

Pengenalan Sistem Komunikasi Serat Optik

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.

Pendahuluan

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 :

1. 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 ouput (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.
2. 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.
 3. 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.
 4. 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.
 5. 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 !
 6. 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*).
- Eksperimen 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.

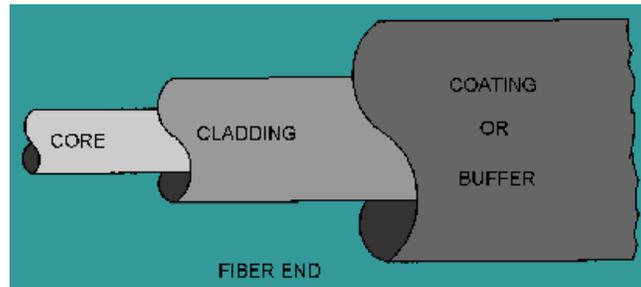
Metodologi Penelitian

Tulisan ini membahas mengenai teori dasar serat optik (tinjauan secara optik geometris dan fisis pada perambatan cahaya melalui serat optik) dan dasar sistem komunikasi serat optik dengan menggunakan studi literatur terhadap buku-buku, majalah dan jurnal ilmiah.

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



Gambar (1)

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 .

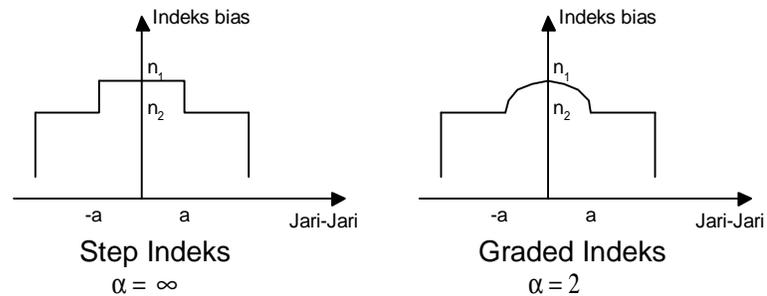
Walaupun cahaya merambat sepanjang inti serat tanpa lapisan material kulit, namun kulit memiliki beberapa fungsi :

- 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)

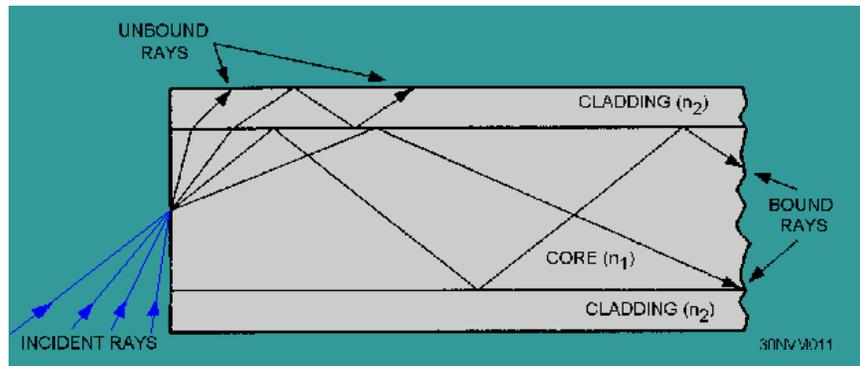
Untuk perlindungan tambahan, kulit dibungkus oleh lapisan tambahan (terbuat dari plastik jenis tertentu) yaitu mantel atau *buffer* untuk melindungi serat optik dari kerusakan fisik. Buffer bersifat elastis, mencegah abrasi dan mencegah *loss* hamburan akibat *microbends*.

- 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 (pantulan dan pembiasan) dan optik fisis dimana cahaya dipandang sebagai gelombang elektro-magnetik (teori mode).

§ Tinjauan Optik Geometrik

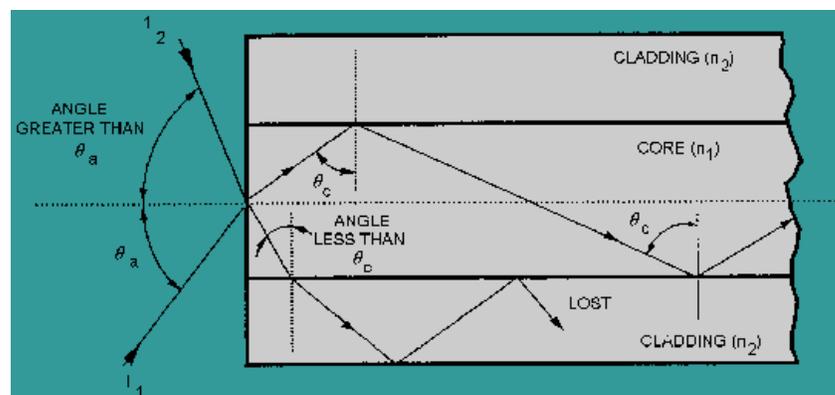
- Memberikan gambaran yang jelas dari perambatan cahaya sepanjang serat optik.
- Dua tipe sinar dapat merambat sepanjang serat optik yaitu sinar meridian dimana sinar merambat memotong sumbu serat optik dan *skew ray* dimana sinar merambat tidak melalui sumbu serat optik.
- Sinar-sinar Meridian dapat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



Gambar (3)

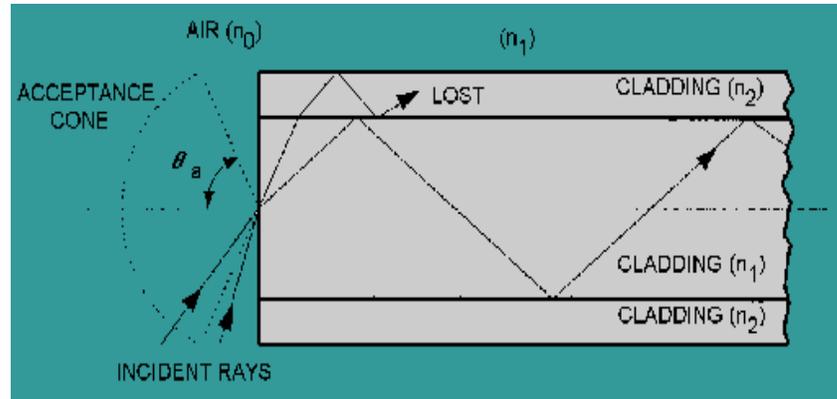
Pada gambar (3), serat optik adalah jenis step indeks, dimana indeks bias, n_1 , lebih besar dari indeks bias kulit, n_2 , *Unbound rays* dibiarkan keluar dari inti, sedangkan *bound rays* akan terus menerus dipantulkan dan merambat sepanjang inti, dianggap permukaan batas antara inti dan kulit sempurna/ideal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

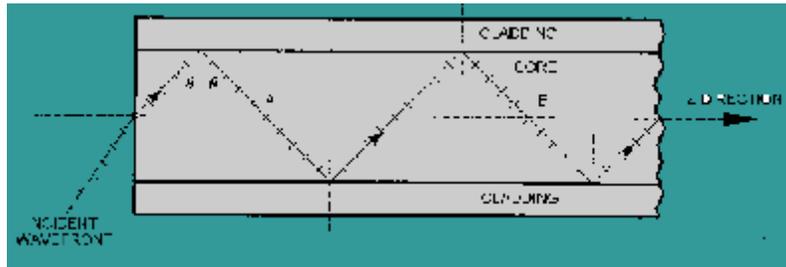
- Teori mode selain digunakan untuk menerangkan tipe-tipe gelombang datar yang dapat merambat sepanjang serat, juga untuk menerangkan sifat-sifat serat optik seperti absorpsi, attenuasi dan dispersi.
- Mode adalah “konfigurasi perambatan cahaya di dalam serat optik yang memberikan distribusi medan listrik 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 = 3.10⁸ m/det, f = frekuensi cahaya, n = indeks bias medium.

- Misal muka gelombang memasuki inti dari serat optik seperti pada gambar (6). Hanya muka gelombang yang sudut datangnya lebih kecil atau sama dengan sudut kritis yang dapat merambat sepanjang serat optik. Muka gelombang akan mengalami perubahan fase sepanjang perambatan di dalam serat optik. Perubahan fase juga terjadi ketika gelombang dipantulkan. Muka gelombang harus tetap sefase setelah muka gelombang transvers memantul bolak balik. Jarak transverse ditunjukkan antara titik A dan B pada gambar (6). Gelombang yang dipantulkan

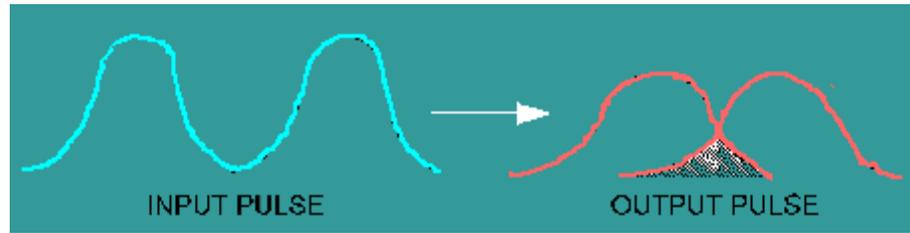
pada titik A dan B adalah sefase jika total perubahan fase adalah kelipatan bulat 2π . Jika perambatan muka gelombang tidak sefase maka akan hilang karena interferensi destruktif. Interferensi inilah yang menyebabkan kenapa hanya sejumlah mode yang dapat merambat sepanjang serat optik.



Gambar (6)

Arah gelombang datar dianggap dalam arah z seperti pada gambar (6). Gelombang datar berulang pada jarak $\frac{l}{\sin(q)}$, gelombang datar juga berulang pada frekuensi periodik $b = \frac{2p}{l} \sin(q)$, β adalah konstanta propagasi sepanjang sumbu serat. Jika panjang gelombang (λ) berubah nilai β juga berubah. Untuk mode tertentu, perubahan pada panjang gelombang dapat mencegah mode merambat sepanjang serat. *Mode dikatakan cut-off*. Mode yang ada (terikat) pada satu panjang gelombang mungkin tidak ada pada panjang gelombang yang lebih panjang. Panjang gelombang yang menyebabkan mode tidak terikat lagi disebut panjang gelombang *cut-off* untuk mode tersebut. Bagaimanapun juga, sebuah serat optik selalu mampu merambatkan paling sedikit satu mode, disebut fundamental mode dari serat optik, mode fundamental ini tidak pernah *cut-off*. Panjang gelombang yang mencegah mode yang lebih tinggi merambat disebut panjang gelombang *cut-off* dari serat optik. Sebuah serat optik yang beroperasi di atas panjang gelombang *cut-off* disebut serat optik mode tunggal (*single mode*). Pada sebuah serat optik, konstanta propagasi dari gelombang datar adalah fungsi dari panjang gelombang dan mode. Perubahan konstanta propagasi untuk

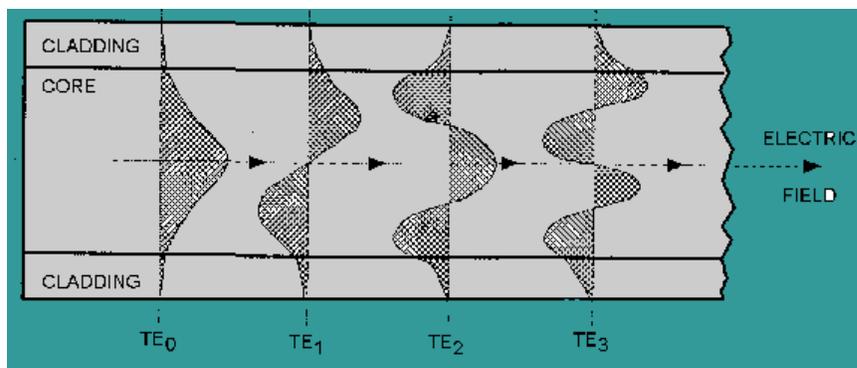
gelombang yang berbeda disebut dispersi. Perubahan konstanta propagasi untuk panjang gelombang yang berbeda disebut dispersi kromatik.



Gambar (7)

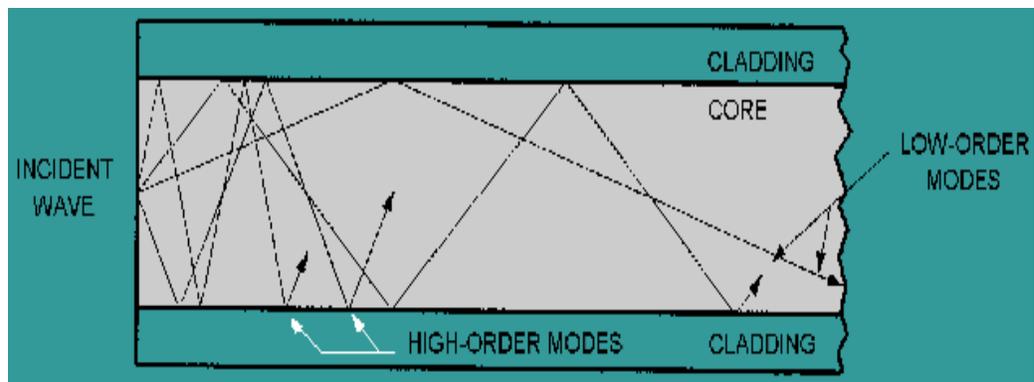
Perubahan konstanta propagasi untuk mode yang berbeda disebut dispersi modal. Dispersi ini disebabkan pulsa cahaya melebar ketika merambat di dalam serat

MODE adalah kumpulan/himpunan gelombang elektromagnetik terpandu dari sebuah serat optik. Persamaan Maxwell menyatakan gelombang elektromagnetik atau mode terdiri dari dua komponen. Dua komponen tersebut adalah medan listrik $E(x, y, z)$ dan medan magnet $H(x, y, z)$. Medan listrik, E , dan medan magnet, H , tegak lurus satu sama lain. Mode yang merambat pada serat optik dikatakan *transverse*. *Transverse mode*, merambat sepanjang sumbu serat optik. Pola medan mode disebut *Transverse Electric (TE)*. Pada TE mode, medan listrik tegak lurus arah perambatan, medan magnet pada arah perambatan. *Transverse mode* lain adalah *transverse magnetic (TM) mode*. TM mode berlawanan dengan TE mode, pada TM mode, medan magnet tegak lurus dengan arah perambatan dan medan listrik searah arah perambatan.



Gambar (8)

Pola medan TE menyatakan orde dari masing masing mode. Orde dari masing-masing mode diindikasikan oleh jumlah maksima medan di dalam inti serat. Sebagai contoh TE_0 memiliki satu medan maksima, medan listrik maksimum pada pusat dari pandu gelombang dan meluruh/berkurang menuju perbatasan kulit-inti. TE_0 adalah fundamental mode atau mode terendah *standing wave*. Jika jumlah medan maksima bertambah, maka orde mode lebih tinggi. Secara umum, mode dengan beberapa medan maksima dikatakan mode dengan orde lebih tinggi. Orde mode juga ditentukan oleh sudut yang dibentuk oleh muka gelombang dengan sumbu serat. Gambar (9) mengilustrasikan sinar merambat pada serat, sinar ini menyatakan arah dari muka gelombang. Mode orde tinggi memotong sumbu serat dengan sudut lebih kecil. Orde rendah dan orde tinggi diperlihatkan pada gambar (9).



G

Gambar (9)

Perlu dicatat bahwa mode tidak seluruhnya terkurung dalam inti serat, sebagian mode menembus kulit. Mode orde rendah hanya menembus kulit sedikit. Pada mode orde rendah, medan listrik dan magnet terkonsentrasi pada sumbu fiber. Sedangkan mode orde tinggi menembus lebih jauh ke dalam kulit. Pada orde tinggi, medan listrik dan magnet terdistribusi lebih pada sisi luar serat optik. Penetrasi dari orde rendah dan tinggi ini ke dalam kulit menyatakan bahwa sebagian dibiaskan keluar dari inti. Mode yang dibiaskan mungkin terperangkap dalam kulit disebabkan oleh dimensi dari daerah kulit. Mode yang terperangkap pada daerah kulit disebut mode kulit. Ketika mode inti dan kulit merambat

sepanjang serat maka mode mungkin terjadi kopling. Kopling mode adalah pertukaran daya antara dua mode. Kopling mode pada kulit akan menyebabkan hilangnya daya dari mode inti. Untuk mode yang tetap dalam inti, maka mode harus memenuhi beberapa syarat batas. Mode akan tetap terikat jika konstanta propagasi (β) memenuhi syarat batas berikut :

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

dimana n_1 dan n_2 adalah indeks bias inti dan kulit. Ketika konstanta propagasi lebih kecil dari $\frac{2\pi n_2}{\lambda}$, maka power akan bocor keluar dari inti ke kulit. Secara umum, kebocoran mode ke dalam kulit akan hilang pada beberapa centimeter. Mode bocor dapat membawa daya yang besar pada serat optik pendek.

Gelombang elektromagnetik yang terikat pada serat optik dinyatakan oleh *Normalized Frequency*. *Normalized Frequency* menentukan berapa banyak mode yang dapat terpandu pada serat optik. *Normalized Frequency* juga berhubungan dengan panjang gelombang *cut-off* serat optik. *Normalized frequency* (V) didefensikan :

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

dimana n_1 adalah indeks bias serat dan n_2 adalah indek bias kulit, a adalah diameter serat dan λ adalah panjang gelombang cahaya diudara. Jumlah mode yang dapat terpandu dalam serat optik adalah fungsi dari V . Jika V bertambah , maka jumlah mode yang dapat terpandu di dalam serat optik juga akan bertambah.

- Tipe serat optik

Serat optik dikarakteristikan oleh strukturnya dan sifat transmisinya. Secara dasar, serat optik diklasifikasikanmenjadi dua. Pertama adalah serat optik mode tunggal

dan kedua adalah serat optik multi mode. Struktur dasarnya berbeda pada ukuran intinya. Serat optik mode tunggal dibuat dengan bahan yang sama dengan serat optik multi mode, juga dengan proses fabrikasi yang sama.

- Serat optik mode tunggal

Ukuran inti serat optik mode tunggal sangat kecil, diameternya biasanya sekitar 8 – 10 μm , serat optik dengan ukuran serat sekecil ini hanya akan mengijinkan fundamental atau mode orde terendah yang untuk merambat dengan panjang gelombang sekitar 1300 nm. Serat mode tunggal hanya merambatkan satu mode karena ukuran inti mendekati ukuran panjang gelombang. Nilai normalized frequency parameter (V) menghubungkan ukuran inti dan propagasi mode. Pada mode tunggal, V lebih kecil atau sama dengan 2,405. Ketika $V \leq 2,405$, serat optik mode tunggal merambatkan fundamental mode pada inti serat, sedangkan orde orde yang lebih tinggi akan hilang di kulit. Untuk V rendah ($\leq 1,0$), kebanyakan daya dirambatkan pada kulit, power yang ditransmisikan oleh kulit akan dengan mudah hilang pada lengkungan serat, maka nilai V dibuat sekitar 2, 405. Serat optik mode tunggal memiliki sinyal hilang yang rendah dan kapasitas informasi yang lebih besar (*bandwidth*) daripada serat optik multi mode. Serat optik mode tunggal dapat mentransmisikan data yang lebih besar karena dispersi yang lebih rendah

- Serat optik multi mode

Serat optik multi mode merambatkan lebih dari satu mode, dapat merambatkan lebih dari 100 mode. Jumlah mode yang merambat bergantung pada ukuran inti dan *numerical aperture (NA)*. Jika ukuran inti dan NA bertambah maka jumlah mode bertambah. Ukuran inti dan NA biasanya sekitar 50 – 100 μm dan 0,20 – 0,229. Ukuran inti dan NA yang lebih besar memberikan beberapa keuntungan, cahaya yang diumpankan ke serat optik multi mode menjadi lebih mudah, koneksi antara serat juga lebih mudah. Keuntungan lainnya adalah serat optik multi mode

mengijinkan penggunaan *light-emitting diodes* (LEDs). LEDs lebih murah, lebih sederhana dan umurnya hidupnya lebih panjang sehingga LED lebih digunakan untuk banyak aplikasi. Serat optik multi mode memiliki kerugian, dengan jumlah mode yang banyak maka efek dispersi modal akan bertambah. Dispersi modal (*intermodal dispersion*) berarti mode mode tiba diujung serat dengan waktu yang berbeda. Perbedaan waktu ini menyebabkan pulsa cahaya melebar. Dispersi modal akan memberikan efek pada *bandwidth* sistem menjadi lebih kecil (lebih sedikit membawa informasi.). Manufaktur serat optik mengatur diameter serat, NA dan profile indeks bias dari serat optik multi mode untuk memaksimalkan bandwidth sistem.

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 :

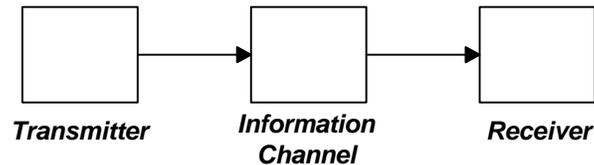
- ***Less expensive*** – Beberapa mil kabel optik dapat dibuat lebih murah dari kabel tembaga dengan panjang yang sama.
- ***Thinner*** – Serat optik dapat dibuat dengan diameter lebih kecil (ukuran diameter kulit dari serat sekitar 100 μm dan total diameter ditambah dengan jaket pelindung sekitar 1 – 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*.

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*.

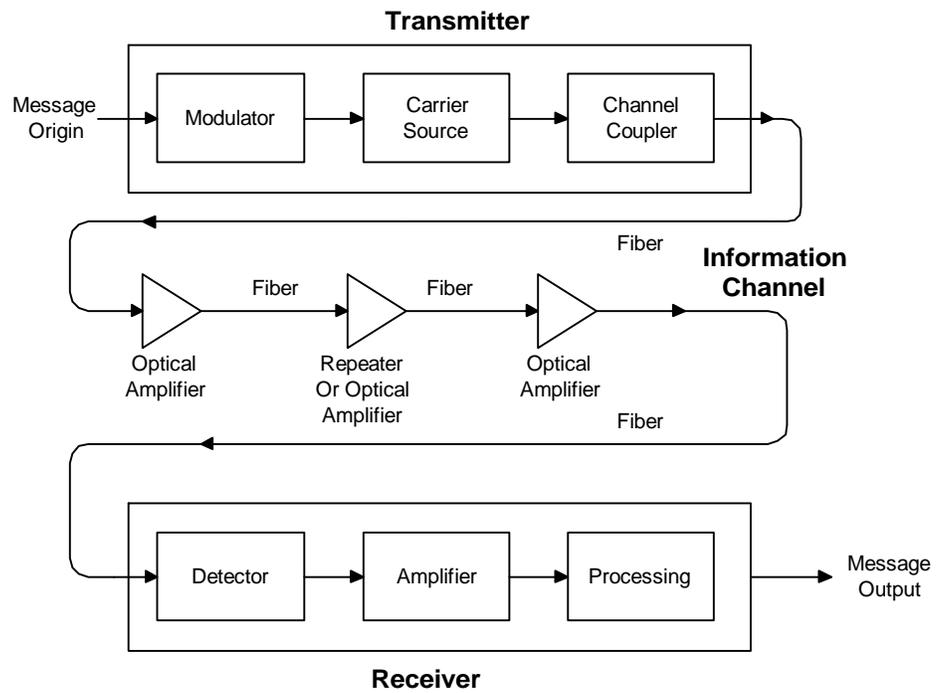


Gambar (10)

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

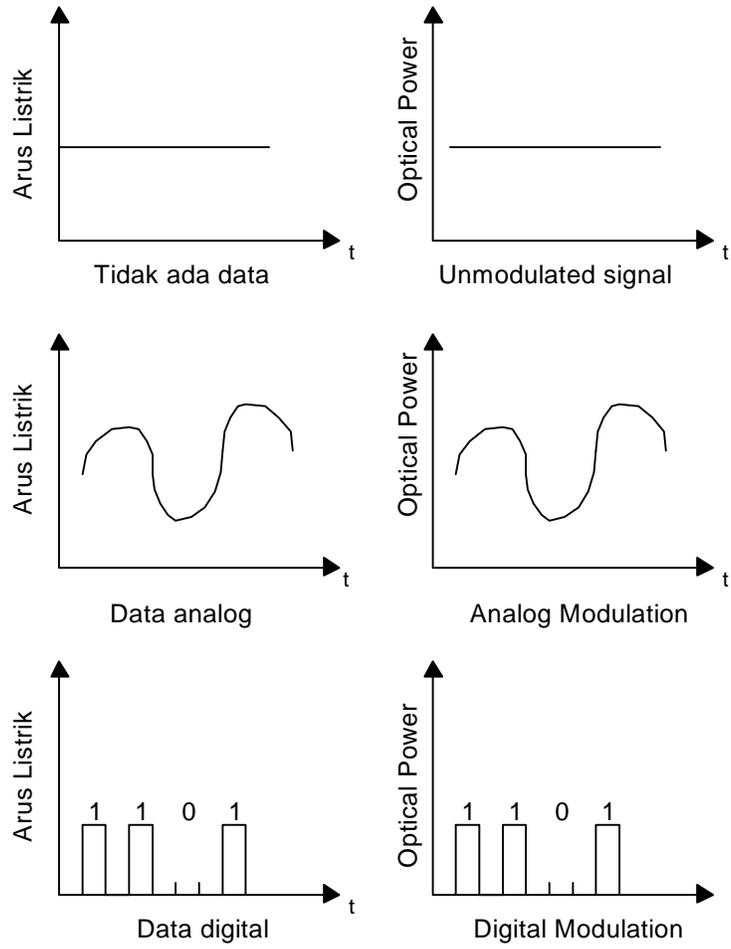
- *Message Origin*
 - *Message origin* bisa berupa besaran fisik non-listrik (suara atau gambar), sehingga diperlukan transduser (sensor) yang merubah *message* dari bentuk non-listrik ke bentuk listrik.
 - Contoh yang umum adalah *microphone* merubah gelombang suara menjadi arus listrik dan Video cameras (*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.

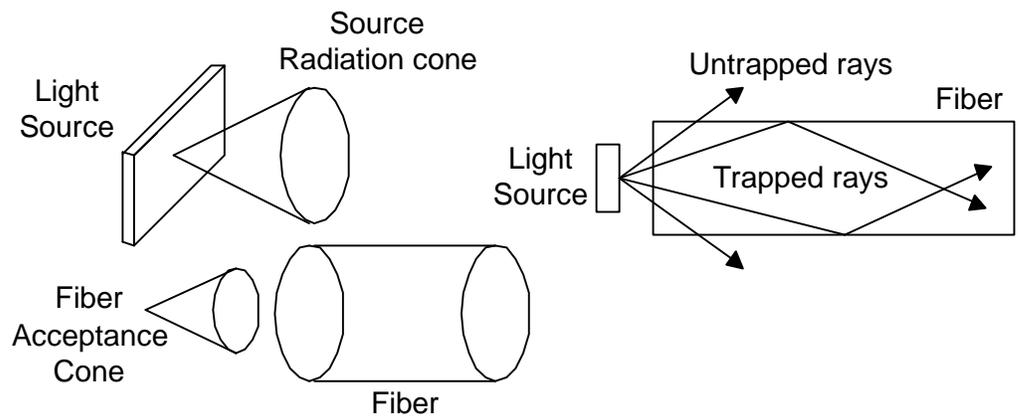


Gambar (11)

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



Gambar (12)



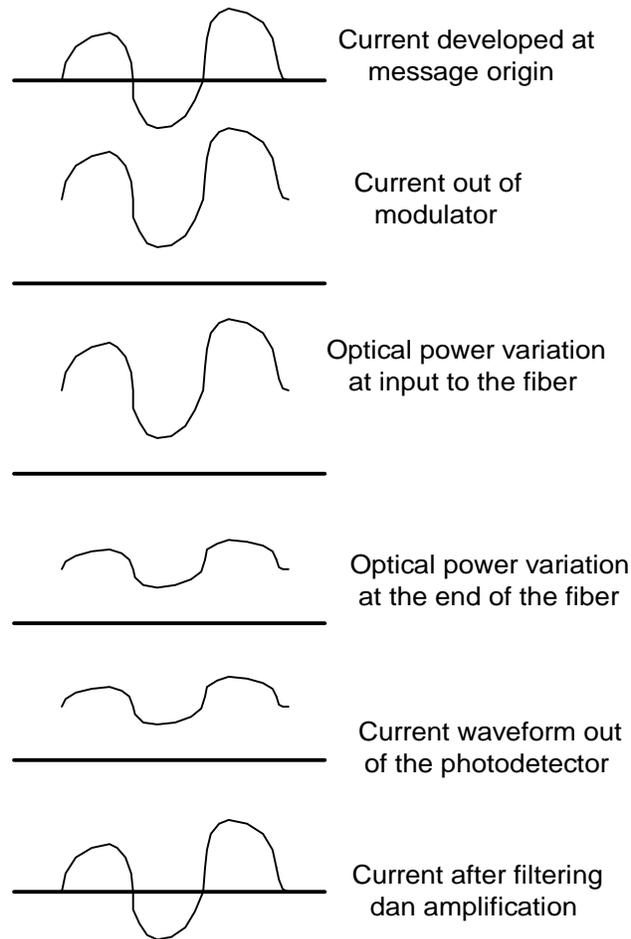
Gambar (13)

- *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 desi-Bell (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.

Kesimpulan

1. 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)
2. 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 .
3. 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.
4. 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*.
5. 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.

6. 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)*.

Daftar Pusaka

C. Palais, Joseph : *Fiber Optic Communications*

<http://www.howstuffworks.com>

<http://www.tpub.com>

Majalah Kristal no.8/April/1993

P. Agrawal, Govind : *Fiber-Optic Communication Systems*. John Wiley & Sons, Inc

Saleh, B.E.A : *Fundamentals Of Photonics*. John Wiley & Sons, Inc