

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

A. Deskripsi Teori

1. Serat Optik

Serat optik merupakan media transmisi atau pandu gelombang cahaya berbentuk silinder yang dikembangkan diakhir tahun 1960-an sebagai jawaban atas perkembangan sistem komunikasi yang semakin lama membutuhkan *bandwidth* yang besar dengan laju transmisi yang tinggi. Serat optik terbuat dari bahan dielektrik berbentuk seperti kaca. Di dalam serat inilah energi cahaya yang dibangkitkan oleh sumber cahaya disalurkan sehingga dapat diterima di ujung unit penerima (*receiver*).

Serat optik terdiri dari dua jenis yaitu serat optik kabel dan serat optik plastik. Serat optik kabel banyak digunakan untuk transmisi jarak jauh sementara untuk serat optik plastik hanya digunakan untuk komunikasi jarak pendek. Serat optik banyak dibuat dari kaca atau bahan silika (SiO_2), yang biasanya diberi *doping* untuk menaikkan indeks biasnya. Serat optik plastik tidak jauh berbeda dengan serat optik kabel, hanya saja untuk serat optik kabel dilengkapi dengan *kevlar* untuk penguat serat optik.

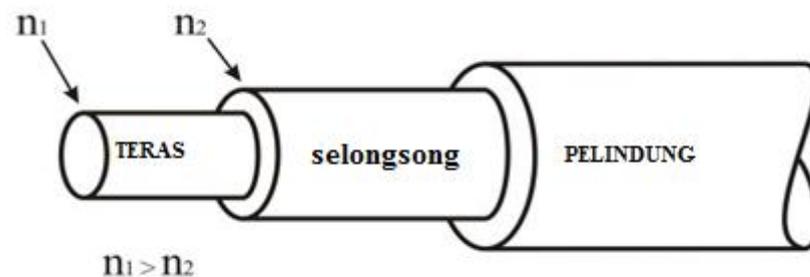
2. Serat Optik Plastik

Serat optik plastik adalah jenis serat optik yang terbuat dari jenis plastik tertentu dengan indeks bias tertentu. Serat optik plastik kurang banyak digunakan sebagai media transmisi jarak jauh karena memiliki atenuasi yang

besar. Serat optik plastik banyak dikembangkan sebagai sensor karena mudah diubah-ubah dan diberi perlakuan, sedangkan serat optik kaca terlalu rapuh dan ukurannya yang kecil sehingga sulit untuk diberi perlakuan.

Serat optik plastik terdiri dari teras (*core*), selongsong (*cladding*), dan jaket pelindung. Teras dan selongsong dibuat berbeda indeks bias, agar bisa terjadi pemantulan internal total. Pemantulan internal total inilah yang menyebabkan cahaya tetap berada dalam serat optik. Sementara jaket digunakan untuk melindungi serat optik dari kondisi lingkungan yang merusak.

Jaket pelindung adalah pelindung lapisan teras dan selongsong. Serat optik diberi jaket pelindung yang kegunaannya untuk menghindari terjadinya kerusakan yang disebabkan oleh pengaruh luar baik pada saat penggunaan atau akibat pengaruh lain, bagian ini terlibat dalam memandu cahaya (Ahmad Mulia Rambe, 2003: 4).



Gambar 1. Skema bagian penyusun serat optik plastik (Gred Keiser, 1991:26)

3. Karakteristik Serat Optik

a. Pemantulan Internal Total

Ketika cahaya yang menjalar di dalam bahan transparan yang memiliki perbedaan indeks bias, sehingga menemui permukaan bahan transparan lainnya, maka dua hal akan terjadi, yaitu:

- 1) Sebagian cahaya dipantulkan, dan
- 2) Sebagian cahaya diteruskan ke dalam bahan transparan kedua.

Cahaya yang diteruskan biasanya berubah arah ketika memasuki bahan kedua, yaitu jika cahaya masuk dengan sebuah sudut terhadap garis normal permukaan bahan. Pembelokan cahaya ini timbul karena pembiasan yang bergantung pada kecepatan cahaya di dalam suatu bahan, dan kecepatannya berbeda di dalam bahan dengan indeks bias berbeda. Seberkas sinar datang dari medium pertama yang mempunyai indeks bias n_1 dengan sudut datang i_1 , sinar itu dibiaskan pada bidang batas dan masuk ke medium kedua yang mempunyai indeks bias n_2 dengan sudut bias i_2 . Menurut hukum Snell pembiasan tersebut dapat dituliskan dalam bentuk:

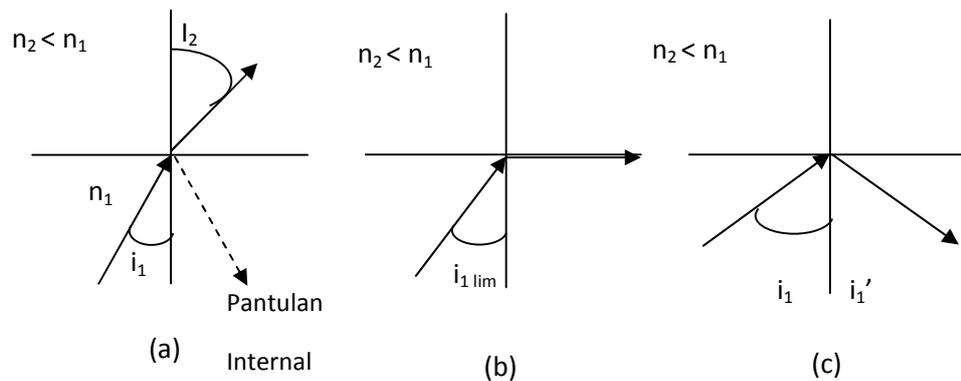
$$\frac{\sin i_1}{\sin i_2} = \frac{n_2}{n_1} \quad (1)$$

Gambar 2.(a) menunjukkan sinar datang dari medium pertama menuju medium kedua dengan sudut datang i_1 . Pada bidang batas sinar datang sebagian dipantulkan dengan sudut pantul i_1 dan sebagian lain dibiaskan dengan sudut bias i_2 .

Apabila sinar datang dengan sudut i_1 yang melewati bidang batas dua medium dengan $n_2 < n_1$ dibiaskan dengan sudut 90° , maka sudut datang inilah yang disebut dengan sudut kritis (i_{kritis}), seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.(b). berdasarkan persamaan (1) nilai sudut kritis diberikan oleh:

$$\theta_{kritis} = \text{arc sin} \frac{n_2}{n_1} \quad (2)$$

Gambar 2.(c) menunjukkan bahwa sudut datang i_1 lebih besar daripada sudut kritis, sehingga sinar mengalami pemantulan internal total.



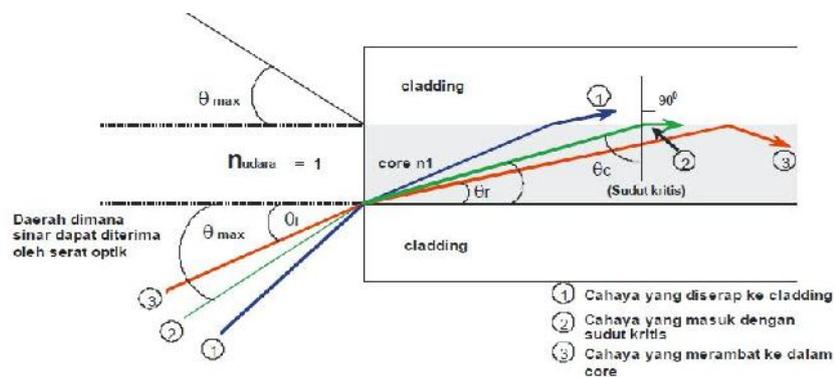
Gambar 2. Sinar cahaya datang pada bidang batas

b. Numerical Aperture

Sinar cahaya yang masuk ke dalam inti serat optik membentuk sudut datang tertentu terhadap poros serat optik. Sudut yang menuju ke arah permukaan serat optik, tidak semua akan diteruskan. Tetapi ada syarat tertentu agar sinar yang datang tersebut dapat diteruskan.

Gambar 3 menunjukkan adanya sudut θ_{max} yang merupakan batas agar sinar dapat melewati serat optik. Sudut ini disebut *Numerical Aperture*.

Sinar tidak dapat melewati serat optik jika datang dengan sudut lebih besar dari θ_{max} . Sinar ini bisa masuk ke serat optik tetapi tidak dapat melewati serat optik karena sinar telah diserap oleh cladding. Sedangkan semua sinar dengan sudut datang kurang dari θ_{max} dapat masuk dan melewati serat optik, sinar ini akan mengalami pemantulan internal total yang menyebabkan sinar tetap berada dalam serat optik.



Gambar 3. Sudut dimana sinar dapat diterima oleh serat optik (Harsono, 2010:16)

Besarnya nilai *numerical aperture* (*NA*) ditentukan dengan persamaan berikut:

$$NA = n \sin \theta_{maks} = \sqrt{(n_1^2 - n_2^2)} \quad (3)$$

Dengan n adalah indeks bias udara = 1, n_1 adalah indeks bias inti, n_2 adalah indeks bias selubung (*cladding*) (Mitschke,2009:18-19). Nilai *numerical aperture* adalah suatu ukuran kemampuan serat optik untuk menangkap sinar yang berasal dari sumber optik. Semakin besar nilai *NA* menandai semakin tinggi efisiensi dari suatu sumber optik dalam mengkopling sinar-sinar ke dalam serat optik.

c. Rugi-Rugi Daya Serat Optik

Daya yang dibawa oleh cahaya akan mengalami pelemahan (rugi-rugi/*loss*) akibat terjadinya kebocoran atau karena kurangnya kejernihan bahan serat optik. Besaran pelemahan daya pada serat optik dinyatakan sebagai perbandingan antara daya pancaran awal terhadap daya yang diterima dan dinyatakan dalam *deci-Bell* (dB). Pelemahan daya disebabkan oleh 3 faktor utama yaitu absorpsi, hamburan (*scattering*) dan lekukan (*bending losses*). Gelas yang merupakan bahan pembuat serat optik biasanya terbentuk dari *silicon-dioksida* (SiO_2) yang memiliki indeks bias tertentu. Variasi indeks bias diperoleh dengan menambahkan bahan lain seperti *oksida titanium*, *thallium*, *germanium* atau *boron*. Dengan susunan bahan yang tepat maka akan didapatkan atenuasi yang kecil. Pelemahan energi yang mengakibatkan pelemahan amplitudo gelombang yang sampai pada penerima menjadi lebih kecil dari pada amplitudo yang dikirimkan oleh pemancar.

Cahaya yang merambat sepanjang serat optik mengalami penurunan energi secara eksponensial terhadap jaraknya. Jika $P(0)$ adalah daya optik awal dalam serat (pada $z = 0$), dan $P(z)$ adalah daya optik setelah menempuh z , maka diperoleh hubungan sebagai berikut:

$$P(z) = P(0)e^{-\alpha_p z} \quad (4)$$

$$\alpha_p = \frac{1}{z} \ln \left[\frac{P(0)}{P(z)} \right] \quad (5)$$

Dengan α_p merupakan koefisien atenuasi satuannya km^{-1} , z adalah panjang lintasan serat optik yang digunakan untuk perjalanan sinar (gelombang elektromagnetik). Secara ringkas dalam perhitungan atenuasi dalam serat optik dinyatakan dengan *decibel per kilometer* (dB/km).

Beberapa hal yang menyebabkan terjadinya atenuasi dalam serat optik yaitu absorpsi, pancaran Reyleigh, pemantulan Fresnel, rugi-rugi karena pembengkokan. Penjabaran dari masing-masing adalah sebagai berikut :

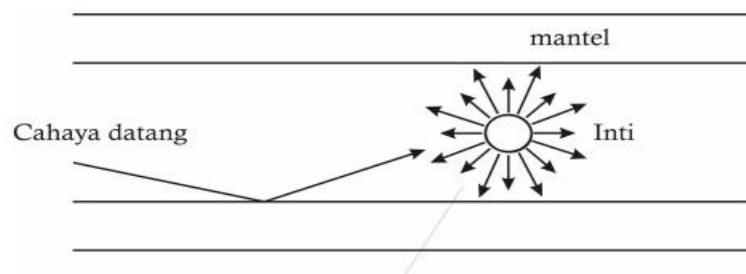
1) Absorpsi

Zat pengotor (*impurity*) apapun yang masih tersisa di dalam bahan inti akan menyerap sebagian dari energi cahaya yang merambat di dalam serat optik. Kontaminan yang menimbulkan efek paling serius adalah ion-ion hidroksil (OH) dan zat-zat logam. Ion-ion hidroksil yang merupakan wujud lain dari air akan menyerap energi gelombang dengan panjang gelombang 1380 nm, sedangkan zat-zat logam akan menyerap energi gelombang dengan berbagai nilai panjang gelombang tertentu.

2) Hamburan Rayleigh

Hamburan Rayleigh (*Rayleigh scatter*) adalah efek terpecahnya cahaya akibat terjadinya perubahan kecil yang bersifat lokal pada indeks bias bahan inti dan bahan *core*. Dikatakan bersifat lokal karena perubahan hanya terjadi di lokasi-lokasi tertentu saja di dalam bahan, dan ukuran daerah yang terkena pengaruh perubahan ini sangat kecil, yaitu kurang dari satu panjang gelombang cahaya yang terhambur.

Terdapat dua hal yang menyebabkan terjadinya fenomena ini, dan keduanya timbul di dalam proses manufaktur. Sebab pertama adalah terdapatnya ketidakrataan di dalam adonan bahan-bahan pembuat serat optik. Ketidakrataan dalam jumlah yang sangat kecil dan bersifat acak mustahil untuk sepenuhnya dihilangkan. Penyebab kedua adalah pergeseran-pergeseran kecil pada kerapatan bahan yang biasanya terjadi saat kaca silika mulai membeku menjadi padat. Salah satu lokasi kelemahan ini dan efek pancaran Rayleigh yang ditimbulkannya diilustrasikan dalam Gambar 4. Dalam Gambar diperlihatkan bahwa cahaya terpecah dan terpancar ke segala arah. Semua komponen pancaran sinar yang kini merambat dengan sudut datang kurang dari sudut kritis akan dapat menembus mantel dan hilang sebagai rugi daya. Intensitas pancaran Rayleigh bergantung pada ukuran daerah perubahan relatif terhadap panjang gelombang cahaya yang bersangkutan. Oleh karena itu cahaya dengan panjang gelombang paling kecil, atau frekuensi tertinggi, akan paling besar terkena dampak pancaran ini.

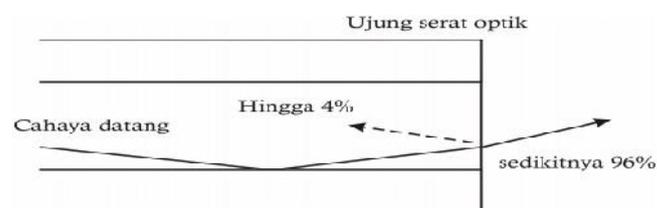


Gambar 4. Cahaya terpancar ke segala arah (Crisp dan Elliott, 2008:53).

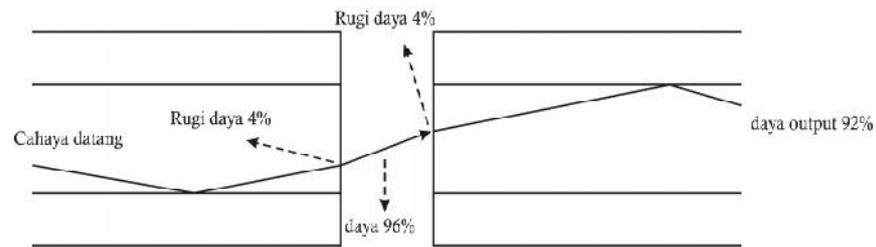
3) Pemantulan Fresnel

Ketika sinar cahaya menumbuk sebuah titik perubahan indeks bias dan terpecah ke segala arah, komponen pancaran yang merambat dengan sudut datang mendekati garis normal (90°) akan langsung lewat menembus bidang perbatasan. Akan tetapi tidak semua bagian dari cahaya yang datang dengan sudut mendekati garis normal akan menembus bidang perbatasan. Sebagian kecil dari cahaya itu akan terpantul balik di bidang perbatasan. Efek ini dapat menjadi masalah untuk cahaya yang meninggalkan ujung *output* serat optik, seperti Gambar 4. Di titik ini, terjadi perubahan seketika dari indeks bias *core* ke indeks bias udara yang ada di luar serat optik. Efek yang sama juga terjadi pada arah yang berlawanan. Sebagian sangat kecil cahaya yang datang dan hendak memasuki serat optik akan terpantul balik oleh bidang perbatasan udara dan *core*, seperti dalam Gambar 5. Seberapa besar proporsi cahaya yang menembus bidang perbatasan dan seberapa besar yang terpantul balik ditentukan oleh besarnya perubahan indeks bias di bidang perbatasan, dan dapat ditentukan menggunakan rumus :

$$\text{Daya terpantul} = \left(\frac{n_1 - n_2}{n_1 + n_2} \right)^2 \quad (6)$$



Gambar 5. Pemantulan Fresnel (Crisp dan Elliott, 2008:54)



Gambar 6. Pemantulan Fresnel di setiap bidang batas (Crisp dan Elliott, 2008:54).

Pada Gambar 6 terdapat dua bidang batas yaitu bidang batas pertama adalah inti serat optik dengan udara sedangkan bidang batas yang kedua adalah antara udara dengan inti serat optik. Pada bidang batas pertama terjadi rugi daya sebesar 4% dari cahaya datang sebesar 100%. Begitu juga pada bidang batas kedua terjadi rugi daya sebesar 4%, sehingga daya keluaran menjadi 92%.

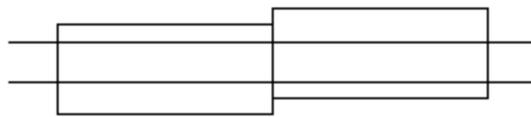
4) Penyambungan Serat Optik

Jika penyambungan sebuah serat optik modus jamak dengan *core* berukuran besar ke serat lainnya yang memiliki ukuran yang lebih kecil, maka hanya sebagian kecil dari cahaya yang datang dari *core* berukuran besar dapat masuk ke *core* berukuran kecil, dan akibatnya sebagian daya cahaya akan hilang. Besarnya rugi-rugi daya ini dapat dihitung dengan menggunakan rumus:

$$\text{Loss} = -10 \log \left\{ \frac{\text{diameter core}_{\text{masuk}}}{\text{diameter core}_{\text{keluar}}} \right\}^2 \text{ dB} \quad (7)$$

a) Rugi-rugi Penggandengan Ragam (*Mode Coupling Losses*)

Daya yang sudah dilepaskan dengan baik ke dalam suatu ragam yang merambat mungkin kemudian digandengkan ke dalam suatu ragam bocor atau ragam radiasi pada sebuah titik yang relatif jauh pada fiber. Efek penggandengan ini dapat terjadi karena rugi-rugi ini timbul pada saat serat optik dikopel/disambungkan dengan sumber cahaya atau *photo detector*. Rugi-rugi *coupling* dapat diperkecil dengan penambahan lensa di depan sumber cahaya atau pembentukan permukaan tertentu (misalnya *spherical-surface*) pada sumber cahaya atau ujung fiber.



Gambar 7. Penggandengan ragam (*Mode Coupling*)

Rugi-rugi penggandengan ragam secara umum sebagai berikut:

$$\mu = \frac{P_{in}}{P_{out}}, \quad (8)$$

maka :

$$L = -10 \log \mu, \quad (9)$$

dengan : L adalah rugi – rugi daya

P_{in} adalah daya yang dimasukkan ke dalam serat optik (Watt)

P_{out} adalah daya yang dipancarkan oleh sumber (Watt)

μ adalah Efisiensi penyambungan

b). Rugi-rugi Penyambungan

Rugi-rugi penyambungan dengan *fusion splice*. Rugi-rugi ini ditimbulkan sebagai akibat tidak sempurnanya kegiatan penyambungan sehingga sinar dari serat optik yang satu tidak dapat dirambatkan seluruhnya ke dalam serat yang lainnya. Beberapa kesalahan penyambungan yang menimbulkan rugi-rugi:

- a. Sambungan kedua serat optik membentuk sudut.
- b. Sumbu kedua serat optik tidak sejajar.
- c. Sumbu kedua serat optik berimpit tetapi ada celah di antaranya.
- d. Ada perbedaan ukuran antara kedua serat optik yang disambung.

4. Karakteristik Foton

Sifat-sifat foton:

- a. Menurut Maxwell, cahaya adalah gelombang elektromagnetik.
- b. Menurut Michelson dan Morley, cahaya merambat dengan kecepatan konstan, c .
- c. Kecepatan cahaya, $c = \text{panjang gelombang} \times \text{frekuensi} = \lambda f \sim 3 \times 10^{10} \frac{cm}{s}$.
- d. Cahaya tampak: $400nm < \lambda < 700nm$ dan inframerah: $700nm < \lambda < 2000nm$.

Ada banyak aplikasi penting dalam spektrum cahaya tampak dan daerah dekat inframerah, termasuk panjang gelombang yang mengoptimalkan komunikasi fiber optik. Sifat yang penting dari fiber optik untuk komunikasi adalah pelemahan dari sinyal oleh absorpsi dan gangguan pada sinyal.

Fiber optik dengan performa tinggi terbuat dari kaca. Pelemahannya disebabkan oleh fluktuasi dalam kerapatan kaca pada skala atomik dan dari konsentrasi-konsentrasi sisa molekul air. Molekul air menyerap cahaya dekat panjang gelombang tertentu. Di antara panjang gelombang ini, celah-celah dari atenuasi yang lebih rendah terbentuk pada $\lambda=1500\text{nm}$.

Aplikasi penting lainnya untuk panjang gelombang inframerah adalah teropong *night-vision*. Alat ini terdiri dari detektor yang menggambarkan radiasi panas inframerah dari objek-objek merubah sinyal ini ke cahaya tampak sehingga pengguna bisa melihat di dalam kegelapan. Sifat-sifat cahaya yang dapat diamati adalah:

- a. Efek difraksi.
- b. Efek dispersi.
- c. Efek interferensi.
- d. Panjang gelombang dari cahaya.
- e. Frekuensi dari cahaya.

Kita lihat pada pengamatan Planck untuk radiasi berpijar. Ketika benda menjadi panas, benda mulai menyala. Ketika bertambah panas, nyalanya semakin terang dan warna nyalanya berubah. Kita bisa mengukur warna nyalanya dengan frekuensi cahaya. Jadi terlihat ada hubungan antara temperatur dengan frekuensi(warna).

Planck mengatakan bahwa temperatur sebanding dengan frekuensi. Boltzman menyatakan terlebih dahulu bahwa temperatur sebanding dengan energi. Berdasarkan dua pendapat tersebut maka kita dapat simpulkan bahwa

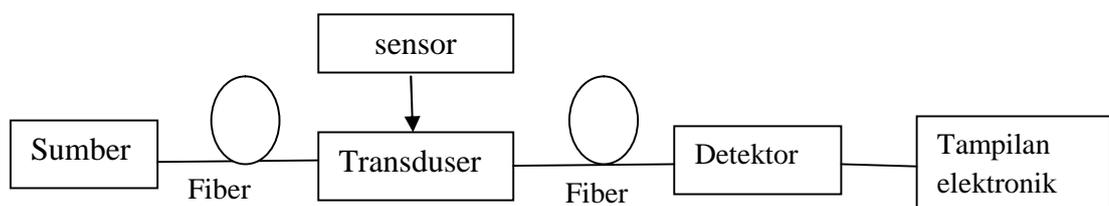
warna sebanding dengan energi. Jika energi semakin tinggi, frekuensi semakin tinggi. Ingat bahwa $\lambda f=c$, jika energi membesar, frekuensi meningkat dan panjang gelombang menurun. $E=hf$. Jadi, energi sebanding dengan frekuensi (Pearsall, 1976: 10).

5. Prinsip dan Tipe Sensor Optik

Sensor serat optik adalah jenis sensor optik yang menggunakan serat optik dalam mekanisme penginderaan atau pendeteksian, baik sebagai komponen aktif sensor maupun sekedar sebagai pemandu gelombang saja. Sistem sensor optik dilengkapi dengan paling tidak tiga komponen utama, yaitu komponen optoelektronik, *link* optik dan probe. Komponen optoelektronika meliputi sumber cahaya, detektor optik dan pengolah sinyal. *Link* optik berupa gelombang serat optik yang berfungsi memandu cahaya ke atau dari bagian penginderaan. Sedangkan probe adalah bagian *sensing* atau *transducing*, baik pada bagian di dalam serat optik atau di luar serat optik, yang bertindak sebagai transduser dan berinteraksi langsung dengan obyek atau besaran yang diukur.

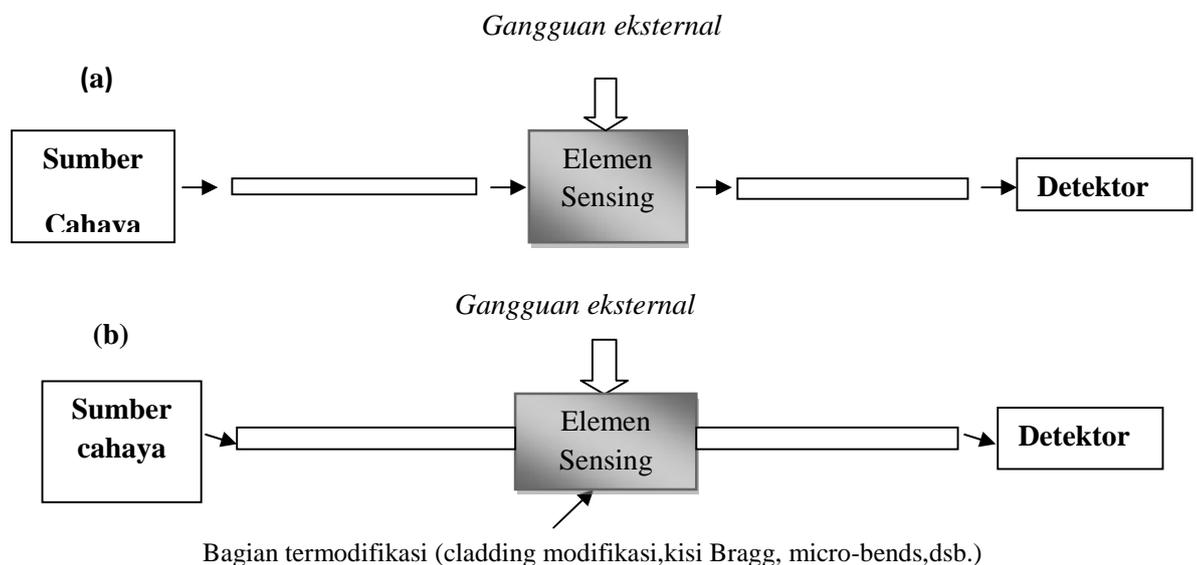
Sensor serat optik didasarkan pada mekanisme modulasi gelombang cahaya dari suatu sumber seperti LED, diode laser, atau yang lainnya. Kuantitas optik yang dimodulasi dapat berupa intensitas atau amplitudo, panjang gelombang, fase gelombang dan polarisasi gelombang optik tersebut. Modulasi ini dapat terjadi di luar maupun di dalam serat optik (Akhiruddin Maddu, 2007:38).

Konfigurasi sistem serat optik digambarkan dengan skema pada Gambar 6. Sumber cahaya dilewatkan melalui salah satu ujung serat optik menuju daerah modulasi cahaya, modulator atau transduser, selanjutnya diteruskan ke ujung lain serat optik dimana terdapat detektor cahaya, atau dapat juga setelah termodulasi, cahaya tersebut dikembalikan melalui serat optik yang sama menuju detektor. Cahaya tersebut dimodulasi oleh besaran-besaran medium yang diukur, yaitu besaran kimia, biologi atau fisika, sebagai besaran yang akan dideteksi. Besaran-besaran kimia yang dapat dideteksi seperti pH, konsentrasi larutan atau jenis ion maupun konsentrasi gas atau uap kimia. Besaran-besaran biologi seperti jenis dan populasi bakteri atau mikroorganisme lainnya ataupun komponen-komponen biokimia seperti glukosa hingga DNA. Sedangkan besaran-besaran fisika yang dapat dideteksi meliputi suhu, tekanan, strain, perpindahan, percepatan, arus listrik dan sebagainya. Berdasarkan disertasi Akhiruddin Maddu (2007:39) tentang sensor serat optik, skema sistem sensor serat optik dapat digambarkan sebagai berikut :



Gambar 8. Skema sistem sensor serat optik (Akhiruddin Maddu,2007:39)

Modulasi dalam sensor serat optik dapat dirancang dengan konfigurasi yang berbeda, bergantung pada besaran optik yang dimodulasi dapat berupa intensitas, panjang gelombang, fasa atau polarisasi gelombang. Misalnya, untuk sensor serat optik berdasarkan modulasi fasa dapat dilakukan dengan konfigurasi interferometrik, sedangkan untuk modulasi panjang gelombang dapat dilakukan melalui pelapisan material sensitif di ujung serat optik. Modulasi intensitas yang paling banyak dikembangkan dapat dilakukan melalui mekanisme *cladding*. Sensor serat optik termodulasi intensitas dengan mengukur intensitas transmisi atau absorpsi yang terjadi baik di luar maupun di dalam serat optik, sedangkan sensor serat optik termodulasi panjang gelombang atau fasa didasarkan pada pergeseran fasa gelombang optik di dalam atau diluar serat optik ketika mendapat gangguan dari luar (Akhiruddin Maddu, 2007:40).

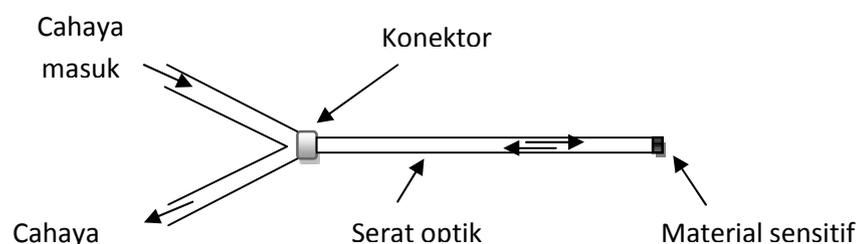


Gambar 9. Skema sensor serat optik (a) ekstrinsik dan (b) intrinsik (Akhiruddin Maddu, 2007:40)

Berdasarkan lokasi proses modulasi, di luar atau di dalam bagian serat optik, sensor serat optik diklasifikasikan menjadi sensor ekstrinsik dan intrinsik. Konfigurasi kedua tipe sensor serat optik ditunjukkan pada Gambar 9, masing-masing dilengkapi dengan komponen-komponen optik dan elektrik yaitu sumber cahaya, serat optik detektor cahaya dan piranti pengolah sinyal serta elemen pengindera. Penjelasan untuk jenis sensor serat optik dijelaskan sebagai berikut:

a) Sensor Serat optik Ekstrinsik

Pada tipe sensor serat optik ekstrinsik, serat optik hanya berfungsi sebagai pandu gelombang saja atau penghubung (*link*) cahaya ke sistem sensing eksternal, dengan demikian tidak ada modifikasi pada struktur serat optik untuk fungsi sensing. Proses sensing terjadi di luar serat optik, seperti pada Gambar (9.a), jadi bagian penginderaan berada di luar serat optik. Dalam proses sensing, cahaya sempat keluar dari serat optik kemudian termodulasi oleh besaran yang diukur pada bagian penginderaan yang selanjutnya diteruskan menuju detektor cahaya, tahap akhir adalah dimodulasi untuk mendapatkan informasi kuantitas yang diukur.



Gambar 10. Skema sensor ekstrinsik optode(Akhiruddin Maddu, 2007: 42)

Contoh sensor serat optik ekstrinsik adalah optode, letak lapisan sensing (*sensing coating*) berada di luar serat optik, seperti ditunjukkan Gambar 10. Pada konfigurasi ini digunakan serat optik bifurkasi, salah satu lengan serat bifurkasi menjadi jalan masuk cahaya dan lengan lainnya merupakan jalan keluar cahaya menuju detektor setelah berinteraksi dengan bagian sensing berupa lapisan material sensitif. Mekanisme sensing didasarkan atas perubahan sifat serat optik material sensitif pada ujung serat saat berinteraksi dengan besaran atau obyek yang dideteksi yang menyebabkan cahaya yang dikirim akan berubah intensitas, panjang gelombang, fasa atau polarisasinya, atau juga dapat dibangkitkan emisi fluoresens. Perubahan intensitas, panjang gelombang, fasa atau polarisasi atau intensitas fluoresens merupakan ukuran kuantitas eksternal yang mempengaruhinya, yaitu kuantitas yang diukur atau dideteksi.

Konfigurasi sensor serat optik ekstrinsik dapat juga dengan menggunakan dua serat optik terpisah, salah satunya sebagai serat transmisi dan yang lainnya sebagai serat penerima, sementara material sensitifnya diletakan diantara dua ujung serat optik yang saling berhadapan, seperti ditunjukkan pada Gambar 9 (a). Dengan demikian, serat optik hanya bertindak sebagai pipa cahaya yang menyalurkan cahaya ke atau dari bagian *sensing* di luar serat optik. Konfigurasi ini dapat juga direalisasikan dengan memanfaatkan prinsip interferometer Fabry-Perot, membentuk sistem sensor serat optik interferometer Fabry-Perot.

b). Sensor Serat optik Intrinsik

Pada sensor serat optik intrinsik, serat optik disamping sebagai pemandu cahaya juga sekaligus berperan dalam proses penginderaan, dimana terdapat bagian serat optik yang berfungsi sebagai komponen pengindera, baik *cladding* atau intinya, seperti ditunjukkan pada Gambar 9 (b). Pada sensor tipe ini cahaya tidak pernah meninggalkan serat optik dalam proses penginderaan, jadi proses modulasi terjadi di dalam serat optik, dengan demikian ada bagian serat optik berperan aktif sebagai fungsi sensing (*sensing function*).

Menurut Akhiruddin Maddu (2007:43) ada beberapa hal yang dapat dilakukan untuk merealisasikan tipe sensor serat optik intrinsik, yaitu dengan atau tanpa memodifikasi struktur serat optik (*cladding* atau inti). Sebagai contoh dengan memodifikasi inti serat optik membentuk kisi Bragg (*Fiber Bragg Grating*, FBG) atau memodifikasi *cladding* dengan material sensitif untuk membangkitkan fenomena optik yang diinginkan seperti medan *evanescent* atau *resonansi Plasmon permukaan* (SPR). Sensor serat optik intrinsik juga dapat dilakukan melalui prinsip *microbending* dan *macrobending* pada serat optik, biasanya diaplikasikan sebagai sensor fisis seperti sensor strain, tekanan, dan sebagainya. Selain itu sensor intrinsik juga dapat memanfaatkan sifat aktif inti serat optik.

5. Temperatur

Setiap cabang khusus fisika mula- mula dipelajari dengan memisahkan bagian ruang yang terbatas atau bagian materi dari lingkungannya. Bagian yang dipisahkan yang merupakan pusat perhatian kita

disebut sistem, dan segala sesuatu yang mempengaruhi sistem secara langsung disebut lingkungan (Zemansky,1986: 1).

Semua keadaan *isotherm* bersesuaian dari semua sistem mempunyai suatu kesamaan, yaitu semuanya dalam kesetimbangan termal satu sama lain. Kesetimbangan termal adalah keadaan yang dicapai oleh dua atau lebih sistem yang dicirikan oleh keterbatasan harga koordinat sistem itu setelah sistem saling berinteraksi melalui dinding *indoterm*. Dalam keadaan ini sistemnya sendiri dapat dikatakan memiliki sifat lain. Sifat ini sering disebut temperatur. Temperatur sistem adalah suatu sifat yang menentukan apakah sistem dalam kesetimbangan termal dengan lainnya (Zemansky ,1986: 9).

Suhu menunjukkan derajat panas benda. Mudahnya, semakin tinggi suhu suatu benda, semakin panas benda tersebut. Secara mikroskopis, suhu menunjukkan energi yang dimiliki oleh suatu benda. Setiap atom dalam suatu benda masing-masing bergerak, baik itu dalam bentuk perpindahan maupun gerakan di tempat berupa getaran. Makin tinggi energi atom-atom penyusun benda, makin tinggi suhu benda tersebut.

Suhu juga sering disebut sifat fisik yang kuantitatif mengungkapkan pengertian umum dari panas dan dingin, obyek dingin memiliki suhu rendah, sedangkan berbagai tingkat temperatur yang lebih tinggi disebut sebagai hangat atau panas. Suhu dapat diukur dengan termometer, yang memungkinkan untuk dikalibrasi keberbagai skala suhu yaitu: celcius, reamur, fahrenheit, dan kelvin. Sebagian besar di dunia menggunakan celsius sebagai

skala pengukuran suhu, tetapi standar satuan internasional suhu adalah kelvin. Celcius memiliki kenaikan yang sama dengan kelvin, tetapi titik nol yang berbeda yaitu ketika suhu 0°K sama dengan $-273,15^{\circ}\text{C}$.

Kalor adalah suatu bentuk energi dan merupakan suatu besaran dengan lambang (Q) dan satuan (J) atau kal. Kalor dapat mengubah suhu dan wujud suatu zat dari padat ke cair kemudian ke gas dan sebaliknya. Kalor jenis suatu zat adalah banyaknya kalor yang diperlukan oleh suatu zat bermassa 1 kg untuk menaikkan suhu 1°C , kalor jenis suatu zat dapat diukur dengan alat kalorimeter.

6. Gel

Gel berasal dari bahasa Latin *gelu* yang artinya membeku, dingin, es atau *gelatus* yang berarti membeku adalah campuran koloidal antara dua zat berbeda fase yaitu: padat dan cair. Penampilan gel seperti zat padat yang lunak dan kenyal seperti jelly, namun pada rentang suhu tertentu dapat berperilaku seperti fluida. Berdasarkan berat, kebanyakan gel seharusnya tergolong zat cair, namun mereka juga memiliki sifat seperti benda padat. Contoh gel adalah gelatin, agar-agar, dan gel rambut.

Biasanya gel memiliki sifat tiksotropi (*thixotropy*) menjadi cairan ketika digoyang, tetapi kembali memadat ketika dibiarkan tenang. Beberapa gel juga menunjukkan gejala histeresis. Dengan mengganti cairan dengan gas dimungkinkan pula untuk membentuk *aerogel* (gel udara), yang merupakan bahan dengan sifat-sifat yang khusus, seperti massa jenis rendah, luas permukaan yang sangat besar, dan isolator panas yang sangat baik.

Sol adalah suspensi koloid dalam liquid dan gel merupakan padatan semi liquid atau kaku dimana pelarut terkandung di dalam kerangka material koloidal dan polimerik.

Koagulasi sel liofil atau liofob, menghasilkan endapan. Bila keadaanya dibuat tepat, dapat terjadi zat cair yang ada diserap oleh zat padatnya. Proses ini disebut *gelasi* dan zat yang terjadi disebut *gel* (Sukardjo, 1997: 211)

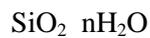
Gel dapat dibuat dengan tiga cara:

a. Pendinginan

Misal: agar-agar, gelatin, dan sebagainya dapat dibuat dari pendinginan larutan yang tidak terlalu encer.

b. Metatesis

Misal: pembuatan silica-gel



gel

c. Perubahan pelarut

Misal: Larutan Ca asetat dalam air ditambah alkohol, terjadi gel Ca Asetat.

Gel ada yang bersifat *elastis* dan *non elastis*. Pada dehidrasi gel elastis dan penambahan kembali air, dapat terbentuk gel kembali. Hal ini tidak terjadi pada gel non elastis.

Gel elastis yang sebagian dehidrasi dapat menyerap pelarut, dan bila pelarut yang diserap banyak, terjadi penggelembungan. Sebaliknya gel elastis dan non elastis, dapat mengalami peristiwa pengkerutan atau sineresis.

Untuk beberapa gel, yaitu terutama untuk gelatin dan oksida–oksida terhidrat, bila digojog dapat mencair membentuk sol, tetapi bila didinginkan membentuk gel lagi. Peristiwa perubahan gel-sol dan sebaliknya, seperti ini disebut *tiksotropi* (Sukardjo, 1997:212).

6. LED (*Light Emitting Diode*)

Dalam transmisi serat optik, digunakan sumber cahaya yang monokromatis. Sumber cahaya yang monokromatis yang digunakan untuk transmisi cahaya serat optik dapat menggunakan laser, diode laser, atau LED. Penggunaan laser sebagai sumber cahaya cukup rumit karena menggunakan sumber tegangan yang cukup tinggi dan pemasangannya harus hati-hati, sehingga digunakan sumber cahaya lain yang menggunakan sumber tegangan kecil dan pemasangannya mudah yaitu LED atau diode cahaya. Dioda adalah komponen aktif bersaluran dua. Dioda mempunyai dua elektroda aktif dimana isyarat dapat mengalir, dan kebanyakan dioda digunakan karena karakteristik satuarah yang dimilikinya. Kesearahan yang dimiliki sebagian besar jenis dioda seringkali disebut karakteristik menyearahkan. Fungsi paling umum dari dioda

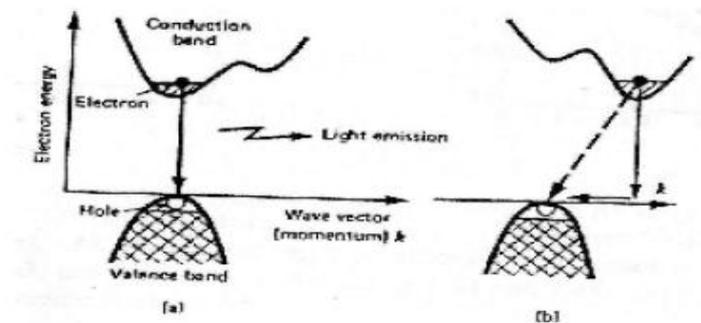
adalah untuk memperbolehkan aliran arus listrik dalam suatu arah yang disebut kondisi panjar maju dan untuk menahan arus dari arah sebaliknya yang disebut kondisi panjar mundur. Saat ini dioda yang paling umum dibuat dari bahan semikonduktor seperti silikon atau germanium.

LED (*Light Emitting Diode*) atau kadang disebut juga diode cahaya adalah suatu semikonduktor yang memancarkan cahaya monokromatik yang tidak koheren ketika diberi tegangan maju. Gejala ini termasuk bentuk elektroluminesensi yang diketahui bahwa elektron yang menerjang sambungan P-N juga melepaskan energi berupa energi panas dan energi cahaya. LED dibuat agar lebih efisien jika mengeluarkan cahaya. Untuk mendapatkan emisi cahaya pada semikonduktor, doping yang digunakan adalah galium, arsenik dan fosfor. Jenis doping yang berbeda menghasilkan warna cahaya yang berbeda pula. Warna yang dihasilkan bergantung pada bahan semikonduktor yang dipakai, dan bisa juga ultraviolet dekat atau inframerah dekat

Semikonduktor adalah material dengan konduktivitas diantara konduktor dan isolator, susunan atom-atomnya membentuk struktur kristal. Akibat larangan Pauli, yaitu larangan adanya 2 buah elektron yang berada dalam state yang sama dalam waktu yang sama, sehingga elektron-elektron dari atom-atom kristal semikonduktor pada tingkat energi yang hampir sama akan membentuk tingkat-tingkat energi yang sangat berdekatan yang disebut pita energi. Pita energi yang berhubungan dengan pemancaran cahaya adalah pita energi valensi dan pita energi konduksi. Jika elektron dari pita valensi karena mendapatkan energi maka tereksitasi ke pita konduksi sehingga tempat kosong yang

ditinggalkan oleh elektron tersebut disebut *hole* yang dipandang bermuatan positif. Elektron pada pita konduksi tersebut dapat turun kembali ke pita valensi mengisi *hole*, peristiwa ini disebut rekombinasi. Pada peristiwa rekombinasi akan dipancarkan cahaya bersesuaian dengan selisih kedua pita energi tersebut.

Kondisi untuk transisi tersebut adalah momentum dari elektron secara ideal harus konstan. Pada Gambar (11.a) elektron mengalami transisi secara langsung dan mudah dari level energi tinggi ke rendah dan cahaya secara mudah diradiasikan. Pada Gambar (11.b) momentum juga harus berubah, transisi elektron menjadi sulit dan probabilitas dari cahaya yang diemisikan lebih kecil. Proses pada Gambar (11.a) dan (11.b) disebut semi-konduktor transisi langsung dan transisi tidak langsung.



Gambar 11. Transisi langsung dan tidak langsung

Panjang gelombang yang dipancarkan (λ) bergantung dengan gap energi antara pita konduksi dan pita valensi :

$$\lambda = \frac{h.c}{E_g} \cong \frac{1.2398}{E_g(eV)} \mu m \quad (10)$$

c adalah kecepatan cahaya, h adalah tetapan Planck dan E_g adalah energi gap antara pita konduksi dan valensi yang merupakan karakteristik dari material semi-konduktor. Berbagai jenis material semi-konduktor tersedia sehingga panjang gelombang yang dihasilkan hampir memuat semua spektrum dari daerah tampak sampai infra-merah dekat. Pada LED (*Light Emitting Diode*), cahaya langsung dipancarkan, sedangkan pada diode laser lapisan tengah elemen semikonduktor dirancang sebagai zona aktif. Ujung-ujung zona aktif ini memantulkan dan memperkuat intensitas laser sebelum memancar keluar.

B. Kerangka Berpikir

Penelitian ini didasari untuk mencari suatu medium yang dapat digunakan sebagai sensor dengan memilih serat optik sebagai obyek penelitian. Sebagaimana telah kita ketahui bahwa selain banyak digunakan dalam sistem komunikasi serat optik juga dapat digunakan sebagai sensor besaran fisis. Sebagai contoh, sensor kelembaban, temperatur konsentrasi dan lain sebagainya. Sebagai sumber cahaya digunakan cahaya LED yang dilewatkan pada serat optik. Prinsip kerja serat optik menggunakan hukum pembiasan dan pemantulan yang berhubungan dengan indeks bias bahan. Pada penelitian ini, medium yang digunakan sebagai sensor adalah gel. Sambungan serat optik dengan berbagai warna gel sepanjang 1 cm. Gel yang digunakan adalah gel rambut merk 'Gatsby'. Bagian sambungan yang telah diisi dengan berbagai jenis warna gel tersebut diletakkan di atas air yang dipanaskan sampai suhu tertinggi. Penelitian ini diharapkan memperoleh data pengaruh variasi temperatur terhadap perubahan intensitas transmisi serat optik pada berbagai

jenis warna gel. Selain itu juga dapat diketahui jenis warna gel yang memiliki daya serap paling tinggi terhadap perubahan temperatur.