

BAB I

PENDAHULUAN

Tujuan Instruksional Umum

Pada bab ini akan didefinisikan pokok dari komunikasi serat optik dan juga akan dijelaskan pendekatannya pada pokok bahasan tersebut. Setelah mempelajari Bab Pendahuluan ini, diharapkan mahasiswa men dapat gambaran tentang komunikasi serat optik secara umum.

Tujuan Instruksional Khusus

Pada subbab-subbab berikut akan diuraikan beberapa keuntungan atau kelebihan penggunaan serat optik dibandingkan dengan teknologi yang lain, dan juga beberapa aplikasi penting dari serat optik. Bagi pembaca yang belum pernah mempelajari tentang serat optik, akan diuraikan tentang dasar-dasar teknologi ini, antara lain penghitungan daya dalam satuan decibel dan sifat-sifat cahaya. Mahasiswa diharapkan :

1. Memahami garis besar sistem komunikasi optis dan instrumen-instrumen yang dibutuhkan.
2. Dapat menghitung daya dalam satuan decibel.
3. Memahami sifat dualisme cahaya dan kegunaannya dalam sistem komunikasi serat optik.
4. Dapat menjelaskan kelebihan serat optik dibandingkan dengan media komunikasi yang lain.

1.1 Tinjauan Historis

Penggunaan cahaya sebagai alat komunikasi pada dasarnya telah digunakan sejak dahulu. Pada siang hari, matahari digunakan sebagai sumber cahaya dan pesan dikirim dari pengirim ke penerima melalui radiasi sinar matahari. Gerakan tangan pengirim memodulasi cahaya, mata penerima berfungsi sebagai peralatan deteksi (*detektor*), dan otak memproses pesan yang diterima. Kecepatan transfer informasi sistem ini sangat rendah, jarak yang dapat dijangkau pendek, dan kemungkinan terjadinya kesalahan cukup besar.

Pada tahun 1880 Alexander Graham Bell menemukan photophone, sebuah sistem komunikasi menggunakan cahaya. Sinar matahari yang dipantulkan dari kaca tipis pemodulasi-suara digunakan untuk membawa percakapan. Pada penerima, cahaya menimpa sel fotokonduktor berbahan selenium yang mengubah pesan menjadi arus listrik. Sebuah penerima telepon melengkapi sistem ini. Photophone ini dapat bekerja, namun tidak mencapai sukses komersial.

Berbagai macam sistem komunikasi optis yang sederhana dapat dijumpai dalam kehidupan sehari-hari seperti pemakaian lampu untuk komunikasi kapal ke kapal, kapal ke pantai, lampu tanda berbelok pada motor atau mobil, dan lampu pengatur lalu lintas (*traffic light*). Pada dasarnya semua tipe lampu indikator adalah sebuah sistem komunikasi optis.

Sistem komunikasi optis yang telah disebutkan di atas mempunyai kapasitas informasi yang rendah. Peningkatan kapasitas yang cukup berarti dapat dicapai dengan ditemukannya laser (1960). Laser menyediakan sumber cahaya dengan lebar-bidang yang sempit, sehingga cocok digunakan sebagai pembawa informasi (seperti halnya sumber frekuensi radio pada sistem komunikasi elektronik). Selanjutnya dikembangkan sistem komunikasi optis tak-terpandu (*nonfiber*). Sistem ini tergantung pada keadaan atmosfer, tersedianya lintasan LOS (*Line Of Sight*), dan juga berbahaya bagi orang yang secara tak sengaja memandang langsung pada berkas laser tersebut. Meskipun mempunyai beberapa kekurangan, sistem komunikasi optis tak-terpandu ini memberikan dasar yang fundamental bagi pembangunan sistem komunikasi optis terpandu dengan menggunakan serat (*fiber*). Pada perkembangan selanjutnya, sumber cahaya laser tidak selalu digunakan dalam komunikasi optis. Pada beberapa bidang penerapan digunakan sumber cahaya LED yang mempunyai lebar-bidang yang lebih besar daripada laser.

Pada tahun 1960 serat yang efisien untuk komunikasi optis belum dapat dihasilkan, tetapi telah diketahui bahwa cahaya dapat ditransmisikan melalui serat gelas meskipun penyusutannya besar. Pada tahun 1970 mulai dapat dihasilkan serat dengan rugi-rugi rendah sehingga komunikasi serat optis menjadi lebih praktis.

1.2 Sistem Komunikasi Paling Dasar

Sistem komunikasi yang paling sederhana terdiri atas pengirim, penerima, dan kanal informasi. Pada pengirim, informasi dibangkitkan dan diubah sehingga dapat ditransmisikan melalui kanal informasi. Kanal informasi terbagi menjadi dua kategori yaitu :

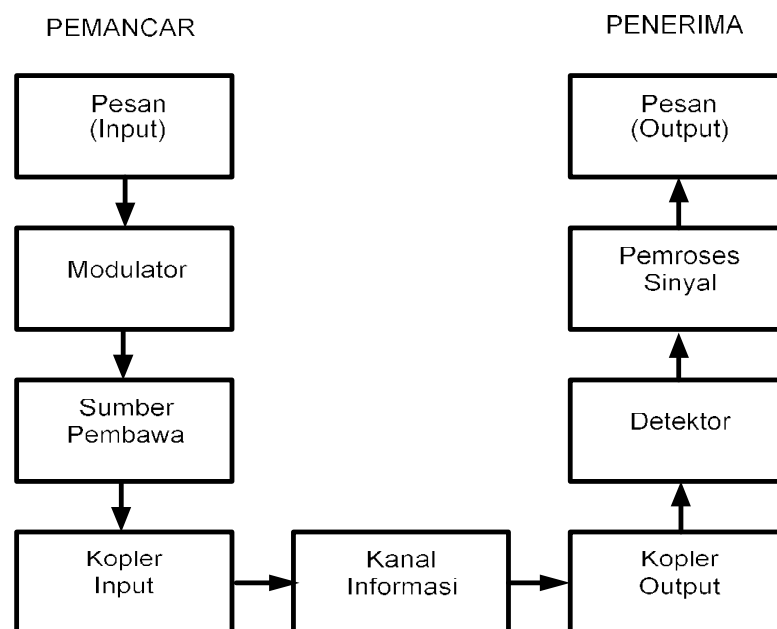
1. Kanal tak-terpandu (*unguided*), misalnya atmosfer untuk radio komersial, televisi *boadcast*, dan rile gelombang mikro.
2. Kanal terpandu (*guided*), misalnya kabel koaksial dan pemandu-gelombanng kotak. Kanal terpandu lebih mahal dalam produksi, pemasangan, dan perawatannya, tetapi mempunyai beberapa keuntungan antara lain tidak tergantung keadaan cuaca dan kerahasiaan informasi terjaga.

Sistem komunikasi yang digeneralisasikan dan disesuaikan untuk sistem komunikasi serat optis diperlihatkan pada gambar 1.1.

Semua pesan berbentuk fisik harus diubah ke dalam besaran listrik sebelum ditransmisikan melalui sistem komunikasi elektronis atau optis. Modulator mempunyai dua fungsi yaitu mengubah sinyal listrik ke dalam format yang sesuai dan “meletakkannya” pada gelombang pembawa yang dibangkitkan oleh sumber pembawa. Untuk komunikasi optis, proses modulasi digital sangat mudah karena dapat dilakukan

dengan cara menghidupkan dan mematikan sumber. Sumber pembawa sistem serat optis biasanya digunakan LD (*Laser Diode*) atau LED (*Light Emitting Diode*). Kedua peralatan ini biasa disebut osilator optis. Sumber pembawa ideal harus stabil dan mempunyai frekuensi tunggal. LD dan LED tidak mempunyai keidealan seperti ini, tetapi masih dapat digunakan dengan toleransi tertentu.

Kopler input mencatukan daya ke kanal informasi. Pada sistem optis, kopler harus dapat mentransfer berkas cahaya termodulasi ke dalam serat dengan efisien. Kesulitan yang timbul berasal dari ukuran serat yang sangat kecil, yaitu dalam orde mikrometer.



Gambar 1.1. Blok diagram sistem komunikasi menggunakan serat optis

Kanal informasi yang berupa serat gelas (plastik) menghubungkan pemancar dan penerima. Karakteristik bahan yang diinginkan adalah penyusutan kecil dan sudut penerimaan cahaya yang besar. Pada ujung kanal, kopler output berfungsi mengarahkan cahaya yang datang dari serat ke detektor cahaya. Detektor cahaya biasanya mempunyai permukaan yang luas dan sudut penerimaan yang besar sehingga kopel cahaya dari serat ke detektor dapat dirancang dengan efisien. Detektor cahaya akan mengubah cahaya menjadi arus listrik yang sebanding dengan daya optik yang diterima. Sifat-sifat ideal sebuah detektor cahaya antara lain ukuran kecil, ekonomis, berumur panjang, konsumsi daya rendah, sensitivitasnya tinggi, dan cepat merespon perubahan daya optik yang diterima.

Pada sistem digital, pemroses sinyal meliputi sirkuit pengambil keputusan yang menentukan bit-bit yang diterima, bit 1 atau bit 0. Pesan yang diterima (output) dapat ditampilkan baik audio maupun visual.

1.3 Daya Dalam Desibel

Perancangan sistem harus memperhitungkan daya optik sepanjang jalur komunikasi. Perhitungan ini berguna untuk memastikan daya optik yang datang pada penerima tidak terlalu kecil ataupun tidak terlalu besar. Besaran decibel (dB) dapat digunakan sebagai ukuran aras daya dalam sistem

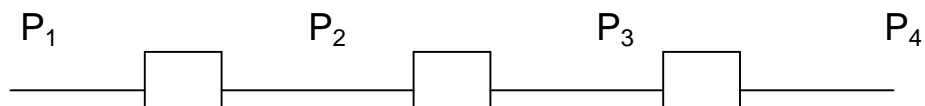
komunikasi. Jika P_1 watt adalah daya pada suatu titik dan P_2 watt adalah daya pada titik yang lain, maka P_2/P_1 adalah perbandingan daya yang ditransmisikan diantara kedua titik, dan dapat dinyatakan dalam decibel sebagai :

$$\text{dB} = 10 \log_{10} \frac{P_2}{P_1} \dots\dots\dots(1.1)$$

Catatan

Dalam mencari rugi-rugi atau daya input atau output dengan menggunakan besaran decibel, satuan masing-masing daya harus sama, misalnya dalam watt maka semua daya (dalam contoh di atas adalah P_1 s.d P_4) harus dalam watt. Jika dikehendaki daya dinyatakan dalam miliwatt, maka semua daya juga harus dinyatakan dalam miliwatt. Penggunaan satuan yang tidak sama akan mengakibatkan kesalahan dalam perhitungan.

Kemudahan menggunakan perbandingan daya dalam decibel ini dapat diperlihatkan pada gambar berikut.



Gambar 1.2 Aras daya pada sistem bertingkat

Dari gambar di atas, dapat dirumuskan :

$$\frac{P_4}{P_1} = \frac{P_4}{P_3} \times \frac{P_3}{P_2} \times \frac{P_2}{P_1} \quad \dots\dots\dots(1.2)$$

$$\begin{aligned} \text{dB} &= 10 \log_{10} \frac{P_4}{P_1} = 10 \log_{10} \left(\frac{P_4}{P_3} \times \frac{P_3}{P_2} \times \frac{P_2}{P_1} \right) \\ &= 10 \log_{10} \frac{P_4}{P_3} + 10 \log_{10} \frac{P_3}{P_2} + 10 \log_{10} \frac{P_2}{P_1} \quad \dots\dots\dots(1.3) \end{aligned}$$

1.4 Sifat Cahaya

Cahaya mempunyai dua sifat, yaitu cahaya sebagai gelombang dan cahaya sebagai partikel. Berbagai fenomena cahaya dapat dijelaskan dengan mengingat bahwa cahaya adalah gelombang elektromagnetik yang mempunyai frekuensi yang sangat tinggi dan panjang-gelombang yang sangat pendek. Istilah “optik” biasa digunakan untuk menyebut cahaya pada daerah inframerah, cahaya tampak, dan ultraviolet. Hal ini dikarenakan banyaknya analisis, teknik, dan peralatan yang beroperasi pada daerah tersebut.

Panjang-gelombang cahaya tampak mempunyai jangkauan dari 0,4 μm s.d 0,7 μm . Pada daerah ini serat gelas bukan merupakan media transmisi yang baik, karena gelombang cahaya akan cepat mengalami penyusutan. Rugi-rugi pada daerah ultraviolet bahkan lebih besar daripada rugi-rugi di daerah cahaya tampak. Pada daerah inframerah

terdapat dua jangkauan panjang-gelombang dimana serat gelas efektif sebagai media transmisi. Kedua jangkauan ini berada di sekitar panjang-gelombang 0,85 μm dan dari 1,1 μm s.d 1,6 μm .

Cahaya merupakan gelombang elektromagnetik, sehingga selalu terdiri atas medan listrik dan medan magnetik yang merambat dengan sangat cepat. Dalam ruang hampa, gelombang elektromagnetik merambat dengan kecepatan 3×10^8 m/s (biasa dinotasikan dengan huruf c). Jika gelombang merambat pada media lain, kecepatannya akan berubah. Panjang-gelombang dapat dicari dengan menggunakan rumusan :

$$\lambda = \frac{v}{f} \quad \dots\dots\dots(1.4)$$

dengan λ adalah panjang gelombang, v adalah kecepatan cahaya, dan f adalah frekuensi. Frekuensi ditentukan oleh sumber dan tidak akan berubah meskipun cahaya merambat dari satu media ke media yang lain. Perubahan cepat rambat yang terjadi saat cahaya masuk ke media lain adalah karena perubahan panjang-gelombang sesuai dengan rumusan di atas.

Selain bersifat sebagai gelombang, cahaya juga bersifat sebagai partikel. Pada sifat yang kedua ini, cahaya terdiri atas

partikel-partikel kecil yang disebut photon. Energi satu photon dinyatakan sebagai :

$$W = hf \quad \dots\dots\dots(1.5)$$

dengan W adalah energi photon dalam joule, h adalah konstanta Planck ($6,626 \times 10^{-34}$ Js), dan f adalah frekuensi dalam Hertz. Seberkas cahaya biasanya terdiri atas sejumlah besar photon. Sifat cahaya sebagai partikel ini bermanfaat dalam perancangan sistem komunikasi optis, terutama dalam menentukan jenis detektor cahaya yang diperlukan.

1.5 Keباikan Serat

Bahan dasar serat kaca adalah dioksida silikon, dan beberapa serat optik dibuat dari plastik transparan. Alasan ekonomi sering menjadi pertimbangan penggunaan serat optik dibanding penggunaan kawat. Banyaknya bahan dioksida silikon di alam membuat serat kaca menjadi lebih murah. Selain itu juga perbandingan transfer informasi antara serat optik dan kawat juga sering menjadi pertimbangan karena serat optik menawarkan kapasitas yang lebih besar.

Perbandingan ekonomis juga harus memperhitungkan biaya instalasi, pengoperasian, dan pemeliharaan. Untuk jarak yang jauh, serat optik lebih murah dan lebih mudah diinstal karena serat optik lebih kecil dan lebih ringan. Pengoperasian sistem komunikasi serat optis tidak terlalu banyak berbeda

dengan sistem menggunakan kawat, sehingga dari sisi pengoperasian akan membutuhkan biaya yang sama.

Pemeliharaan sistem komunikasi serat optis berbeda dengan sistem kawat. Jika jalur serat optik patah atau retak, maka perbaikan dengan cara peleburan (disebut *splices*) harus dilakukan atau dapat juga ditambahkan konektor baru. Kegiatan ini memerlukan keahlian khusus dan waktu yang cukup lama. Dalam merancang sistem, biaya pemeliharaan ini harus menjadi perhatian.

Serat optik mempunyai sifat kuat dan fleksibel. Untuk daerah dimana instalasi sistem komunikasinya terdiri atas banyak tikungan, maka penggunaan serat optik menjadi lebih menarik. Hal ini disebabkan karena untuk tikungan dengan radius yang cukup besar, serat optik hanya akan mengakibatkan rugi-rugi rendah. Selain itu serat optik yang telah dilindungi juga tidak mudah retak.

Produksi serat optik dengan rugi-rugi rendah (*low-loss*), biasanya 4 dB/km, menjadikan penggunaan pengulang (*repeater*) yang lebih sedikit dibanding jika menggunakan kawat. Serat optik juga menawarkan kemampuan untuk membawa informasi yang lebih besar baik dalam bentuk analog maupun digital.

Serat optik, baik berbahan gelas atau plastik, merupakan isolator sehingga tidak ada arus listrik yang mengalir. Gelombang optik terjebak dalam serat dan karenanya tidak

ada gelombang yang bocor dan menginterferensi serat lain. Dengan kata lain bahwa serat optik mempunyai penolakan RFI (*Radio Frequency Interference*) dan EMI (*Electromagnetic Interference*) yang bagus. RFI berkaitan dengan interferensi yang disebabkan oleh stasiun radio dan televisi, radar, dan sinyal-sinyal lain yang berasal dari peralatan elektronik. EMI selain disebabkan oleh sumber-sumber ini, juga disebabkan oleh fenomena alam lain (misalnya petir). Kelebihan serat dalam menolak RFI dan EMI membuat tidak terjadi cakup-silang (*crosstalk*). Karena merupakan isolator, serat tidak akan mentransmisikan EMP (*Electromagnetic Pulses*) yang disebabkan oleh ledakan nuklir. Pada media komunikasi kawat, hal ini akan terjadi dan akhirnya akan merusak peralatan elektronik komunikasi.

Serat menawarkan keamanan dan privasi. Karena serat tidak meradiasikan energi maka sulit untuk mencuri sinyal, kecuali dengan cara menambah cabang baru pada jalur serat optis yang telah ada. Jika cara ini dilakukan maka daya yang diterima oleh penerima yang asli akan turun secara drastis dan hal ini dapat digunakan untuk mendeteksi pencurian sinyal.

Kebaikan serat yang lain adalah tahan terhadap korosi akibat air atau bahan kimia dan temperatur yang tinggi (hingga 800°C). Meskipun demikian, komponen-komponen lain sistem mungkin akan sensitif terhadap suhu yang tinggi, misalnya pelindung serat yang terbuat dari plastik dapat

meleleh. Distorsi ini akan mengakibatkan bertambahnya rugi-rugi serat.

Kerugian penggunaan serat optik adalah berkaitan dengan konektor optik; harganya mahal, rugi-ruginya besar, dan instalasinya membutuhkan waktu yang cukup lama. Perancang sistem biasanya menginginkan konektor dengan rugi-rugi 0,1 dB, namun hal ini sulit dicapai. Konektor plastik dengan rugi-rugi tipikal 2 dB bisa didapatkan dengan mudah.

1.6 Penerapan Komunikasi Serat Optik

Berikut ini adalah beberapa penerapan komunikasi menggunakan serat optik sederhana yang telah mengawali perannya dalam turut mengembangkan era informasi.

- Jalur “trunk” yang menghubungkan sentral-sentral telepon di Chicago. Dengan menggunakan serat optik, jarak antar pelanggan dapat diperkecil.
- Jalur bawah laut yang menghubungkan pantai timur Amerika Serikat dan Eropa, dengan jarak pelanggan sejauh 50 km.
- Istilah “*wired city*” menggambarkan komunitas masyarakat dimana setiap rumah mempunyai akses secara elektronik ke sejumlah besar sumber informasi. Saat fungsi kawat penghubungnya digantikan oleh serat optik, istilah tersebut berubah menjadi “*fibered city*”. Pada kota-kota seperti ini, setiap rumah mempunyai televisi, kamera, mikrofon, dan

keyboard yang terhubung melalui jalur serat optik antara rumah yang satu dengan yang lain. Beberapa saluran televisi disiarkan secara *broadcast*, seperti program-program polisi, dinas kebakaran, dan informasi komersial. Pelanggan di rumah dapat meminta pemutaran video tertentu pada penyedia jasa persewaan video untuk disaksikan di rumah pelanggan itu sendiri. Kursus di rumah juga dapat diselenggarakan dengan menggunakan jasa ini. Semua fasilitas di atas memerlukan sistem transmisi jalur-lebar (*broadband*), dan serat optik dapat menyediakannya.

- Jalur kawat yang dipasang sepanjang kereta api listrik mengalami interferensi dari catu daya listrik kereta. Untuk mengurangi pengaruh ini, maka dapat digunakan serat optik sebagai pengganti kawat (serat optik mempunyai penolakan EMI yang baik).
- Penerapan serat optik untuk transmisi data video meliputi televisi *broadcast*, televise kabel, dan monitor jarak jauh. Televise kabel menawarkan banyak saluran sehingga membutuhkan *bandwidth* yang lebar.

1.7 Ringkasan

Penggunaan cahaya sebagai pembawa informasi dalam sistem komunikasi telah lama digunakan, namun baru efektif semenjak tahun 1970 dengan ditemukannya laser dan dibuatnya serat optik dengan rugi-rugi rendah. Serat optik

mempunyai kelebihan antara lain harganya murah, bandwidth - nya lebar, mempunyai sifat kuat dan fleksibel, mempunyai sifat penolakan RFI dan EMI yang baik, tahan terhadap korosi, dan menawarkan keamanan dan privasi komunikasi. Serat optik juga menawarkan keamanan peralatan sistem komunikasi dari ledakan nuklir karena serat tidak mentransmisikan EMP.

1.8 Contoh Soal dan Penyelesaiannya

1. Jika elemen-elemen pada gambar 1.2 masing-masing mempunyai rugi-rugi -11 , -6 , dan -3 dB, temukan rugi-rugi totalnya. Jika daya inputnya 5 mW tentukan daya outputnya.

Penyelesaian

$$\text{Rugi-rugi total} = -11 - 6 - 3 = -20 \text{ dB}$$

$$\text{Daya output} = P_4 = ?$$

$$-20 = 10 \log_{10} \frac{P_4}{P_1}$$

$$\frac{-20}{10} = \log_{10} \frac{P_4}{0,005}$$

$$10^{-2} = \frac{P_4}{0,005}$$

$$P_4 = 10^{-2} \times 0,005$$

$$= 5 \cdot 10^{-5}$$

$$= 0,05 \text{ mW}$$

2. Tentukan jumlah photon yang datang pada detektor dalam 1 detik, jika daya optik yang dihasilkan $1 \mu\text{W}$ dan panjang-gelombangnya $0,8 \mu\text{m}$.

Penyelesaian

Energi satu photon dengan panjang gelombang $0,8 \mu\text{m}$ adalah :

$$W = hf = \frac{hc}{\lambda} = \frac{6,626 \times 10^{-34} \times 3 \times 10^8}{0,8 \times 10^{-6}} = 2,48 \times 10^{-19} \text{ Joule}$$

Energi total yang diterima detektor selama 1 detik adalah :

$$W_t = Pt = 1 \times 10^{-6} \times 1 = 10^{-6} \text{ Joule}$$

dengan P adalah daya optik yang diterima detektor. Jumlah photon yang datang pada detektor (N) dapat dihitung dengan cara membagi energi total yang diterima detektor dengan energi satu photon, sebagai berikut :

$$\frac{W_t}{W} = \frac{10^{-6}}{2,48 \times 10^{-19}} = 4,03 \times 10^{12} \text{ photon}$$

1.9 Soal-soal Latihan

1. Sebuah penerima memerlukan daya minimum 10 nW untuk dapat menerima sinyal dengan baik. Jika rugi-rugi sistem adalah sebesar 50 dB , maka tentukan besarnya daya yang dibutuhkan oleh sumber (pengirim) ?

2. Hitunglah banyaknya photon yang datang pada penerima setiap detiknya , jika daya yang datang pada penerima tersebut adalah 1 nW dan panjang-gelombangnya adalah $1,3 \mu\text{m}$?
3. Gambarkan dan jelaskan blok diagram sistem komunikasi serat optik ?
4. Dapatkah cahaya tampak digunakan sebagai pembawa informasi dalam komunikasi serat optik ? Jelaskan !
5. Jelaskan kelebihan-kelebihan serat optik dibandingkan dengan media kawat (misalnya kabel koaksial) ?