

BAB II

DASAR TEORI

2.1. UMUM

Sistem komunikasi bertujuan untuk mengirimkan informasi dari satu tempat ketempat yang lain, dalam hal ini informasi dapat ditumpangkan ke dalam bentuk gelombang elektromagnetik, gelombang listrik, dan gelombang cahaya.

Pada sistem komunikasi serat optik, informasi ditumpangkan ke dalam bentuk cahaya, dengan LED (Light Emiting Dioda) atau LD (Laser Dioda) yang berfungsi sebagai sumber cahaya. Cahaya yang telah termodulasi akan dipancarkan oleh LED atau LD ke dalam serat optik kemudian ditangkap kembali oleh Photodetektor untuk dirubah kembali menjadi informasi seperti semula.

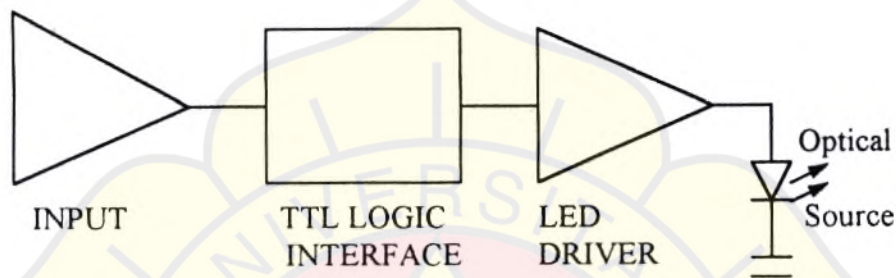
Komponen Dasar Sistem Komunikasi Serat Optik terdiri dari Pemancar, Penerima dan serat optik. Seperti gambar 2.1.



Gambar 2.1 Sistem Komunikasi serat Optik

2.2. PEMANCAR OPTIK

Pemancar pada komunikasi serat optik adalah suatu rangkaian elektronika yang terdiri dari TTL logic interface, LED drivers dan Optical source seperti diagram gambar 2.2

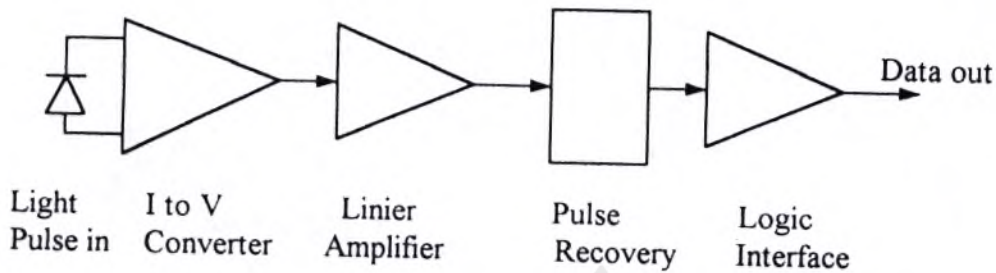


Gambar 2.2. Blok diagram pengirim

Input yang berupa sinyal listrik masuk ke TTL Interface yang berfungsi sebagai rangkaian penghubung antara input dengan LED Driver. LED Driver mengontrol besarnya sinyal yang akan dipancarkan oleh Sumber cahaya, dan cahaya yang dipancarkan oleh LED, adalah sumber cahaya yang telah mengandung informasi.

2.3. PENERIMA OPTIK

Kerja penerima optik adalah merubah cahaya yang mengandung informasi ke dalam bentuk aslinya atau sinyal listrik, Gambar 2.3 menunjukkan diagram blok penerima optik.



Gambar 2.3 Blok diagram Penerima

Pulsa cahaya yang dipancarkan, diterima oleh Detektor untuk dirubah dari cahaya menjadi sinyal listrik, oleh Converter Arus dirubah menjadi tegangan dan seterusnya dikuatkan oleh linier amplifier. Pulsa Recovery akan membentuk kembali pulsa yang rusak hasil dari linear amplifier dan diteruskan ke Logic Interface. Sedangkan logic interface berfungsi sebagai penghubung antara penerima dengan rangkaian lainnya.

2.4. SERAT OPTIK

Serat optik merupakan media transmisi gelombang cahaya, yang menggantikan sinyal listrik yang biasa dipergunakan pada media transmisi yang lain.

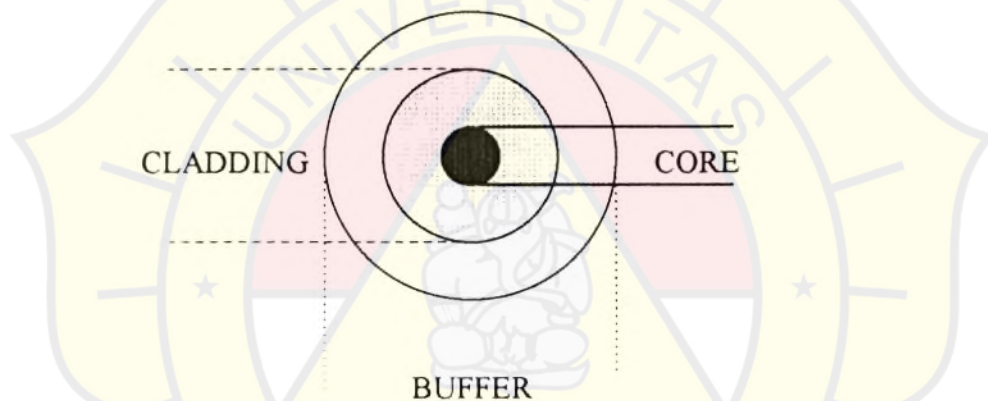
Struktur dari serat optik terdiri dari :

Inti/core : merupakan tempat pengiriman atau lewatnya sinar di dalam serat, bila diameter inti besar maka daya optik yang akan

disalurkan besar. Inti mempunyai indeks bias yang sedikit lebih besar dari selubung/cladding.

Cladding/selubung : Berfungsi untuk memantulkan kembali sinar ke dalam inti/core, yang disebabkan oleh indeks bias yang lebih kecil dari core.

Pelindung/coating : berfungsi melindungi inti serat dari guncangan, benturan dan temperatur panas, coating harus mempunyai banyak lapisan.



Gambar 2.4. Struktur Kabel Serat Optik

2.4.1. PERAMBATAN CAHAYA DALAM SERAT OPTIK

Cahaya dalam serat optik akan merambat menakala memenuhi persyaratan sebagai berikut :

1. Inti serat harus mempunyai indeks bias yang sedikit lebih tinggi dari indeks bias pelapis (Cladding) n_2 .

Dari gambar di atas dapat dikatakan bahwa bila seberkas cahaya memasuki ujung serat dengan sudut masuk luar φ_0 (terhadap sumbu serat), maka sinar yang masuk pada titik A mempunyai sudut bias φ_1 terhadap sumbu serat, dan dipantulkan oleh dinding inti ketitik B₁ dengan sudut masuk θ .

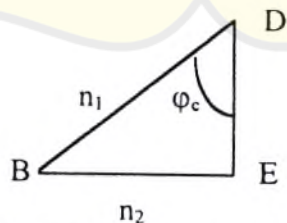
Untuk segitiga siku-siku ABC, $\varphi_1 = (90^\circ - \theta)$ 2.3

sehingga $\sin \varphi_1 = \sin (90^\circ - \theta)$ 2.4

Bila persamaan 2.2 disubstitusikan ke dalam persamaan 2.4 maka :

$$\frac{n_0}{n_1} \sin \varphi_0 = \cos \theta \quad \dots\dots\dots 2.5$$

Selama cahaya memasuki serat dengan sudut masuk luar φ_0 , dan sudut masuk dalam θ tidak lebih kecil dari sudut kritis φ_c . maka cahaya akan tetap berada di dalam serat, Tetapi apabila sudut kritis dilampaui, maka cahaya yang masuk akan dibiaskan keluar melalui dinding pelapis. Nilai maksimum kritis untuk sudut masuk luar φ_0 didefinisikan dengan menggantikan θ dengan φ_c dalam persamaan 2.5. Persamaan 2.1. dipaparkan secara grafik :



Gambar 2.7. Hubungan antara n_1 dan n_2

Menurut rumus Pythagoras $\cos \phi_c = \frac{\sqrt{n_1^2 - n_2^2}}{n_2}$ 2.6

Dengan mensubstitusi persamaan 2.6 kedalam persamaan 2.5. diperoleh nilai maksimal dari sudut masuk luar.

$$\phi_0 (\text{mak}) = \sin^{-1} \frac{\sqrt{n_1^2 - n_2^2}}{n_0} \dots\dots\dots 2.7$$

Numerikal Aperture (Celah Numerik) dari sebuah serat menyatakan suatu angka atau nilai prestasi dari serat, kemampuan serat dalam menyerap cahaya dirumuskan sebagai berikut :

$$NA = \sin \phi_0 (\text{mak}) = \frac{\sqrt{n_1^2 - n_2^2}}{n_0} \dots\dots\dots 2.8$$

Dengan sudut serat yang pelepasannya terjadi pada udara dengan $n_0 = 1$,

$$\text{maka } NA \approx \sqrt{n_1^2 - n_2^2} \dots\dots\dots 2.9$$

(Fractional Difference) Selisih pecahan antara indeks bias inti dan pelapis dirumuskan sebagai :

$$\Delta = \frac{n_1^2 - n_2^2}{2n_1^2} \dots\dots\dots 2.10$$

Dengan mensubstitusi persamaan 2.10. kedalam persamaan 2.8. dan 2.9. dan

mengingat $\Delta^2 \ll \Delta$ maka :

$$NA = \frac{n_1 \sqrt{2\Delta}}{n_0} \approx n_1 \sqrt{2\Delta} \dots\dots\dots 2.11$$

2.4.2. JENIS-JENIS SERAT OPTIK

Berdasarkan perambatan cahaya di dalam inti serat, serat optik dapat dibagi menjadi 2 bentuk :

1. Single mode
2. Multi mode

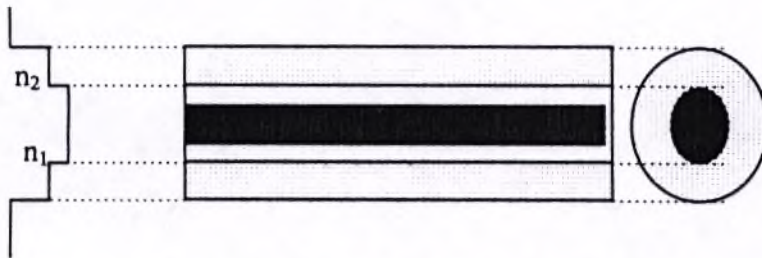
Jenis multi mode dibagi menjadi 2 yaitu :

- Step indeks multi mode
- Graded indeks multi mode

2.4.2.1 SINGLE MODE

Serat optik jenis single mode memiliki inti kira-kira 5 - 10 μm , hanya melewatkan cahaya tunggal saja. Cahaya yang ada di dalam inti tidak dibiaskan melainkan menembus lurus ke ujung serat, hal ini dikarenakan indeks bias n_2 sedikit lebih besar dari indeks bias n_1 . Kemampuan dari serat ini sangat tinggi dibandingkan dengan serat jenis lain.

Gambar 2.7 menunjukkan perambatan cahaya pada serat single mode.

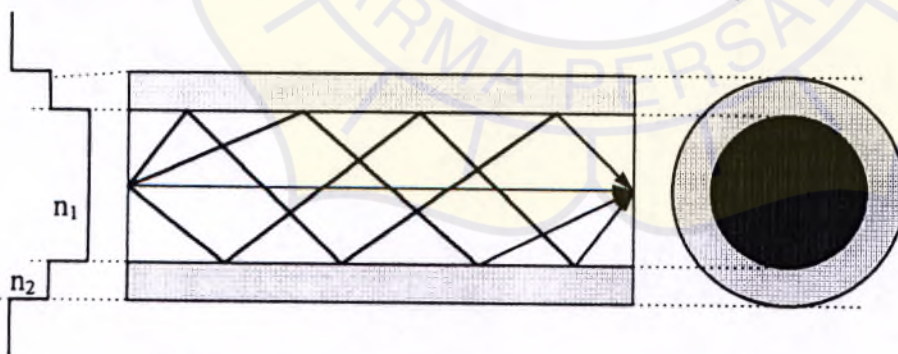


Gambar 2.7. Perambatan cahaya pada serat single mode

2.4.2.2 MULTI MODE STEP INDEKS

Semua cahaya yang masuk ke dalam serat multi mode step indeks memiliki sudut pembiasan yang berbeda-beda, sehingga pemantulan cahayanya mengalami perbedaan sudut. Serat multi mode step indeks ini mempunyai diameter inti sebesar 50 - 400 μM dan diameter Cladding 125 - 500 μM .

Keuntungan dari serat ini adalah pembuatannya dan penyambungannya mudah, sedangkan kelemahannya terjadi banyak dispersi dan bandwidth yang kecil.

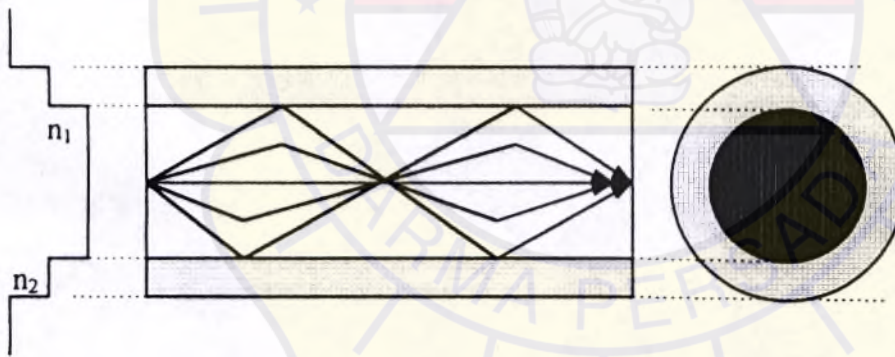


Gambar 2.8. Perambatan cahaya serat Multi mode step indeks

2.4.2.3 MULTI MODE GRADED INDEKS

Serat multi mode graded indeks mempunyai tampang muka bertingkat pada intinya dan juga dibuat dari materi dengan bahan campuran yang lebih tinggi dari pada serat multi mode step indeks agar mengurangi redaman serat. Indeks bias inti besarnya tidak sama (bertingkat-tingkat), semakin mengecil mendekati lapisan luar pada seluruh inti serat yang berharga n_1 (n_{11}, n_{12} dst), akan tetapi lebih besar daripada indeks bias selimutnya yang berharga n_2 ($n_1 > n_2$)

Keuntungan serat yang berdiameter inti 30 - 60 μM dan selimut 100 - 150 μM ini adalah dispersi yang lebih sedikit dan Bandwidth lebih besar, sedangkan kelemahannya adalah pembuatan yang lebih sulit dan harganya lebih mahal.



Gambar 2.9. Perambatan cahaya pada serat multi mode graded indeks

2.4.3. RUGI-RUGI PENGIRIMAN SERAT

Faktor yang memperbesar rugi rugi dari serat optik adalah :

1. Penyerapan (absorption)

2. Penghamburan pada ketidak bersamaan dalam indeks bias (Reyleigh Scatterting)
3. Penghamburan pada ketidak beraturan loncatan antara inti dan pelapis (boundary loss)
4. Rugi rugi tekukan (Bending loss)
5. Rugi rugi penggabungan serat (splicing loss)
6. Rugi-rugi gandengan pada masukkan dan akhir dari keluaran (Coupling loss).

2.4.4. PEMFOKUSAN CAHAYA

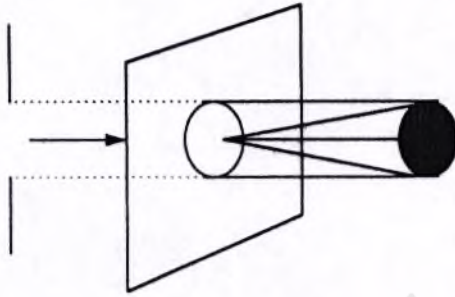
Dengan prinsip “Huygens” bila seberkas gelombang yang berasal dari suatu celah, maka celah tersebut dapat dianggap sebagai sumber gelombang baru. Berkas gelombang tersebut setelah melewati celah akan melebar. Pelebaran muka gelombang tersebut disebut difraksi. Sudut difraksi dapat dinyatakan melalui persamaan :

$$\Psi = 1,22 \frac{\lambda}{D} \dots\dots\dots 2.12$$

λ = Panjang gelombang yang terdifraksi

d = diameter celah.

Gambar 2.10. memperlihatkan cahaya yang menembus celah tunggal yang dianggap sebagai sumber cahaya baru.

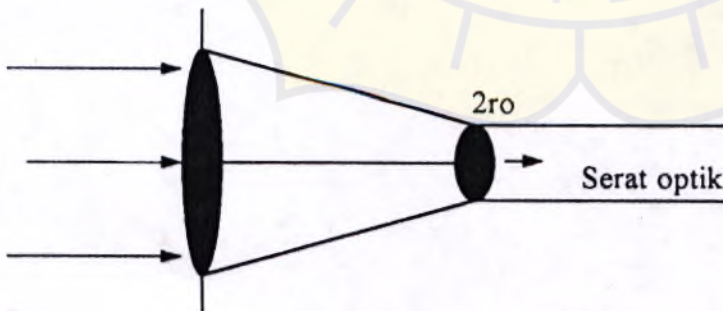


Gambar 2.10. Defraksi cahaya dalam celah lingkaran

Delam sebuah percobaan, pelebaran gelombang ini difokuskan kembali dengan menggunakan lensa cembung (positif) dititik fokus lensa. Cahaya yang difokuskan tidak bisa menuju kecil tak berhingga, ini disebabkan oleh adanya defraksi pada celah. Tetapi membentuk sebuah titik yang mempunyai diameter $2r_0$ yang dinyatakan oleh :

$$2r_0 = 2,44 \frac{f}{D} \lambda \dots\dots\dots 2.13$$

Gambar 2.11 memperlihatkan pemfokusan cahaya dengan menggunakan lensa cembung untuk dimasukkan keserat optik.



Gambar 2.11 Pemfokusan Cahaya dengan lensa cembung

2.4.5. MODE PADA INTI SERAT

Mode adalah sekumpulan/banyaknya lintasan cahaya yang merambat sepanjang inti serat optik. Banyaknya mode yang terjadi pada suatu serat optik sangat dipengaruhi oleh beberapa faktor antara lain :

- Diameter inti serat optik ($d = 2a$)
- Besarnya sudut datang dari cahaya yang akan melintasi serat optik (NA)
- Panjang gelombang cahaya yang digunakan (λ)
- Jenis dan struktur materi (indeks bias = n) Serat optik

Mode gelombang yang terjadi pada perambatan gelombang cahaya yang melintasi inti bergantung pada besarnya parameter tegangan cut off yang diidentikkan dengan dengan normalizet frequensy (V) merupakan parameter yang menyatakan tegangan berkas lintasan cahaya pada inti serat optik, dapat dirumuskan :

$$V = \frac{2\pi a NA}{\lambda} \dots\dots\dots 2.14$$
$$= \frac{2\pi a n_1 (2\Delta)^{\frac{1}{2}}}{\lambda} = k a n_1 (2\Delta)^{\frac{1}{2}}$$

Jumlah mode gelombang yang terjadi pada Multimode Step Indeks dirumuskan :

$$M_{SI} = \frac{V^2}{2} \dots\dots\dots 2.15$$

Jumlah mode gelombang yang terjadi pada Multimode Graded Indeks dirumuskan :

$$M_{GI} = \frac{\alpha(kn_1)^2 \Delta}{\alpha + 2} = \frac{\alpha V^2}{(2\alpha + 2)} \dots\dots\dots 2.16$$

Sedangkan untuk serat Singlemode besarnya frekwensi normalized cut-off adalah :

$$0 \leq V < 2,405 \dots\dots\dots 2.17$$

Besarnya frekuensi normalized cut off bergantung pada faktor konstanta propagasi, sedangkan faktor konstanta propagasi dirumuskan dengan :

$$K = 2 \frac{\pi}{\lambda} \dots\dots\dots 2.18$$

Dimana : K = Konstanta

angka 2 adalah faktor yang memberikan arah rambatan dan kecepatan perubahan fase dengan jarak

λ = Panjang gelombang dalam ruang hampa

π = Profil indeks bias Parabola inti serat.

dari pengaruh pengaruh di atas akan mengakibatkan terjadinya dispersi/pelebaran terhadap pulsa sinyal.

2.5. SUMBER OPTIK

Sumber cahaya yang digunakan pada komunikasi fiber optik adalah Light Emittind Dioda (LED) dan Injection Laser Dioda (ILD). Intensitas yang dihasilkan LED rendah sehingga biasanya hanya digunakan untuk sistem serat optik jarak pendek,

misalnya pada pesawat terbang, gedung-gedung dan sebagainya. ILD dapat menghasilkan cahaya dengan intensitas tinggi dan koheren sehingga sesuai digunakan pada sistem komunikasi jarak jauh.

2.5.1 LIGHT EMITTING DIODA (LED)

LED dianggap sebagai semikonduktor dengan suatu peralihan P - N yang dihubungkan langsung dengan cahaya, yang di pancarkan dari peristiwa rekombinasi dari elektron-elektron dan lubang-lubang (hole). Panjang gelombang cahaya ditentukan dari selisih energi E_g oleh persamaan Plank :

$$E_g = h \cdot V$$

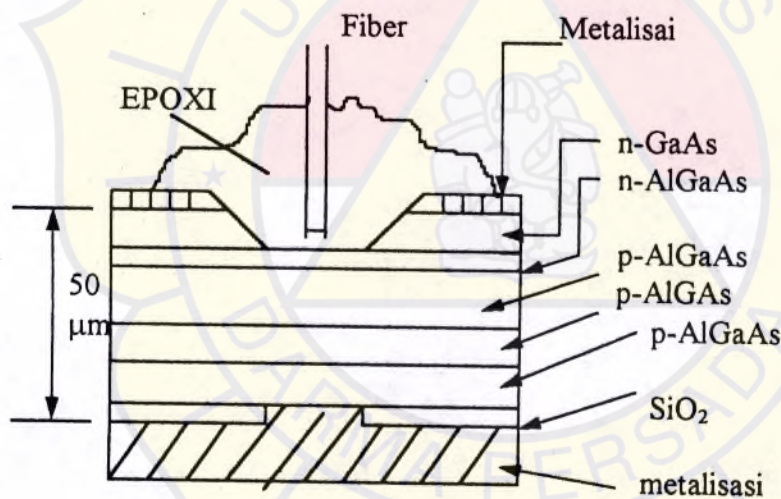
$$\text{dimana : } V = \frac{c}{\lambda} \dots\dots\dots 2.19$$

$$h = 6,63 \times 10^{-34} \text{ Joule detik}$$

Panjang gelombang dapat diubah dari 800 nm sampai 900 nm dengan memberikan aluminium pada daerah rekombinasi. Bahan yang dipergunakan adalah GaAlAs diselang-selingi dengan GaAs, dengan atenuasi (perlemahan sebesar 1,8 dB/KM). Bila panjang gelombang lebih besar dari 900 nm , GaAs tidak dapat lagi digunakan, bahan campuran yang cocok adalah InGaAsP, dengan sumber panjang gelombang 1100 nm sampai 1600 nm. Efisiensi dari LED InGaAsP lebih kecil dari GaAs tetapi dipengaruhi oleh temperatur.

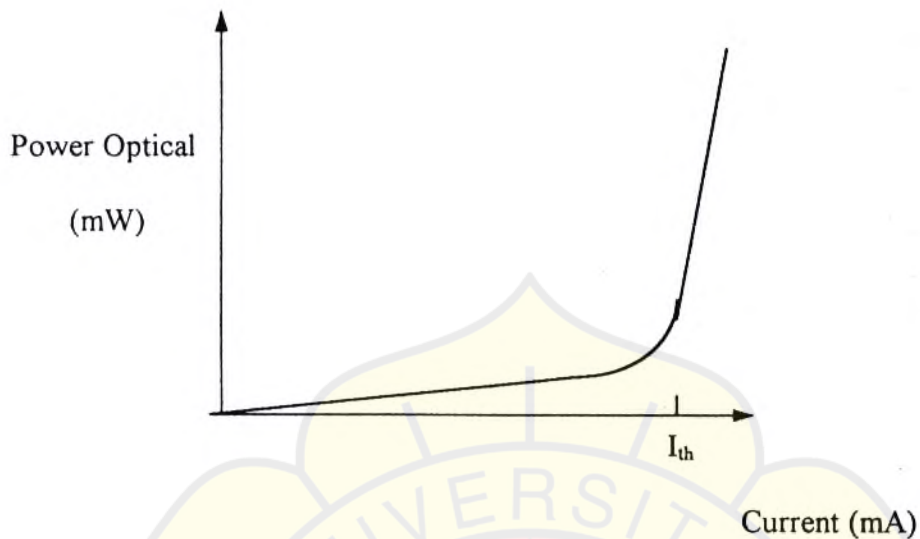
Pada temperatur yang tinggi, efisiensi berkurang yang berarti daya juga berkurang. Pada rekombinasi, sebagai energi diubah menjadi panas, perbandingan dalam perubahan energi optik dengan energi kalori disebut efisiensi quantum dalam. Struktur Light Emitting dioda diperlihatkan pada gambar 2.12

Arus ambang harus kecil, untuk mencegah panas berlebihan dari semikonduktor, khususnya pengoperasiannya terus menerus atau daya puncak tinggi. Untuk mendapatkan arus ambang yang rendah dengan membatasi muatan muatan terinjeksi dan gelombang cahaya terhadap lapisan aktif oleh hetero junction



Gambar 2.12 Struktur LED GaAs

Terjadinya arus ambang ini disebabkan oleh adanya lapisan kristal GaAlAs atau InGaAsP yang lebih banyak di atas emisi tertentu yang dirangsang oleh arus. Oleh karena itu terjadi hubungan non linier yang khas antara daya optik dan arus. Seperti gambar 2.13

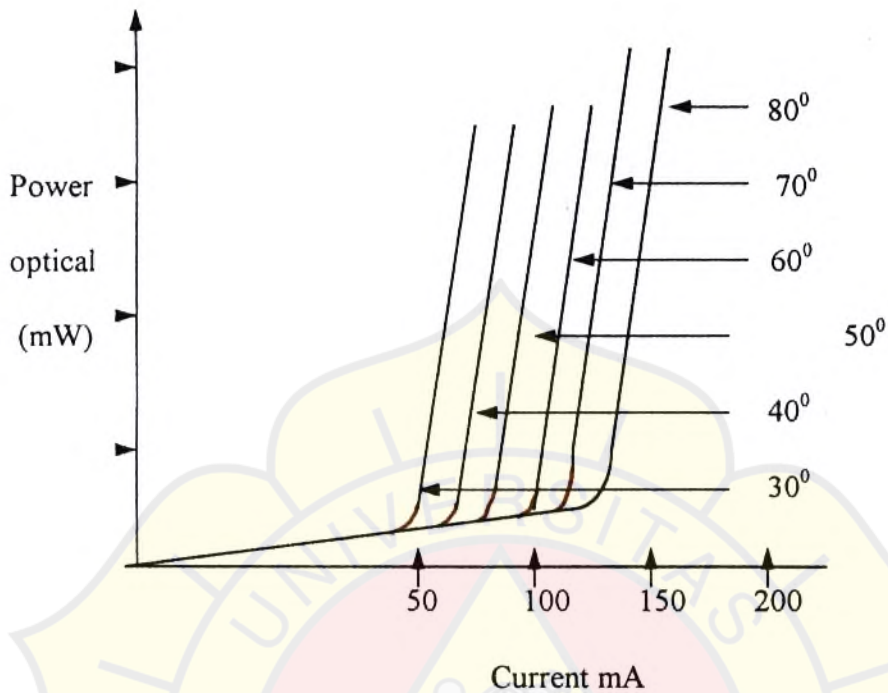


Gambar 2. 13

Hubungan daya optik dengan arus

Sumber dari InGaAsP untuk panjang gelombang 1300 nm secara potensial memiliki keandalan yang lebih baik dari sumber GaAlAs adalah panjang gelombang 800 nm. Pada keadaan ini treshold tegangan berada pada orde (1,2 - 2) volt. Arus forward bertambah dengan cepat terhadap tegangan, sehingga hanya sedikit pertambahan tegangan yang melebihi nilai treshold akan membawa arus ketitik pengoperasiannya. Arus pengoperasiannya berkisar 20 mA sampai 40 mA di atas treshold. Pemakaian dengan arus yang lebih tinggi dari batas yang dianjurkan akan memperpendek waktu kerja komponen.

Pengaruh temperatur terhadap arus treshold dapat menjadi lebih besar seperti terlihat pada gambar 2.14.



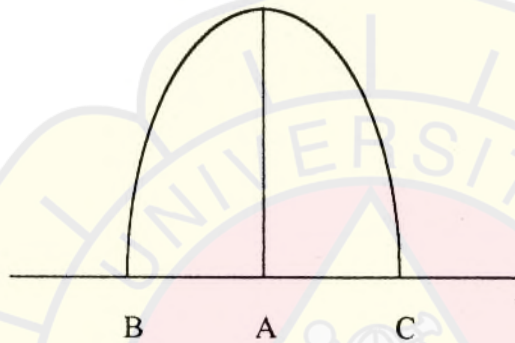
Gambar 2.14 Pengaruh Temperatur pada Laser Dioda.

Bila arus bertambah, arus treshold bertambah menjadi lebih besar (bertambah sekitar $1,5 \text{ } ^\circ\text{C}$). Dengan arus bias Konstan, daya output akan berkurang dengan pertambahan temperatur. Daya berkurang dapat meningkatkan kesalahan pendeteksian pada penerima.

2.5.2. LINE WIDTH

Sumber cahaya yang digunakan pada serat optik menghasilkan ban frekwensi (bandwidth). Tipenya tidak monokromatik dan frekwensi sumbernya tidak tunggal. Line width dari energi cahaya adalah merupakan lebar (panjang gelombang) antara dua

titik, energi cahaya turun (setengah dari daya maksimum). Pada gambar 2.15 sebuah contoh line width yang dihasilkan oleh sumber optik, daya maksimum pada $\lambda = \text{nm}$, dan penurunan setengah dari daya maksimum pada $\lambda = B \text{ nm}$ dan $\lambda = C \text{ nm}$. Line widthnya adalah $C - B = \text{nm}$



Gambar 2.15 Sebuah line width dihasilkan sumber optik

Untuk bandwidth dapat dinyatakan dengan :

$$\Delta f = \left(\frac{\Delta \lambda}{\lambda_0} \right) f_0 \dots\dots\dots 2.20$$

$$\Delta f = f_2 - f_1$$

f_2 dan f_1 = Frekuensi pada setengah penurunan daya maksimum sumber.

Δf = Bandwidth dari sumber cahaya

λ_0 = Panjang gelombang sumber

f_0 = Frekuensi dari sumber

$\Delta \lambda$ = Lebar spektrum

Jadi bandwidth adalah hasil kali dari line width relatif ($\Delta\lambda/\lambda_0$) dan frekuensi (f_0), line width dari sumber mempunyai pengaruh yang besar terhadap unjuk kerja dari sistem transmisi serat optik secara keseluruhan. Line width yang lebar akan menghasilkan jumlah mode yang besar, pada NA yang sama, sehingga akan menghasilkan daya maksimal rata rata yang kecil.

2.6. PHOTODETEKTOR (DETEKTOR CAHAYA)

Prinsip kerja Photodetektor adalah mendeteksi gelombang cahaya yang datang dan mengubahnya menjadi isyarat listrik. Arus listrik tersebut kemudian di perkuat untuk selanjutnya diolah sehingga diperoleh kembali sinyal informasi yang dikirim.

Sinyal yang diterima biasanya lemah dan mengandung cacat yang diakibatkan oleh gangguan selama penransmisian, untuk mengatasi gangguan tambahan yang lebih besar dari pada sinyal, ada beberapa syarat yang harus dimiliki oleh Photodetektor, yaitu :

1. Nois kecil, yang diakibatkan oleh pengubah sinyal optik menjadi sinyal elektrik.
2. Memiliki karakteristik yang tidak dipengaruhi oleh perubahan suhu.
3. Kepekaan tinggi (d disesuaikan dengan panjang gelombang dari sumber optik).
4. Sesuai dengan dimensi fisik dari fiber optik.
5. Mempunyai bandwith yang lebar.

Dari syarat tersebut, photodetektor yang sesuai untuk komunikasi serat optik adalah photodiode jenis Avalanche photodiode (APD) dan PIN photodiode (Positif Intrinsic Negatif).

Meskipun kedua jenis photodetektor ini dari photodiode, namun keduanya memiliki perbedaan yaitu :

1. Pemakaian tegangan operasi.

Pada jenis PIN hanya membutuhkan tegangan 5 s/d 10 volt sedangkan jenis avalanche membutuhkan tegangan yang lebih besar, yaitu 300 s/d 400 volt.

2. Faktor Sensitivitas

APD memiliki sensitivitas yang lebih baik dibandingkan dengan PIN

3. Pengaruh lingkungan dan tegangan Operasi.

Untuk menghasilkan penguatan avalanche dari APD, tegangan operasi dan temperatur harus dijaga tetap, karena penguatan Avalans APD merupakan fungsi dari temperatur dan tegangan operasi.

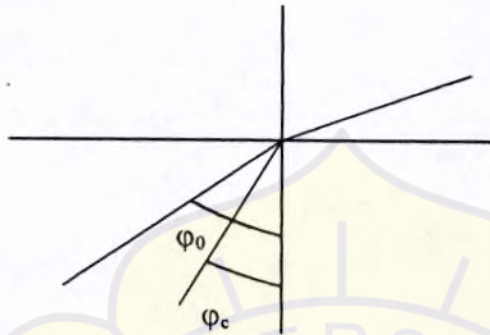
2.7. KEUNTUNGAN SISTEM TRANSMISI MELALUI SERAT OPTIK

Dari sistem komunikasi serat optik, sesuai dengan karakteristiknya dapat dilihat keuntungan dan kerugian sistem ini.

1. Komunikasi serat tidak menggunakan Ground, karena sinyal yang melewati serat bukan sinyal listrik melainkan sinyal listrik yang telah dirubah menjadi gelombang cahaya.

2. Tidak ada interferensi elektromagnetik atau interferensi frekuensi radio, karena energi cahaya yang dikirim tidak menghasilkan interferensi Elektromagnetik (EMI) maupun pengaruh Interferensi Frekuensi Radio (RFI). Karakter ini ada pada sinyal listrik konduktor tembaga (Coaxial dan twisted pair).
3. Pengamanannya tinggi, karena ketiadaan EMI dan RFI menyebabkan pengamanan data bertambah, di mana penjalaran cahaya tidak akan kelihatan sepanjang serat, oleh sebab itu penyadapan data tidak bisa dilakukan.
4. Dengan ukuran kecil, berat yang ringan dan lebar pita yang besar akan dapat menampung jumlah informasi yang besar, sebagai contoh sebuah serat optik dengan 144 serat, dengan diameter 1,2 cm dan berat kurang dari 121 gram per meter dapat mengirim 50.000 panggilan telepon secara bersamaan. Kemampuan pengiriman telepon dengan jumlah yang demikian hanya bisa disalurkan oleh kabel tembaga yang berdiameter 7,62 cm (3 inchi) dengan berat 30 kg/m berarti enam kali dan 248 kali berat dari serat optik.

2. Cahaya harus mempunyai sudut masuk (angle of incidence) luar φ_0 yang lebih besar dari sudut kritis, seperti gambar 2.5.



Gambar 2.5. Berkas cahaya yang menembus bidang serat

φ_0 = Sudut masuk luar

φ_c = Sudut Kritis

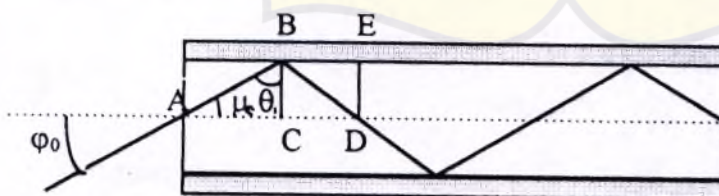
$$\sin \varphi_c = \frac{n_2}{n_1} \quad \varphi_c = \text{Arc Sin } \frac{n_2}{n_1} \quad \dots\dots\dots 2.1$$

Menurut hukum Snellius “Sudut masuk φ_0 berkaitan dengan sudut keluar φ_1 ”

dengan persamaan :

$$n_0 \sin \varphi_0 = n_1 \sin \varphi_1 \quad \dots\dots\dots 2.2$$

Lihat gambar di bawah ini :



Gambar 2.6 Pemantulan cahaya dalam serat optik