

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

Jika perbedaan indeks bias inti dan kulit dibuat drastis disebut serat optik *Step Indeks (SI)*, selisih antara indeks bias kulit dan inti disimbolkan dengan Δ dimana :

$$\Delta = \frac{n_1^2 - n_2^2}{2n_1^2} \approx \frac{n_1 - n_2}{n_1} \dots\dots\dots(1)$$

Sedangkan jika perbedaan indeks bias inti dan kulit dibuat secara perlahan-lahan disebut *Graded Indeks (GI)*, bagaimana turunnya indeks bias dari inti ke kulit ditentukan oleh *indeks profile*, α .



Gambar (2)

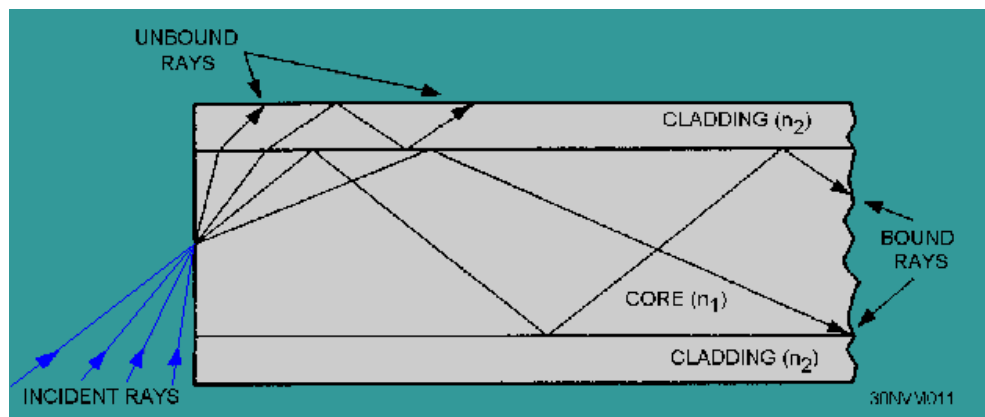
Untuk perlindungan tambahan, kulit dibungkus oleh lapisan tambahan (terbuat dari plastik jenis tertentu) yaitu mantel atau *buffer* untuk melindungi serat optik dari kerusakan fisik. Buffer bersifat elastis, mencegah abrasi dan mencegah *loss* hamburan akibat *microbends*.

- Perambatan Cahaya Di Dalam Serat Optik

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

- Tinjauan Optik Geometrik

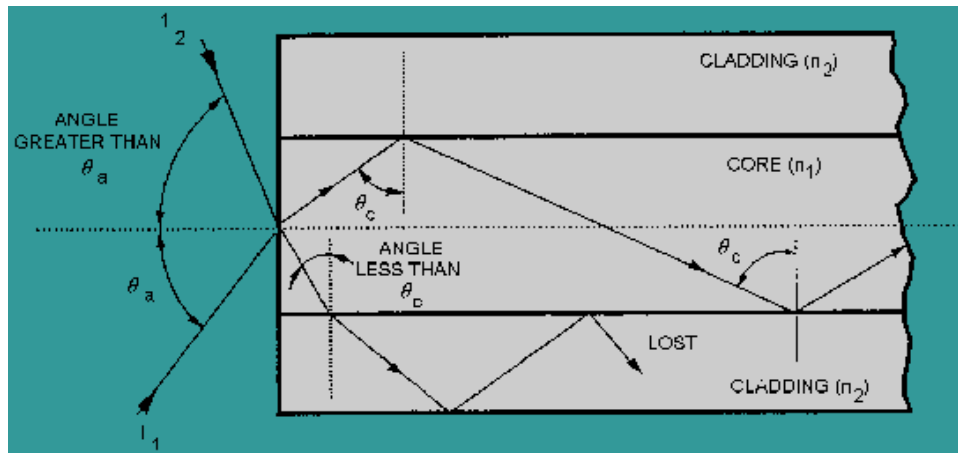
- Memberikan gambaran yang jelas dari perambatan cahaya sepanjang serat optik.
- Dua tipe sinar dapat merambat sepanjang serat optik yaitu sinar meridian dimana sinar merambat memotong sumbu serat optik dan *skew ray* dimana sinar merambat tidak melalui sumbu serat optik.
- Sinar-sinar Meridian dapat diklasifikasikan menjadi *bound* dan *unbound rays*, lihat gambar (3).



Gambar (3)

Pada gambar (3), serat optik adalah jenis step indeks, dimana indeks bias, n_1 , lebih besar dari indeks bias kulit, n_2 , *Unbound rays* dibiarkan keluar dari inti, sedangkan *bound rays* akan terus menerus dipantulkan dan merambat sepanjang inti, dianggap permukaan batas antara inti dan kulit sempurna/ideal (namun akibat ketidak-sempurnaan ketidak-sempurnaan permukaan batas antara inti dan 4kulit maka akhirnya sinar akan keluar dari serat). Secara umum sinar-sinar meridian (mengikuti hukum pemantulan dan pembiasan).

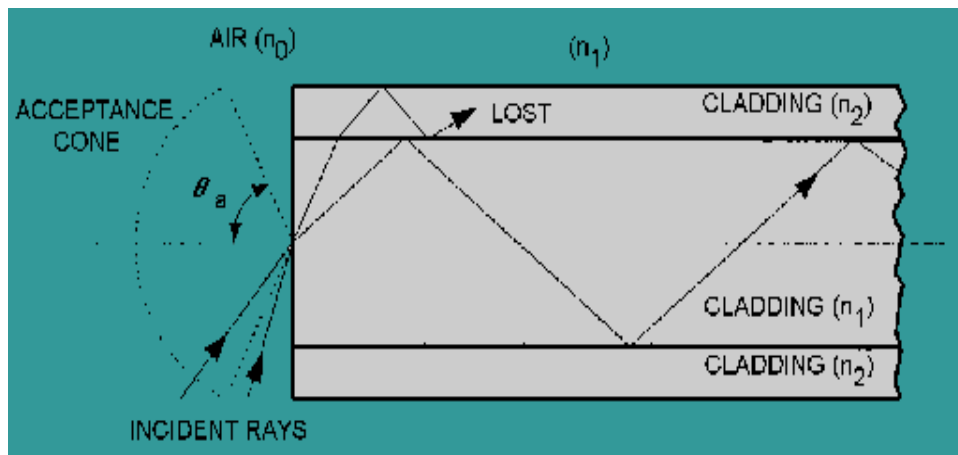
- Bound rays di dalam serat optik disebabkan oleh pemantulan sempurna, dimana agar peristiwa ini terjadi maka sinar yang memasuki serat harus memotong perbatasan inti - kulit dengan sudut lebih besar dari sudut kritis, θ_c , sehingga sinar dapat merambat sepanjang serat.
- Lihat gambar (4) di bawah ini :



Gambar (4)

Sudut θ_a adalah sudut maksimum sinar yang memasuki serat agar sinar dapat tetap merambat sepanjang serat (dipandu), sudut ini disebut sudut tangkap

(*acceptance angle*). Lihat gambar (5) di bawah ini :



Gambar (5)

Numerical aperture (NA) adalah ukuran kemampuan sebuah serat untuk menangkap cahaya, juga dipakai untuk mendefinisikan *acceptance cone* dari sebuah serat optik. Dengan menggunakan hukum Snellius NA dari serat adalah :

$$NA = n_0 \times \sin \Theta_a = (n_1^2 - n_2^2)^{\frac{1}{2}} \dots\dots\dots(2)$$

Karena medium dimana tempat cahaya memasuki serat umumnya adalah udara maka $n_0 = 1$ sehingga $NA = \sin \theta_a$. NA digunakan untuk mengukur *source-to-fiber power-coupling efficiencies*, NA yang besar menyatakan *source-to-fiber power-coupling efficiencies* yang tinggi. Nilai NA biasanya sekitar 0,20 sampai 0,29 untuk serat gelas, serat plastik memiliki NA yang lebih tinggi dapat melebihi 0,5.

▪ Tinjauan Optik Fisis

- Pendekatan cahaya sebagai sinar hanya menerangkan bagaimana arah dari sebuah gelombang datar merambat di dalam sebuah serat namun tidak meninjau sifat lain dari gelombang datar yaitu interferensi, dimana gelombang datar saling berinterferensi sepanjang perambatan, sehingga hanya tipe-tipe gelombang datar tertentu saja yang dapat merambat sepanjang serat. Maka diperlukan tinjauan optik fisis yaitu memandang cahaya sebagai gelombang elektromagnetik yang disebut **teori moda**.
- Teori mode selain digunakan untuk menerangkan tipe-tipe gelombang datar yang dapat merambat sepanjang serat, juga untuk 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 (tidak berubah sepanjang perambatan cahaya dalam arah sumbu) sehingga cahaya dapat dipandu di dalam serat optik” (*Introduction To Optical Fiber Communication, Yasuharu Suematsu, Ken – Ichi Iga*). 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 dari perambatannya. Gelombang datar adalah sebuah gelombang yang permukaannya (dimana pada permukaan ini fase-nya 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 :

$$\text{wavelength } (\lambda) = \frac{c}{fn} \dots\dots\dots(3)$$

c = kecepatan cahaya dalam ruang hampa = 3.10^8 m/det, f = frekuensi cahaya,
 n = indeks bias medium.

- Consider the wavefront incident on the core of an optical fiber as shown in figure (6). Only those wavefronts incident on the fiber at angles less than or equal to the critical angle may propagate along the fiber. The wavefront undergoes a gradual phase change as it travels down the fiber. Phase changes also occur when the wavefront is reflected. The wavefront must remain in phase after the wavefront transverses the fiber twice and is reflected twice. The distance transversed is shown between point A and point B on figure (6). The reflected waves at point A and point B are in phase if the total amount of phase collected is an integer multiple of 2π radian. If propagating wavefronts are not in phase, they eventually disappear. Wavefronts disappear because of **destructive interference**. The wavefronts that are in phase interfere with the wavefronts that are out of phase. This interference is the reason why only a finite number of modes can propagate along the fiber.

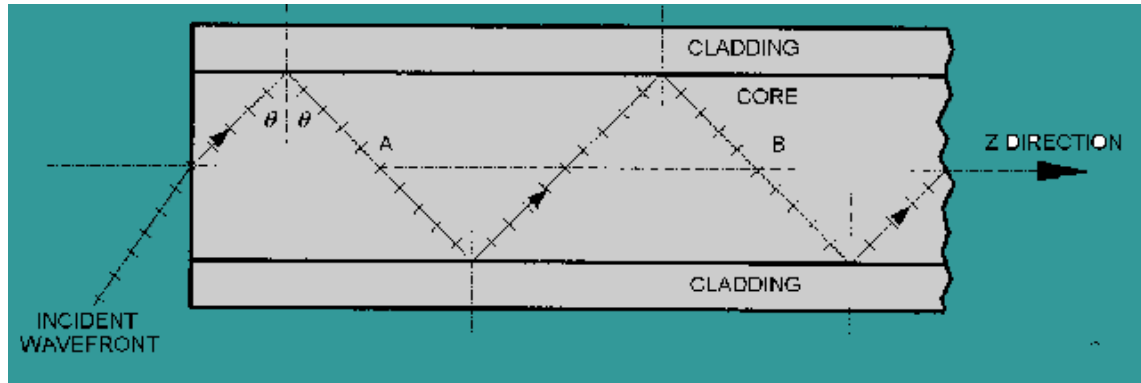


Figure (6) : Wavefront propagation along an optical fiber

The plane waves repeat as they travel along the fiber axis. The direction the plane waves travel is assumed to be the z direction as shown in figure (6). The plane waves repeat at a distance equal to $\lambda/\sin\theta$. Plane waves also repeat at a periodic frequency $\beta = 2\pi \sin\theta/\lambda$. The quantity β is defined as the propagation constant along the fiber axis. As the wavelength (λ) changes, the value of the propagation constant must also change.

For a given mode, a change in wavelength can prevent the mode from propagating along the fiber. The mode is no longer bound to the fiber. The mode is said to be cut off. Modes that are bound at one wavelength may not exist at longer wavelengths. The wavelength at which a mode ceases to be bound is called the cutoff wavelength for that mode. However, an optical fiber is always able to propagate at least one mode. This mode is referred to as the fundamental mode of the fiber. The fundamental mode can never be cut off.

The wavelength that prevents the next higher mode from propagating is called the cutoff wavelength of the fiber. An optical fiber that operates above the cutoff wavelength (at a longer wavelength) is called a single mode fiber. An optical fiber that operates below the cutoff wavelength is called a multimode fiber. Single mode and multimode optical fibers are discussed later in this chapter.

In a fiber, the propagation constant of a plane wave is a function of the wave's wavelength and mode. The change in the propagation constant for different waves is called dispersion. The change in the propagation constant for different

wavelengths is called chromatic dispersion. The change in propagation constant for different modes is called modal dispersion.

These dispersions cause the light pulse to spread as it goes down the fiber. Some dispersion occurs in all types of fibers.

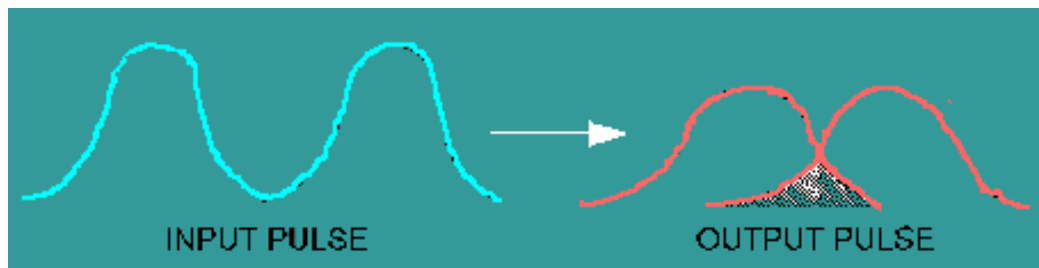


Figure (7) : The spreading of a light pulse.

MODES. - A set of guided electromagnetic waves is called the modes of an optical fiber. Maxwell's equations describe electromagnetic waves or modes as having two components. The two components are the electric field, $E(x, y, z)$, and the magnetic field, $H(x, y, z)$. The electric field, E , and the magnetic field, H , are at right angles to each other. Modes traveling in an optical fiber are said to be transverse. The transverse modes, propagate along the axis of the fiber. The mode field patterns shown are said to be transverse electric (TE). In TE modes, the electric field is perpendicular to the direction of propagation.

The magnetic field is in the direction of propagation. Another type of transverse mode is the transverse magnetic (TM) mode. TM modes are opposite to TE modes. In TM modes, the magnetic field is perpendicular to the direction of propagation. The electric field is in the direction of propagation.

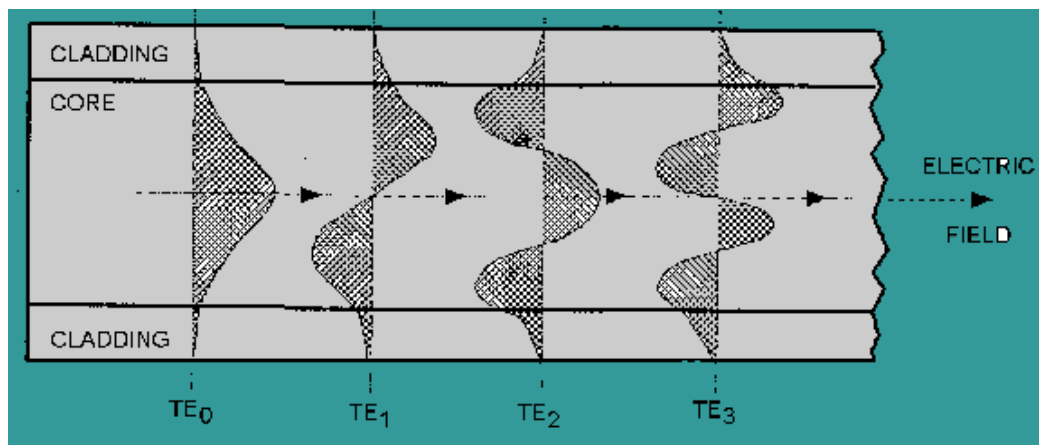


Figure (8) : Transverse electric (TE) mode field patterns.

The TE mode field patterns indicate the order of each mode. The order of each mode is indicated by the number of field maxima within the core of the fiber. For example, TE_0 has one field maxima. The electric field is a maximum at the center of the waveguide and decays toward the core-cladding boundary. TE_0 is considered the fundamental mode or the lowest order standing wave. As the number of field maxima increases, the order of the mode is higher. Generally,

modes with more than a few field maxima are referred to as high-order modes. The order of the mode is also determined by the angle the wavefront makes with the axis of the fiber.

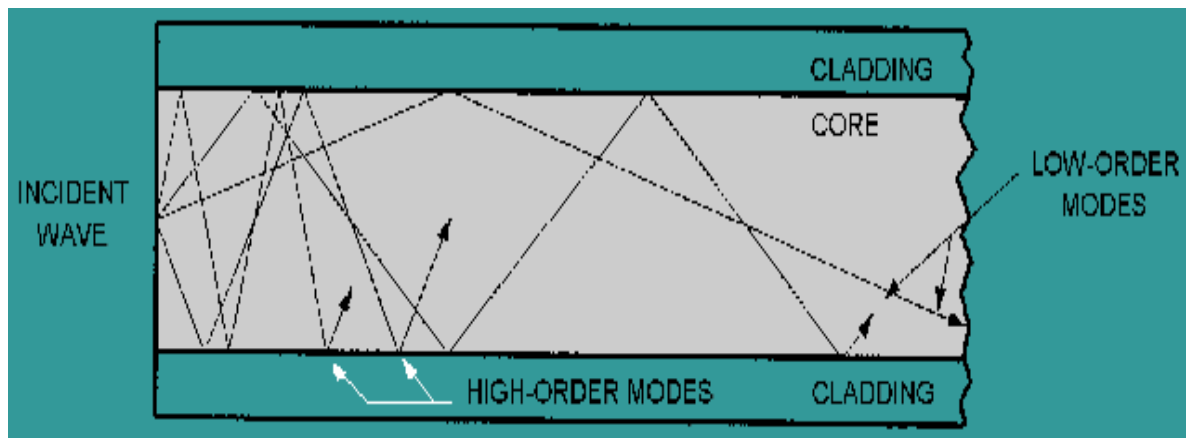


Figure (9) : Low-order and high-order modes.

Figure (9) illustrates light rays as they travel down the fiber. These light rays indicate the direction of the wavefronts. High-order modes cross the axis of the fiber at steeper angles. Low-order and high-order modes are shown in figure (9).

Notice that the modes are not confined to the core of the fiber. The modes extend partially into the cladding material. Low-order modes penetrate the cladding only slightly. In low-order modes, the electric and magnetic fields are concentrated near the center of the fiber. However, high-order modes penetrate further into the cladding material. In high-order modes, the electrical and magnetic fields are distributed more toward the outer edges of the fiber. This penetration of low-order and high-order modes into the cladding region indicates that some portion is refracted out of the core. The refracted modes may become trapped in the cladding due to the dimension of the cladding region. The modes trapped in the cladding region are called cladding modes. As the core and the cladding modes travel along the fiber, mode coupling occurs. Mode coupling is the exchange of power between two modes. Mode coupling to the cladding results in the loss of power from the core modes.

For a mode to remain within the core, the mode must meet certain boundary conditions. A mode remains bound if the propagation constant β ; meets the following boundary condition:

$$\frac{2\pi n_2}{\lambda} < \beta < \frac{2\pi n_1}{\lambda} \dots\dots\dots(4)$$

where n_1 and n_2 are the index of refraction for the core and the cladding, respectively. When the propagation constant becomes smaller than $2\pi n_2/\lambda$, power leaks out of the core and into the cladding. Generally, modes leaked into the cladding are lost in a few centimeters. However, leaky modes can carry a large amount of power in short fibers.

NORMALIZED FREQUENCY. - Electromagnetic waves bound to an optical fiber are described by the fiber's normalized frequency. The normalized frequency determines how many modes a fiber can support. Normalized frequency is a dimensionless quantity.

Normalized frequency is also related to the fiber's cutoff wavelength. Normalized frequency (V) is defined as:

$$V = \frac{2\pi a}{\lambda} (n_1^2 - n_2^2)^{\frac{1}{2}} \dots\dots\dots(5)$$

where n_1 is the core index of refraction, n_2 is the cladding index of refraction, a is the core diameter, and λ is the wavelength of light in air.

The number of modes that can exist in a fiber is a function of V. As the value of V increases, the number of modes supported by the fiber increases. Optical fibers, single mode and multimode, can support a different number of modes.

- Optical Fiber Types

Optical fibers are characterized by their structure and by their properties of transmission. Basically, optical fibers are classified into two types. The first type is single mode fibers. The second type is multimode fibers. As each name implies, optical fibers are classified by the number of modes that propagate along the fiber. As previously explained, the structure of the fiber can permit or restrict modes from propagating in a fiber. The basic structural difference is the core size. Single mode fibers are manufactured with the same materials as multimode fibers. Single mode fibers are also manufactured by following the same fabrication process as multimode fibers.

▪ Single Mode Fibers

The core size of single mode fibers is small. The core size (diameter) is typically around 8 to 10 micrometers. A fiber core of this size allows only the fundamental or lowest order mode to propagate around a 1300 nanometer (nm) wavelength. Single mode fibers propagate only one mode, because the core size approaches the operational wavelength. The value of the normalized frequency parameter (V) relates core size with mode propagation. In single mode fibers, V is less than or equal to 2.405. When $V \leq 2.405$, single mode fibers propagate the fundamental mode down the fiber core, while high-order modes are lost in the cladding. For low V values (≤ 1.0), most of the power is propagated in the cladding material. Power transmitted by the cladding is easily lost at fiber bends. The value of V should remain near the 2.405 level.

Single mode fibers have a lower signal loss and a higher information capacity (bandwidth) than multimode fibers. Single mode fibers are capable of transferring higher amounts of data due to low fiber dispersion. Basically, dispersion is the spreading of light as light propagates along a fiber. Dispersion mechanisms in single mode fibers are discussed in more detail later in this chapter. Signal loss depends on the operational wavelength (λ). In single mode fibers, the wavelength can increase or decrease the losses caused by fiber

bending. Single mode fibers operating at wavelengths larger than the cutoff wavelength lose more power at fiber bends. They lose power because light radiates into the cladding, which is lost at fiber bends. In general, single mode fibers are considered to be low-loss fibers, which increase system bandwidth and length.

▪ Multimode Fibers

As their name implies, multimode fibers propagate more than one mode. Multimode fibers can propagate over 100 modes. The number of modes propagated depends on the core size and numerical aperture (NA). As the core size and NA increase, the number of modes increases. Typical values of fiber core size and NA are 50 to 100 μm and 0.20 to 0.29, respectively. A large core size and a higher NA have several advantages. Light is launched into a multimode fiber with more ease. The higher NA and the larger core size make it easier to make fiber connections. During fiber splicing, core-to-core alignment becomes less critical. Another advantage is that multimode fibers permit the use of light-emitting diodes (LEDs). Single mode fibers typically must use laser diodes. LEDs are cheaper, less complex, and last longer. LEDs are preferred for most applications.

Multimode fibers also have some disadvantages. As the number of modes increases, the effect of modal dispersion increases. Modal dispersion (intermodal dispersion) means that modes arrive at the fiber end at slightly different times. This time difference causes the light pulse to spread. Modal dispersion affects system bandwidth. Fiber manufacturers adjust the core diameter, NA, and index profile properties of multimode fibers to maximize system bandwidth.

4. Keuntungan Sistem Serat Optik

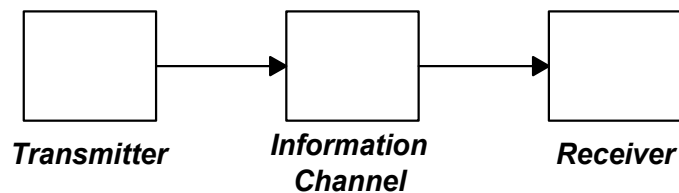
Mengapa sistem serat optik dikatakan merevolusi dunia telekomunikasi ? ini karena dibandingkan dengan sistem konvensional menggunakan kabel logam (tembaga) biasa, serat optik memiliki :

- **Less expensive** – Beberapa mil kabel optik dapat dibuat lebih murah dari kabel tembaga dengan panjang yang sama.
- **Thinner** – Serat optik dapat dibuat dengan diameter lebih kecil (ukuran diameter kulit dari serat sekitar 100 μm dan total diameter ditambah dengan jaket pelindung sekitar 1 – 2 mm) daripada kabel tembaga, dan juga karena serat optik membawa *light* (cahaya) maka tentunya memiliki *light weight* (berat yang ringan). Maka kabel serat optik mengambil tempat yang lebih kecil di dalam tanah.
- **Higher carrying capacity** – Karena serat optik lebih tipis dari kabel tembaga maka kebanyakan serat optik dapat dibundel ke dalam sebuah kabel dengan diameter tertentu maka beberapa jalur telepon dapat berada pada kabel yang sama atau lebih banyak saluran televisi pada *TV cable* dapat melalui kabel. Serat optik juga memiliki *bandwidth* yang besar (1 dan 100 GHz, untuk *multimode* dan single-mode sepanjang 1 Km).
- **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.

- **Light signals** – Tidak seperti sinyal listrik pada kabel tembaga, sinyal cahaya dari satu serat optik tidak berinterferensi dengan sinyal cahaya pada serat optik yang lainnya di dalam kabel yang sama, juga tidak ada interferensi elektromagnetik. Ini berarti meningkatkan kualitas percakapan telepon atau penerimaan TV. Juga tidak ada
- **Low Power** – Karena sinyal pada serat optik mengalami *loss* yang rendah, *transmitter* dengan daya yang rendah dapat digunakan dibandingkan dengan sistem kabel tembaga yang membutuhkan tegangan listrik yang tinggi, hal ini jelas dapat mengurangi biaya yang dibutuhkan.
- **Digital signals** – Serat optik secara ideal cocok untuk membawa informasi digital dimana berguna secara khusus pada jaringan komputer.
- **Non-flammable** – Karena tidak ada arus listrik yang melalui serat optik, maka tidak ada resiko bahaya api.
- **Flexible** – Karena serat optik sangat fleksibel dan dapat mengirim dan menerima cahaya, maka digunakan pada kebanyakan kamera digital fleksibel untuk tujuan :
 - **Medical Imaging** – pada *bronchoscopes, endoscopes, laparoscope, colonofiberscope* (dapat dimasukkan ke dalam tubuh manusia (misal usus) sehingga citranya dapat dilihat langsung dari luar tubuh).
 - **Mechanical imaging** – memeriksa pengelasan didalam pipa dan mesin
 - **Plumbing** – memeriksa *sewer lines*

5. Dasar Sistem Komunikasi Serat Optik

Gambar (10) merupakan dasar sistem komunikasi terdiri dari sebuah *transmitter*, sebuah *recevier*, dan sebuah *information channel*. Pada *transmitter* informasi dihasilkan dan mengolahnya menjadi bentuk yang sesuai untuk di kirimkan sepanjang *information channel*, informasi ini berjalan dari *transmitter* ke *receiver* melalui *information channel* ini. *Information channels* dapat dibagi menjadi 2 kategori : *Unguided channel* dan *Guided channel*. Atmosphere adalah sebuah contoh *Unguided channel*, sistem yang menggunakan *atmospheric channel* adalah radio, televisi dan *microwave relay links*. *Guided channels* mencakup berbagai variasi struktur tranmisi konduksi, seperti *two-wire line, coaxial cable, twisted-pair*.

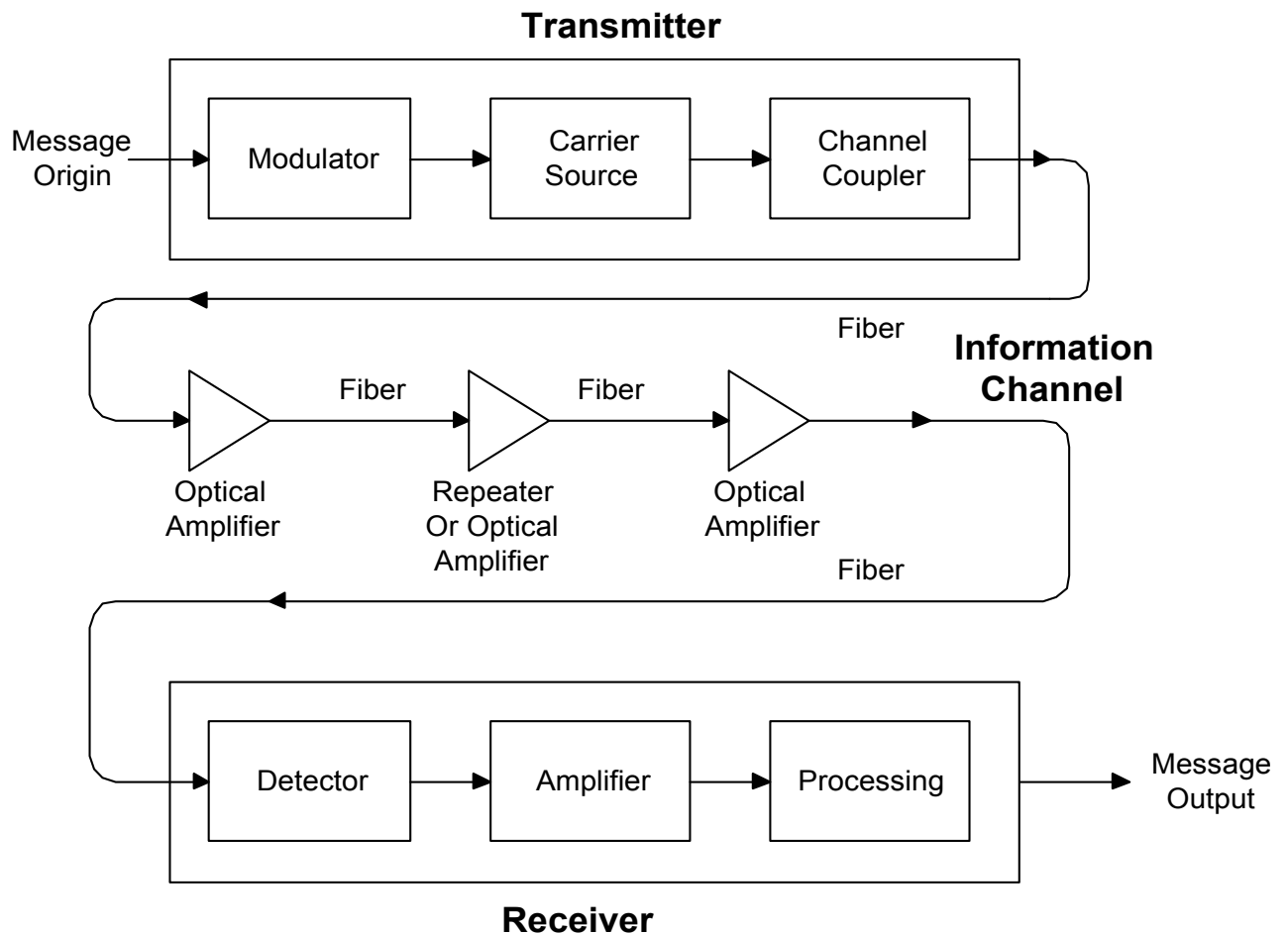


Gambar (10)

Gambar (11) merupakan blok diagram sistem komunikasi serat optik secara umum, dimana fungsi-fungsi dari setiap bagian adalah sebagai berikut :

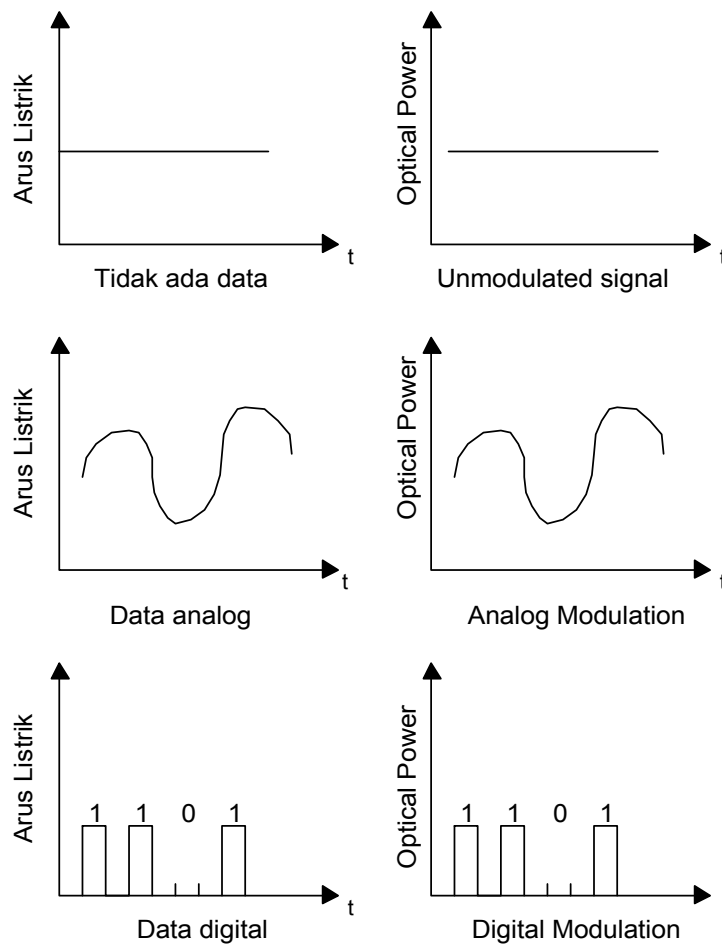
- *Message Origin*

- *Message origin* bisa berupa besaran fisik non-listrik (suara atau gambar), sehingga diperlukan transduser (sensor) yang merubah *message* dari bentuk non-listrik ke bentuk listrik.
 - Contoh yang umum adalah *microphone* merubah gelombang suara menjadi arus listrik dan Video cameras (*CCD*) merubah gambar menjadi arus listrik.
- *Modulator dan Carrier Source*
 - Memiliki 2 fungsi utama, pertama merubah *message* elektrik ke dalam bentuk yang sesuai, kedua 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 hanya meng-on kan atau meng-off kan *carrier source* sesuai dengan sinyal data-nya.

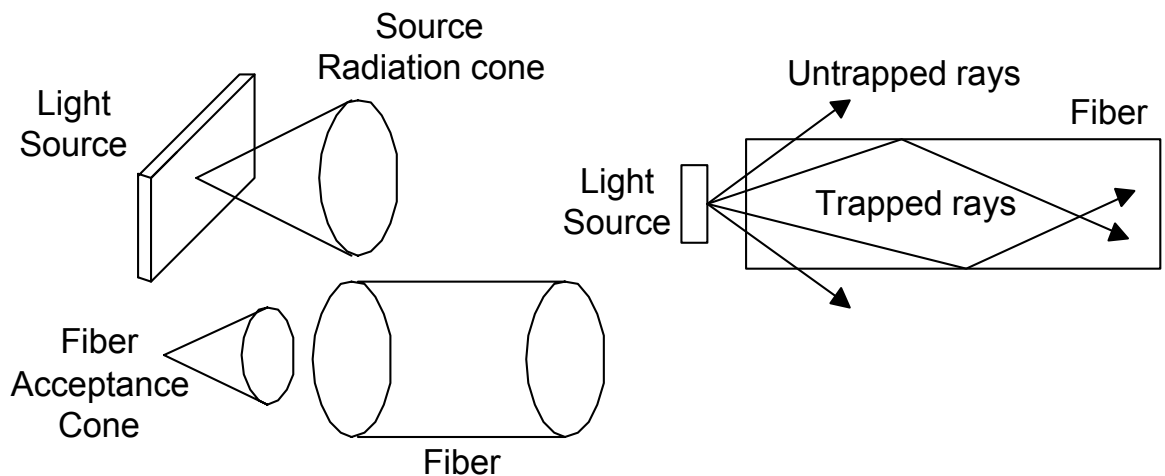


Gambar (11)

- *Carrier source* membangkitkan gelombang cahaya dimana padanya informasi ditransmisikan, yang umum digunakan *Laser Diode (LD)* atau *Light Emitting Diode (LED)*.



Gambar (12)



Gambar (13)

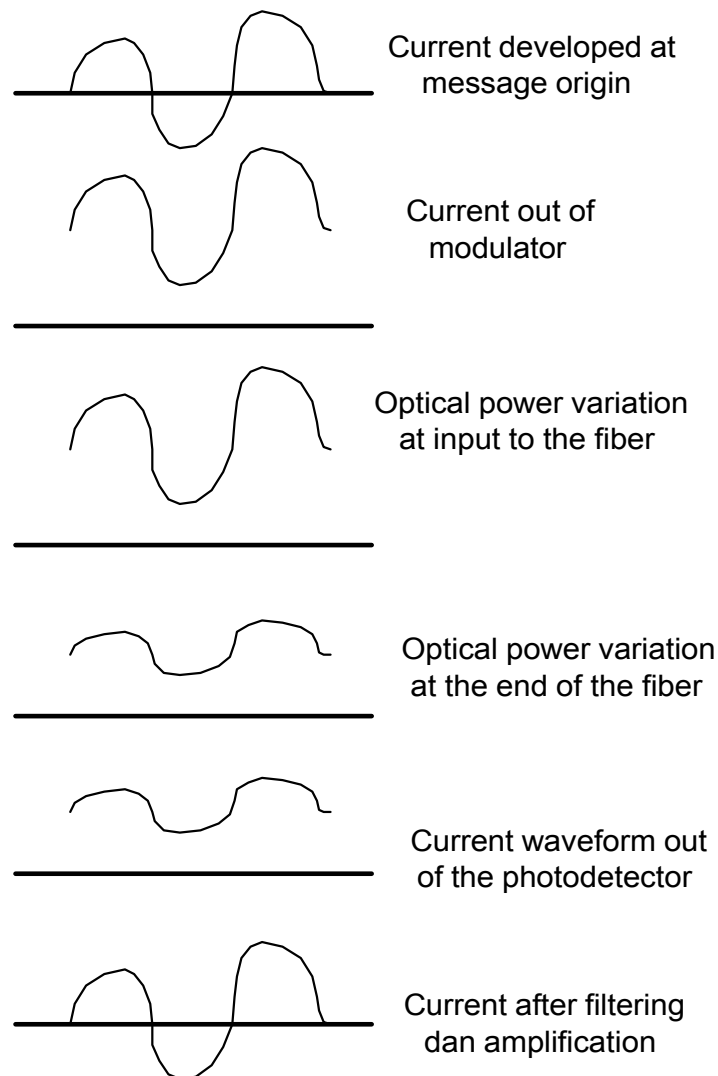
- *Channel Coupler*
 - Untuk menyalurkan power gelombang cahaya yang telah termodulasi dari *carrier source* ke *information channel* (serat optik).
 - Merupakan bagian penting dari desain sistem komunikasi serat optik sebab kemungkinan *loss* yang tinggi.

- *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, dimana berfungsi 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 ini 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 sistem digital kecepatan informasi disebut *data rate* diukur dalam satuan *bit per second (bps)*) yang dapat dikirimkan.
 - Pada fenomena *optical soliton*, efek dispersi ini diimbangi dengan efek non-linier dari serat optik sehingga pulsa sinyal dapat merambat tanpa mengalami perubahan bentuk (tidak melebar).

- *Detector dan Amplifier*
 - Digunakan foto-detektor (*photo-diode, photo transistor* dsb) yang berfungsi merubah sinyal optik yang diterima menjadi sinyal listrik.

- *Signal Processor*
 - Untuk transmisi analog, sinyal prosesor 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 disebut sebagai *noise*. Bagaimana pengaruh *noise* ini 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.

- Untuk 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 tak dapat dihilangkan maka selalu ada kemungkinan kesalahan dari proses pengambilan keputusan ini, dinyatakan dalam besaran *Bit Error Rate (BER)* yang nilai-nya harus kecil pada komunikasi.
- Jika data yang dikirim adalah analog (misalnya 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*).



Gambar (14)

- *Message Output*

- Jika output yang dihasilkan di presentasikan langsung ke manusia, yang mendengar atau melihat informasi tersebut, maka output yang masih dalam bentuk sinyal listrik harus dirubah menjadi gelombang suara atau *visual image*. Transduser (*actuator*) untuk hal ini adalah *speaker* untuk *audio message* dan

tabung sinar katoda (*CRT*) (atau yang lainnya seperti *LCD*, *OLED* dsb) untuk *visual image*.

- Pada beberapa situasi misalnya pada sistem dimana komputer-komputer atau mesin-mesin lainnya dihubungkan bersama-sama melalui sebuah sistem serat optik, maka output dalam bentuk sinyal listrik langsung dapat digunakan. Hal ini juga jika sistem serat optik hanya bagian dari jaringan yang lebih besar, seperti pada sebuah *fiber link* antara *telephone exchange* atau sebuah *fiber trunk line* membawa sejumlah program televisi, pada kasus ini prosesing mencakup distribusi dari sinyal listrik ke tujuan-tujuan tertentu yang diinginkan. Peralatan pada *message output* secara sederhana hanya berupa sebuah konektor elektrik dari prosesor sinyal ke sistem berikutnya.

6. Kesimpulan

- 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)
- Struktur dasar dari sebuah serat optik yang terdiri dari 3 bagian : **core** (inti), **cladding** (kulit), dan **coating** (mantel) atau **buffer** (pelindung). Indeks bias kulit, n_2 besarnya sedikit lebih rendah dari indeks bias inti, n_1 .
- Untuk menjelaskan bagaimana cahaya merambat sepanjang serat optik digunakan dua pendekatan/teori, yaitu pendekatan cahaya sebagai sinar (optik geometrik) dan cahaya sebagai gelombang elektro-magnetik (optik fisis) / teori mode.
- Pendekatan cahaya sebagai sinar memberikan gambaran yang jelas bagaimana cahaya merambat sepanjang serat optik, namun kurang dalam memberikan penjelasan mengenai sifat lain lain dari cahaya seperti interferensi, dan sifat serat optik seperti absorpsi, atenuasi dan dispersi, oleh karena itu diperlukan pendekatan cahaya sebagai gelombang/ teori mode. Berdasarkan jumlah mode yang merambat maka serat optik terbagi menjadi dua tipe : *single-mode* dan *multi-mode*.
- Sistem serat optik memberikan dibandingkan dengan sistem konvensional menggunakan kabel logam (tembaga) memiliki keuntungan dalam hal *less expensive, thinner, higher carrying capacity, large-bandwidth, less signal degradation, light signals, low power, non-flammable, flexible*.
- Sistem komunikasi 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)*.