

SISTEM PENJAMAKAN PADA KOMUNIKASI SERAT OPTIK

Meiyanto Eko Sulistyio
AMIK KARTIKA YANI Yogyakarta

Abstraksi

Sistem komunikasi serat optik terdiri dari pemancar, media transmisi dan penerima. Pada sisi pengirim, informasi yang dikirimkan terlebih dahulu diubah ke dalam isyarat listrik oleh transduser sebelum ditransmisikan.

Oleh modulator, informasi isyarat listrik diubah ke bentuk yang sesuai. Sejumlah daya yang diberikan pengirim ke saluran informasi agar isyarat termodulasi dapat diterima di sisi penerima. Dan setelah dipisahkan dari pembawanya, isyarat listrik diubah menjadi isyarat aslinya oleh suatu transduser.

Sistem penjamakan dalam sistem komunikasi serat optik, yaitu WDM (Wavelength Division Multiplexing) dan FDM (Frequency Division Multiplexing).

Kata Kunci : *serat optik, modulasi, WDM, FDM.*

1. Pendahuluan

Sistem komunikasi serat optik memanfaatkan cahaya sebagai gelombang pembawa informasi yang akan dikirimkan. Pada bagian pengirim isyarat informasi diubah menjadi isyarat optik, lalu diteruskan ke saluran informasi yang terbuat dari serat optik sebagai pemandu gelombang. Sesampainya di penerima, berkas cahaya ditangkap oleh detektor cahaya, yang berfungsi untuk mengubah besaran optik menjadi besaran elektrik. Di sini cahaya mengalami pelebaran dan pelemahan, disebabkan karena ketidakmurnian bahan serat, yang menyerap serta menyebarkan cahaya.

2. Pembahasan

2.1 Karakteristik Serat Optik

Serat optik merupakan salah satu media transmisi komunikasi optik yang cukup handal. Sesudah tahun 1970, ketika mulai terdapat serat optik dengan susutan yang lebih kecil dari 20 dB/km, perkembangannya semakin dipacu. Dengan bahan-bahan dasar yang semakin murni dan teknik pembuatan yang semakin teliti, koefisien susutan dapat mencapai kurang dari 5 dB/km.

Serat optik mempunyai beberapa kelebihan dibandingkan dengan media transmisi yang lain, antara lain sebagai berikut :

- a). Mempunyai lebar bidang (*bandwidth*) yang sangat lebar.
Dalam sistem digital dapat mentransmisikan sinyal digital dengan kecepatan data yang sangat tinggi (dari orde Mbit/s sampai dengan Gbit/s), sehingga mampu membawa informasi yang sangat besar.
- b). Rugi transmisi (*transmission loss*) yang rendah.
Sifat ini dapat memperkecil jumlah sambungan dan jumlah pengulang (*repeater*) yang pada gilirannya akan mengurangi kerumitan dan biaya sistem.
- c). Ukuran sangat kecil dan sangat ringan.
Serat optik memiliki diameter sangat kecil sehingga mudah dalam penanganan dan instalasi.
- d). Kebal terhadap interferensi.
Serat optik terbebas dari derau (*noise*) elektrik maupun medan magnetik karena menyediakan pemandu gelombang (*waveguide*) yang kebal terhadap interferensi elektromagnetik (*Electromagnetic Interference*, EMI), menjamin terbebas dari efek pulsa elektromagnetik (*Electromagnetic Pulse*, EMP), dan interferensi frekuensi radio (*Radiofrequency Interference*, RFI).
- e). Terisolasi dari efek elektrik.
Serat optik terbuat dari kaca silika atau polimer plastik yang bersifat sebagai bahan isolator (*insulator*) sehingga tidak terdapat tenaga listrik maka tidak akan terjadi ledakan maupun percikan api.
- f). Keamanan isyarat terlindungi.

Isyarat optik diikat atau ditahan secara baik dalam pemandu gelombang dengan keluaran cahaya yang dapat diserap oleh jaket yang tidak dapat ditembus oleh cahaya di sekitar serat sehingga tidak dapat disadap.

- g). Harganya dapat lebih murah di masa yang akan datang. Banyaknya bahan material pembuat serat optik di muka bumi (gelas silika atau dioksida silikon) sehingga harganya di masa datang dapat lebih murah. Selain itu, serat optik juga memiliki beberapa kelemahan antara lain :

- a). sukar membuat terminal pada kabel serat,
- b). tidak seperti pada kawat logam, penyambungan serat harus menggunakan teknik serta ketelitian yang tinggi,
- c). serat optik tidak dapat menyalurkan energi elektrik, pengulang harus dicatu secara lokal atau dicatu secara *remote* menggunakan kabel elektrik terpisah,
- d). intensitas energi cahaya yang dipancarkan oleh pemancar optik dapat merusak retina mata secara permanen jika pada saat instalasi tidak dilakukan hati-hati.

Struktur Serat Optik

Dalam struktur serat optik dibagi menjadi tiga bagian utama, yaitu sebagai berikut :

- a). Inti (*core*). Inti terbuat dari bahan kuarsa berkualitas sangat tinggi dan tidak mengalami korosi. Inti memiliki diameter 5 μm – 200 μm .
- b). Selubung kulit (*cladding*). Selubung kulit terbuat dari bahan gelas dengan indeks bias lebih kecil dari inti sehingga hubungan indeks bias antara inti dan selubung kulit akan mempengaruhi perambatan cahaya pada inti.
- c). Jaket/pembungkus (*coating*). Sekeliling inti dan selubung kulit dibalut dengan plastik yang berfungsi untuk melindungi serat optik dari kerusakan, seperti goresan, kotoran dan lainnya.

Secara umum struktur serat optik digambarkan seperti pada Gambar 1.



Gambar 1. Struktur Serat Optik

Jenis Serat Optik

Berdasarkan mode penjarannya, serat optik dibagi menjadi dua macam, yaitu :

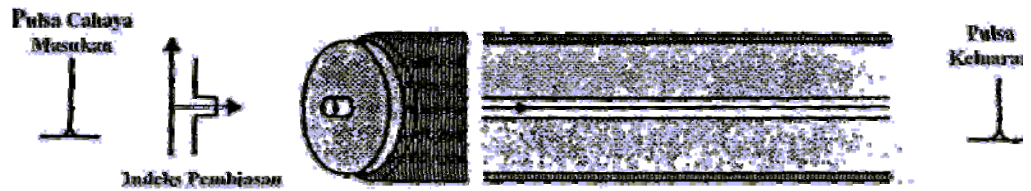
- a). serat optik mode tunggal (*single-mode optical fiber*), dan
- b). serat optik mode jamak (*multimode optical fiber*).

Sedangkan, menurut susunan indeks biasnya, serat optik terdiri atas dua macam, yaitu :

- a). serat optik mode jamak indeks undak (*Step Index, SI*), dan
- b). serat optik mode jamak indeks berangsur (*Graded Index, GRIN*).

Serat Optik Mode Tunggal

Serat optik mode tunggal hanya menyalurkan satu mode berkas cahaya. Struktur serat optik mode tunggal ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Struktur serat optik mode tunggal

Susutan total serat optik mode tunggal sangat kecil, yaitu sekitar 0,2 dB/km, sehingga serat optik ini sesuai untuk sistem komunikasi jarak jauh dengan kapasitas yang besar.

Dalam perancangan serat optik mode tunggal, parameter *cut off* atau frekuensi normalisasi V menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$V = \frac{2\pi a}{\lambda_0} \sqrt{n_1^2 - n_2^2} = \frac{2\pi a}{\lambda_0} \sqrt{2\Delta - \Delta^2}$$

(1)

dengan $n_2 = n_1(1 - \Delta)$ dan $\Delta = \frac{n_1 - n_2}{n_1}$

V = frekuensi *cut off* (tanpa satuan)

λ_0 = panjang gelombang operasi cahaya (μm)

a = jari-jari inti serat optik (μm)

Untuk Δ yang kecil, $\Delta^2 \ll 2\Delta$, sehingga persamaan (1) berubah menjadi :

$$V = \frac{2\pi a}{\lambda_0} \sqrt{2} n_1 \sqrt{\Delta} = 8,886 \frac{a n_1}{\lambda_0} \sqrt{\Delta}$$

(2)

Untuk serat optik mode tunggal, frekuensi *cut off* yang dinormalisasikan biasanya mempunyai nilai $V < 2,405$.

Serat Optik Mode Jamak Indeks Undak (SI)

Serat optik mode jamak indeks undak terdiri dari inti (*core*) dengan indeks bias n_1 dan dikelilingi oleh selubung kulit (*cladding*) dengan indeks bias n_2 (Gambar 3). Sudut kritis θ_c untuk serat optik mode jamak indeks undak, yang diberikan oleh persamaan berikut :

$$\sin \theta_c = \frac{n_2}{n_1}$$

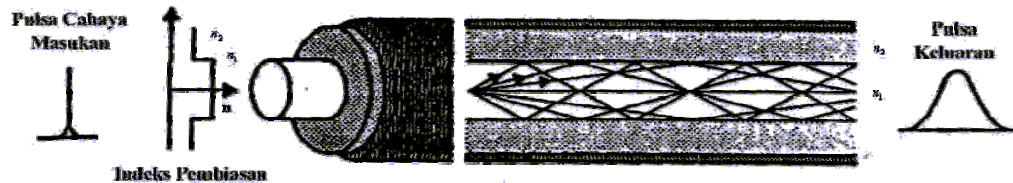
(3)

Perubahan indeks bias Δ merupakan nilai serat yang diberikan oleh persamaan :

$$\Delta = \frac{n_1 - n_2}{n_1}$$

(4)

Nilai ini selalu positif, karena n_1 harus lebih besar daripada n_2 , agar sudut kritis ada. Khususnya, Δ pada orde 0,01

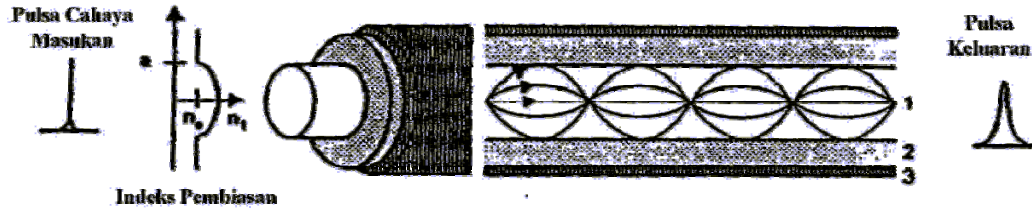


Gambar 3. Serat optik mode jamak indeks undak

Karena indeks bias dari inti adalah konstan dan kecepatan dari setiap mode adalah sama, serta jarak yang ditempuh oleh masing-masing mode adalah berbeda, maka akan ada perbedaan waktu perambatan. Karena cahaya dari serat yang berinti lebih besar adalah gabungan dari beberapa ratus mode yang berbeda maka sebuah pulsa akan melebar selama transmisi.

Serat Optik Mode Jamak Indeks Berangsur (GRIN)

Serat optik mode jamak indeks berangsur mempunyai bahan inti yang indeks biasnya berubah dengan bertambahnya jarak dari sumbu serat.



Gambar 4. Serat optik mode jamak indeks berangsur

Perubahan indeks bias $n(r)$ diberikan oleh persamaan berikut :

$$(5) \quad n(r) = n_1 \sqrt{1 - 2(r/a)^\alpha \Delta} \quad ; \quad r \leq a$$

$$(6) \quad n(r) = n_2 \sqrt{1 - 2\Delta} = n_2 \quad ; \quad r > a$$

dimana : n_1 = indeks bias inti serat optik

n_2 = indeks bias selubung kulit serat optik

a = jari-jari inti serat optik

α = nilai yang menunjukkan profil perubahan indeks bias

Δ = nilai yang menunjukkan skala perubahan profil

Perjalanan sinar cahaya yang melewati serat optik pada Gambar 4 menunjukkan sudut datangnya lebih besar akan lebih lama berada di daerah dengan indeks bias rendah, yang menyebabkan sinar cahaya yang menuju ke tepi inti merambat lebih cepat daripada yang merambat pada inti. Hal ini menyamakan waktu perambatan

dari berbagai mode sehingga pada saat tiba di penerima akan sefase. Keadaan ini mengurangi terjadinya dispersi akibat adanya berbagai mode berkas sinar cahaya.

Penyambungan

Ada dua teknik penyambungan serat optik yang digunakan saat ini, yaitu :

- a). penyambungan fusi (*fusion splicing*), dan
- b). penyambungan mekanik (*mechanical splicing*).

Kedua metode ini memerlukan persiapan pada ujung-ujung serat, penjajaran, dan menjaga serat supaya tetap dalam keadaan lurus.

2.4.1 Penyambungan Fusi

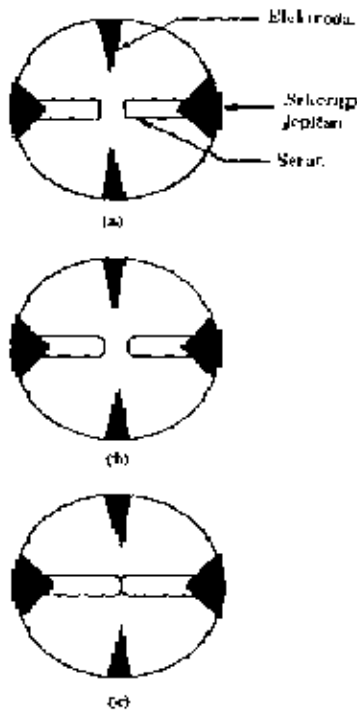
Kedua ujung serat optik yang akan disambung dipotong, dan dibersihkan dengan pembersih ultrasonik. Ujung-ujung serat didekatkan satu sama lain, tetapi tidak bersinggungan. Kemudian busur listrik diaktifkan untuk melelehkan salah satu ujung serat, untuk memperoleh ujung yang halus dan bulat. Ujung serat yang lain mengalami perlakuan yang sama. Untuk melihat dengan jelas proses ini digunakan mikroskop, seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 5.

Kedua ujung serat kemudian ditempelkan satu sama lain, dan busur listrik tetap digunakan selama beberapa detik untuk melelehkan kedua ujung tersebut, dan menyebabkan terjadinya fusi. Mesin penyambung fusi yang lama dan lebih murah, memerlukan pelurusan serat dan pengaturan busur secara manual. Pada mesin-mesin yang lebih modern, sinar dimasukkan ke dalam salah satu serat dan menggunakan suatu umpan balik optik untuk meluruskan kedua serat secara otomatis sehingga transmisi cahayanya maksimum dengan meminimalkan rugi-rugi sambungan.

Kecermatan yang diperlukan dalam penjajaran ujung-ujung serat optik mode tunggal lebih tinggi daripada penyambungan serat optik mode

jamak, karena diameter inti seratnya jauh lebih kecil (sekitar $8\ \mu\text{m}$ sampai $10\ \mu\text{m}$, sedangkan untuk serat optik mode jamak sekitar $50\ \mu\text{m}$). Berdasarkan salah satu metode, kedua serat yang akan disambung didekatkan sampai berjarak beberapa mikrometer pada posisi lurus. Kemudian cahaya dimasukkan ke dalam salah satu serat dengan membengkokkan dan memasukkan sinyal optik dengan daya sekitar $-35\ \text{dBm}$ ke dalam inti serat. Daya ini diukur lagi dengan membengkokkan serat yang lain, dengan menggunakan foto detektor (*photodetector*).

Serat digeser-geser satu dengan yang lain sampai diperoleh posisi dimana sinyal optik yang diterima paling besar. Kelemahan utama metode ini adalah serat harus dibengkokkan dengan jari-jari yang sangat kecil (kurang dari $10\ \text{mm}$), agar cahaya dapat dimasukkan dan dapat keluar dari serat.

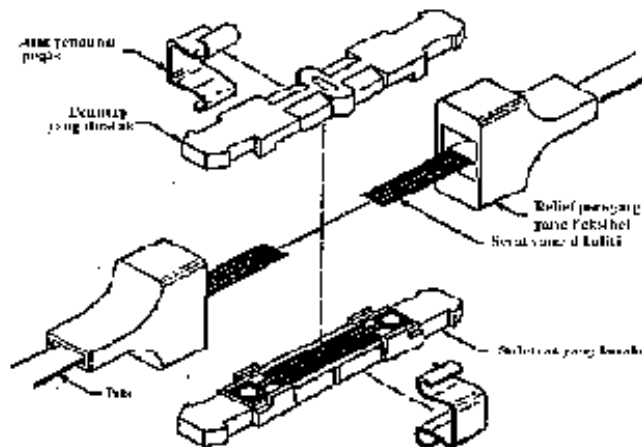


Gambar 5. Langkah-langkah penyambungan serat.

- (a) Posisi serat sebelum proses fusi awal.
- (b) Keadaan serat sesudah fusi awal.
- (c) Posisi serat sebelum fusi.

2.4.2 Penyambungan Mekanik

Teknik penyambungan mekanik pada awalnya menggunakan cara pemotongan serat *score-and-break* untuk memperoleh ujung yang bersudut 90^0 . Gambar 6 menunjukkan penyambungan mekanik pita, yaitu 24 ujung serat dari dua pita 12 serat yang telah dikikis dan dihaluskan secara serempak. Sebagian pita dibuang, dan serat-serat telanjang itu ditempatkan dalam bahan penahan yang bertakik. Suatu cairan (gel) ditempatkan di mana serat-serat itu saling bersambungan. Sambungan jenis ini dapat dilakukan dalam waktu 20 menit sampai 30 menit, yaitu waktu yang dibutuhkan untuk sepasang sambungan serat oleh teknik fusi. Penyambungan pita dapat dilakukan baik pada serat optik mode tunggal maupun serat optik mode jamak.



Gambar 6. Penyambungan mekanik pita

Permasalahan yang timbul dalam mencapai toleransi penyambungan yang sangat kecil agar dihasilkan kualitas sambungan yang baik, yaitu :

- a). rugi-rugi sambungan besar yang dapat diperoleh dari sambungan dua serat optik yang memiliki karakteristik pembuatan yang berbeda, dan
- b). rugi-rugi tambahan dalam proses penyambungan terjadi jika pergeseran antara kedua serat sehingga inti dari kedua serat tidak benar-benar lurus atau sejajar.

Rugi sambungan idealnya harus dijaga sampai 0,1 dB atau lebih kecil.

Sumber Cahaya

Sumber cahaya yang umum digunakan ada dua macam, yaitu :

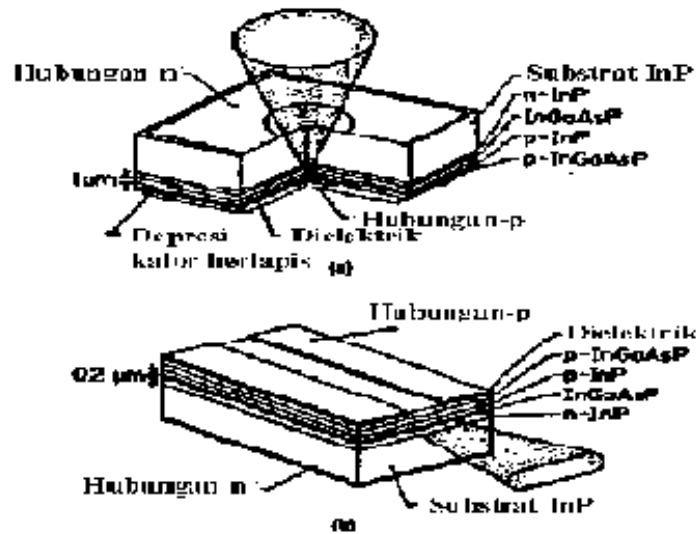
- a). dioda pancaran cahaya (*Light Emitting Diode*, LED), dan
- b). dioda laser (*Laser Diode*, LD).

Dioda Pancaran Cahaya (LED)

LED adalah suatu semikonduktor sambungan pn yang memancarkan cahaya jika diberi pasikap maju. Semikonduktor LED dapat digunakan dalam mode emisi pancaran muka (*surface-emitting mode*) atau mode emisi pancaran samping (*edge-emitting mode*), yang tergantung pada spesifikasi pabrik pembuatnya, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 7. Jenis pancaran muka mempunyai stabilitas suhu yang baik dan harganya murah. Efisiensi gandengan (*coupling efficiency*) ke dalam serat dibatasi oleh daerah aktif yang lebar (*wide active area*). Daya cahaya yang tersambung ke dalam serat biasanya lebih kecil dari 100 μW untuk serat optik mode jamak dan beberapa mikrowatt untuk serat optik mode tunggal. Daya keluaran cahaya adalah inkoheren, yaitu melebihi lebar spektrum kira-kira 40 nm. Pesat atau laju bit operasional terbatas sampai beberapa ratus megabit per detik oleh kapasitansi parasitik yang ditimbulkan pada LED.

LED pancaran samping memiliki unjuk kerja yang lebih baik dibandingkan dengan LED pancaran muka. Strukturnya dapat

mencapai efisiensi gandengan yang tinggi ke dalam serat optik mode tunggal dan lapisan aktif yang lebih sempit dibandingkan dengan LED pancaran muka yang memiliki kapasitansi kecil, yang memperbolehkan pesat operasi bit lebih tinggi. Biaya rendah dan karakteristik temperatur yang dapat diperbaiki pada LED pancaran samping jika dibandingkan dengan LD, mendorong banyak penelitian untuk memperbaiki LED pancaran samping, sehingga dapat digunakan untuk jalur antar sambungan (*interjunction*).



Gambar 7. Struktur dan mode emisi pancaran diode.

(a) Jenis Pancaran Muka. (b) Jenis Pancaran Samping.

Untuk mencapai jarak transmisi yang baik (lebih dari 10 km) pada pesat bit yang tinggi (lebih dari 565 Mb/s), maka LED harus digunakan pada serat mode tunggal dan pada panjang gelombang

dengan dispersi nol. Pengoperasian serat optik mode jamak mengurangi hasil kali pesat bit dengan jarak.

LED mempunyai keuntungan jika dibandingkan dengan LD, yaitu sebagai berikut :

- a). reliabilitas yang lebih tinggi,
- b). rangkaian *drive* yang lebih sederhana,
- c). sensitivitas suhu yang lebih rendah,
- d). immunitas untuk memantulkan cahaya, dan
- e). harga yang murah.

Karakteristik ini membuat LED cocok untuk aplikasi jarak pendek sampai menengah. Dan sangat menarik untuk LAN dan jaringan pelanggan, dimana segi ekonomis merupakan faktor yang sangat penting.

2.5.2 Dioda Laser (LD)

Perkembangan LD saat ini dipusatkan untuk kemampuan telekomunikasi optik jarak jauh. Saat rapat arus dari daerah aktif dioda mencapai tingkat tertentu, perolehan (*gain*) optik melebihi rugi-rugi kanal dan emisi cahaya berubah dari spontan menjadi simultan (pemancaran sinar laser). Arus ambang pada laser semikonduktor heterostruktur ganda cukup rendah, dari 50 mA sampai 150 mA.

Jika dibandingkan dengan LED, LD mempunyai beberapa keuntungan yang penting, yaitu sebagai berikut :

- a). daya keluaran yang tinggi,
- b). efisiensi gandengan (*coupling*) yang tinggi,
- c). lebar bidang (*bandwidth*) yang lebar, dan
- d). spektrum yang sempit.

Detektor Cahaya

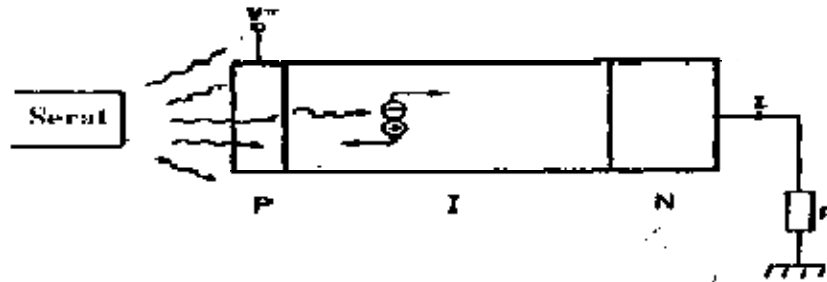
Cahaya yang timbul pada akhir saluran serat optik harus dideteksi dan diubah menjadi pulsa-pulsa elektronik untuk pemrosesan lebih lanjut sehingga informasi yang dikirim dapat diterima. Ada dua tipe pendeteksi (*detector*), yaitu :

- a). fotodiode PIN (*Positive Intrinsic Negative, PIN*), dan
- b). fotodiode guguran (*Avalanche Photodiode, APD*).

2.6.1 Fotodiode PIN

Fotodiode PIN merupakan jenis yang paling banyak digunakan dalam sistem komunikasi serat optik. Silikon dan germanium digunakan pada awal pemakaian fotodiode PIN dan kedudukannya digantikan oleh semikonduktor III-V. Seperti yang diilustrasikan pada Gambar 8. Perangkat tersebut secara dasar merupakan sambungan pn dengan daerah penggalang intrinsik yang disebut lapisan penipisan. Ketika cahaya dari serat optik timbul pada daerah p diode yang mendapat bias balik, pasangan lubang elektron dibangkitkan pada daerah penipisan.

Medan elektrik menyebabkan elektron dan lubang (*hole*) bergerak pada arah yang berlawanan dan menghasilkan arus yang kecil. Ukuran dan lapisan penipisan dapat dipilih sehingga perangkat tersebut mempunyai sensitivitas yang tinggi dan waktu timbul yang pendek (pada frekuensi tinggi). Jika ketebalan lapisan penipisan bertambah, sensitivitas bertambah sehingga mempunyai kemampuan penyerapan foton yang lebih besar. Hal ini akan menyebabkan waktu angkut pembawa pengisian bertambah sehingga mengurangi frekuensi kerja.



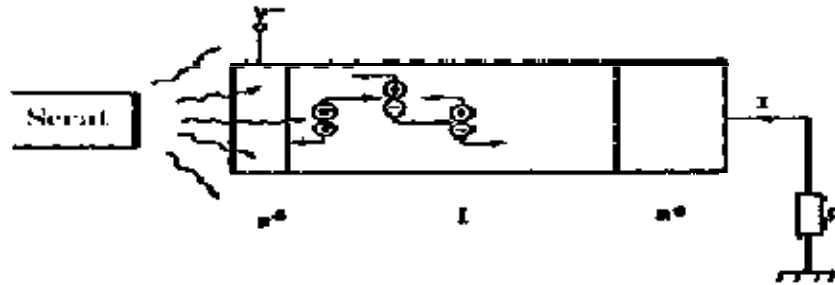
Gambar 8 Fotodiode PIN.

2.6.2 Fotodiode Guguran (APD)

Fotodiode guguran merupakan detektor sambungan semikonduktor yang memiliki perolehan dalam (*internal gain*). Dengan adanya perolehan dalam tersebut membuat fotodiode guguran memiliki ketanggapan yang lebih baik dari fotodiode PIN.

Prinsip kerja fotodiode guguran dapat dilihat secara sederhana pada Gambar 9, yang menunjukkan bahwa fotodiode guguran merupakan struktur diode semikonduktor yang mempunyai daerah terdadah p^+ , diikuti daerah yang tidak terdadah dan yang terakhir diikuti daerah yang terdadah n^+ .

Dioda dibias negatif dengan tegangan melebihi 100 V. Jika cahaya serat mengenai diode, pasangan-pasangan elektron dibangkitkan. Jika medan listrik yang timbul terlalu kuat, elektron-elektron bebas membangkitkan pasangan-pasangan lubang elektron (*electron-hole*) yang baru, proses penggandaan berikutnya menimbulkan efek guguran (*avalanche*). Untuk setiap foton yang timbul, pasangan-pasangan lubang elektron dapat dibangkitkan. Jika faktor penggandaan dipilih agar tidak terlalu tinggi. Nilai standar operasi faktor penggandaan untuk daerah rendah adalah 10 sampai 20 (10 dB sampai 13 dB) menggunakan bias balik dengan tegangan antara 10 V sampai lebih dari 100 V.



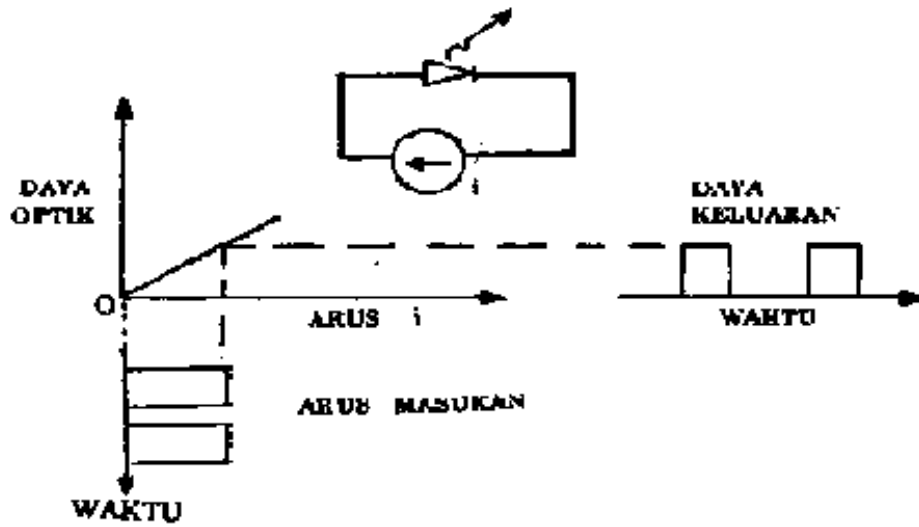
Gambar 9 Fotodiode guguran.

2.7 Teknik Modulasi

Pada perancangan sistem komunikasi serat optik, jenis modulasi sangat menentukan keandalan sistem tersebut. Oleh karena itu, berikut ini akan dibahas dua macam modulasi (analog dan digital) yang digunakan pada sistem komunikasi serat optik yang menggunakan LED dan LD.

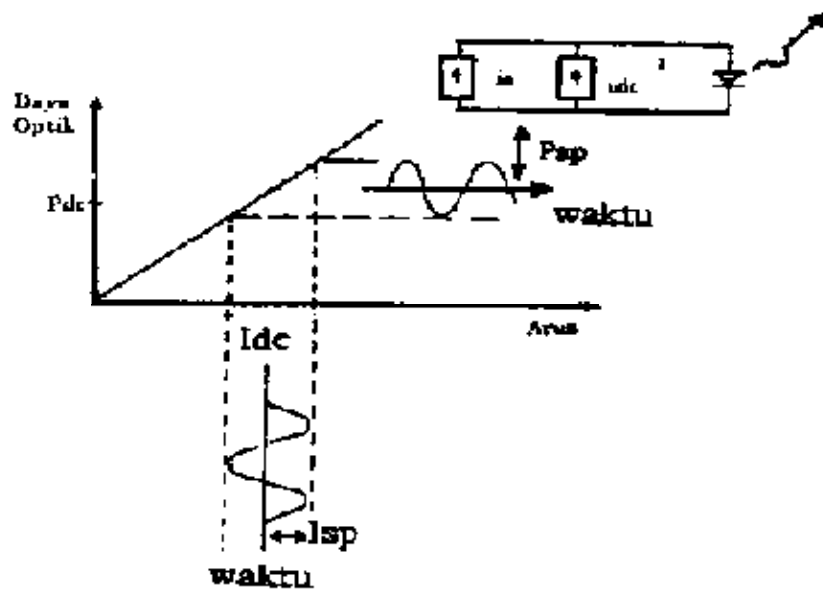
2.7.1 Modulasi LED

Modulasi LED secara digital dapat diperlihatkan secara sederhana pada Gambar 10. LED dimodulasi dengan suatu sumber arus yang secara sederhana menyala-padamkan LED sesuai dengan bit-bit isyarat masukan.



Gambar 10 Modulasi LED digital

Sedangkan, modulasi LED secara analog diperlihatkan sederhana pada Gambar 11. Pada modulasi LED secara analog diperlukan suatu arus prasikap DC agar arus totalnya selalu berarah maju. Tanpa arus DC tersebut, ayunan negatif arus isyarat akan memberi dioda prasikap balik yang membuatnya padam.



Gambar 11 Modulasi LED analog

Arus total pada modulasi analog adalah :

$$i = I_{dc} + I_{sp} \sin \omega t \quad (7)$$

dan daya yang dihasilkan oleh LED sebagai akibat arus I adalah :

$$P = P_{dc} + P_{sp} \sin \omega t \quad (8)$$

dengan $P_{sp} =$ Daya isyarat puncak (Watt)
 $P_{dc} =$ Daya optik keluaran rerata (Watt)
 $I_{sp} =$ Arus isyarat puncak (mA)
 $I_{dc} =$ Arus prasikap (mA)

Pada frekuensi modulasi yang rendah maka :

$$P_{sp} = a_1 \cdot I_{sp}$$

(9)

dimana $a_1 =$ gradien kurva daya-arus ($a_1 = \Delta P / \Delta i$)

Pada frekuensi modulasi yang lebih tinggi, kapasitansi sambungan dan kapasitansi parasit menghubungkan-pendek arus yang berubah cepat, sehingga mengurangi daya AC. Pembatas utama frekuensi modulasi yang tinggi adalah umur pembawa (*carrier lifetime*, τ), yaitu waktu rerata yang diperlukan muatan untuk berekombinasi. Arus pemodulasi harus berubah lebih lambat dibanding τ .

Tanggapan LED terhadap isyarat listrik berfrekuensi radian ω dengan memperhitungkan pengaruh umur pembawa adalah :

$$P_{sp} = \frac{a_1 \cdot I_{sp}}{\sqrt{1 + \omega^2 \cdot \tau^2}}$$

(10)

Daya elektrik yang dihasilkan oleh penerima sebanding dengan kuadrat arus, maka daya elektrik akan menyusut sebesar $0,707^2 = 0,5$ atau turun 3 dB. Dalam satuan Hz, lebar bidang 3 dB adalah :

$$f_{3-dB} = \frac{1}{2\pi\tau}$$

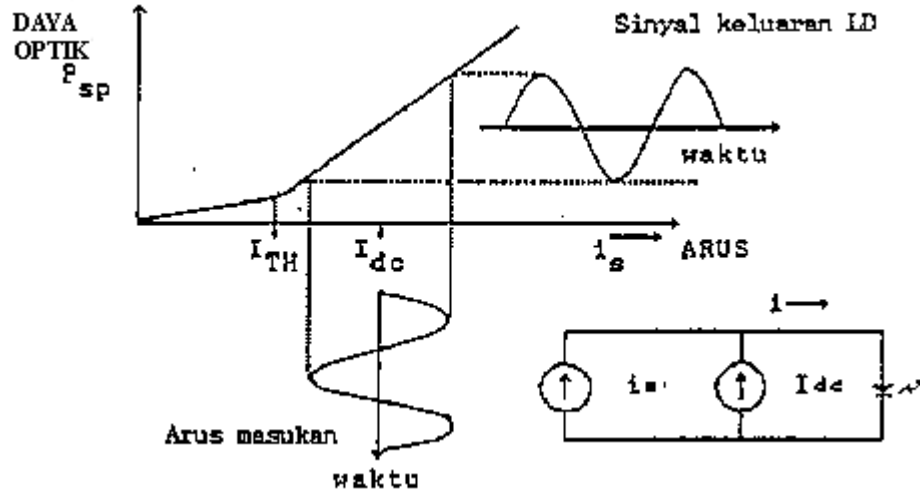
(11)

Nilai ini biasanya berkisar 1 - 100 MHz.

2.7.2 Modulasi LD

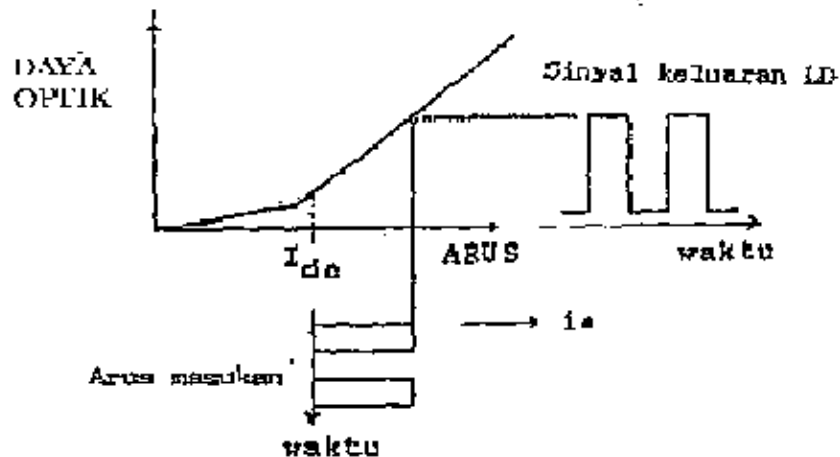
LD mempunyai arus ambang (*threshold current*, I_{TH}) sekitar 30 mA – 250 mA, pada tegangan ambang 1,2 V – 2 V. Setelah melewati daerah ini, arus maju akan bertambah secara cepat dengan naiknya tegangan.

Modulasi LD analog ditunjukkan pada Gambar 12. Pada modulasi LD analog, arus prasikap DC dicatu dengan nilai ambangnya, sehingga berada dalam daerah linearnya. LD mempunyai arus ambang 75 mA dan memerlukan arus prasikap 25 mA di atas arus ambangnya, sehingga arus DC total sebesar 100 mA.



Gambar 12 Modulasi LD analog.

Sedangkan, pada modulasi LD digital seperti yang diperlihatkan oleh Gambar 13, arus prasikap DC (I_{dc}) diberikan untuk mempertahankan daerah ambang pada saat arus isyarat (i_s) sama dengan nol. Nilai biner "1" dibangkitkan pada saat isyarat arus berupa pulsa positif.



Gambar 13 Modulasi LD digital.

2.8 Sistem Penjamakan

Dalam beberapa referensi sistem komunikasi serat optik, sering dijumpai sistem penjamakan yang digunakan pada sistem komunikasi serat optik, yaitu :

- penjamakan pembagian panjang gelombang (*Wavelength Division Multiplexing*, WDM), dan
- penjamakan pembagian frekuensi (*Frequency Division Multiplexing*, FDM).

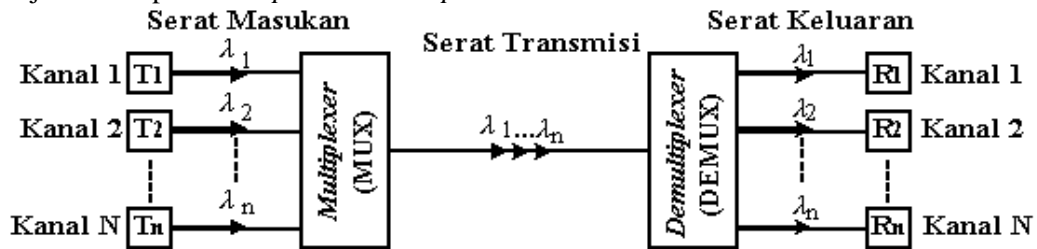
2.8.1 Penjamakan Pembagian Panjang Gelombang (WDM)

Beberapa cahaya dengan panjang gelombang yang berbeda-beda merambat tanpa mengganggu satu sama lain, sehingga beberapa kanal informasi (tiap kanal mempunyai perbedaan panjang gelombang) dapat dikirimkan secara serempak pada suatu serat optik mode tunggal (*single mode optical fiber*). Hal ini disebut sebagai penjamakan pembagian panjang gelombang (*Wavelength Division Multiplexing*, WDM). WDM meningkatkan kapasitas informasi dari sebuah serat optik. Batas kapasitas diterapkan ke informasi terbawa pada banyak panjang gelombang.

Peningkatan jumlah pembawa menyebabkan pula peningkatan kapasitas secara sebanding.

Gambar 14 memperlihatkan sistem kanal N pada WDM. Agar lebih sederhana, jaringan ini digambar dalam satu arah transmisi. Penggunaan untuk transmisi dua arah memerlukan piranti pemisah panjang gelombang yang dua arah juga. Pada pengoperasian dua arah, pengganggeng pengarah harus diikutsertakan pada tiap-tiap stasiun untuk memisahkan gelombang yang akan dikirim atau diterima.

Sebuah *multiplexer* (MUX) optik menggandeng cahaya dari sumber tersendiri ke serat pengiriman, seperti yang diperlihatkan pada Gambar 14. Pada stasiun penerima (*receiver*) sebuah *demultiplexer* (DEMUX) optik memisahkan pembawa yang berbeda sebelum pendeteksian cahaya dari isyarat masing-masing. Pada umumnya, *multiplexer/demultiplexer* memiliki serat optik pada terminal masukan dan keluarannya. Hal ini juga memungkinkan untuk mengganti serat optik masukan pada *multiplexer* dengan sumber optik secara langsung pada sebuah piranti. Demikian pula pada *demultiplexer*, detektor cahaya (*light detector*) dapat disambungkan ke serat pada terminal keluaran. Meskipun banyak piranti yang memiliki unjuk kerja sama seperti *multiplexer/demultiplexer*.



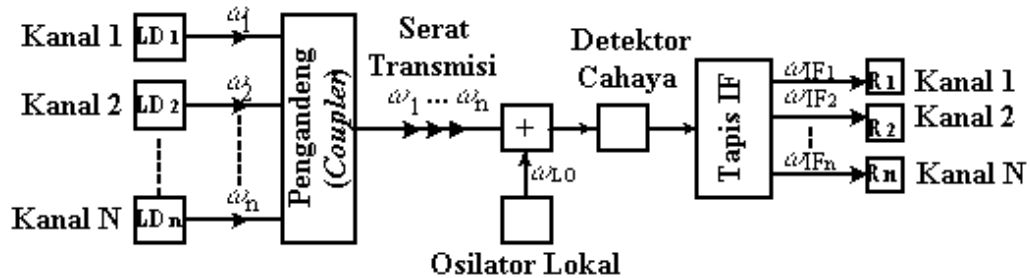
Gambar 14 Penjamakan WDM

2.8.2 Penjamakan pembagian frekuensi (FDM)

Beberapa pesan dapat dikirimkan serempak sepanjang serat optik dengan penjamakan pembagian frekuensi (*Frequency Division Multiplexing*, FDM) yang digabung bersama pendeteksian *heterodyne*. Pada Gambar 15, N buah laser yang identik ditala dengan mengatur suhu kerjanya sehingga memancarkan frekuensi yang berbeda-beda, misalnya : $\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_N$. LD

dimodulasi dengan pesan yang diinginkan. Keluaran tiap-tiap LD digandengkan ke serat optik dan selanjutnya ke serat transmisi. Di sisi penerima, cahaya dari osilator lokal tunggal dicampur dengan masing-masing cahaya terkirim, menghasilkan frekuensi menengah (*Intermediate Frequency*, IF) yang berbeda untuk setiap kanal. Frekuensi IF, ω_{IF1} , ω_{IF2} , ..., ω_{IFn} , secara elektronik dipilih oleh tapis. Kecepatan detektor cahaya dan untai penerimaan menentukan nilai maksimum IF.

Osilator lokal tertala menggantikan osilator tunggal. Dalam penambahannya, hanya satu tapis IF yang dibutuhkan. Kanal yang diberikan akan dideteksi ketika frekuensi pembawa optik berbeda dari frekuensi osilator lokal oleh sejumlah IF. Pada keadaan ini, seluruh kanal lainnya akan menghasilkan IF sisi luar pada lebar bidang tapis IF. Untuk menerima kanal yang berbeda, stasiun dapat menala tapis sesuai kanal yang terkirim.



Gambar 15 Penjamakan FDM

3. Penutup

FDM dan WDM memisahkan sumber optik dari tiap kanal. FDM menggunakan sistem pendeteksian heterodyne, dimana sistem FDM memisahkannya secara elektronik (setelah pendeteksian cahaya). Sedangkan pada WDM menggunakan sistem pendeteksian langsung, dimana sistem WDM memilih kanal dalam kawasan optik (sebelum pendeteksian cahaya).

Pemisahan secara elektrik pada frekuensi radio jauh lebih selektif daripada pemisahan secara optik, jadi kanal yang berdekatan dapat didekatkan bersama dalam sistem FDM tidak seperti pada sistem WDM.

Daftar Pustaka

- Gerd, Keiser, 1991, *Optical Fiber Communications*, 2nd Edition, McGraw-Hill, Singapore.
- Harry, J., R., Dutton, 1998, *Understanding Optical Communications*, Prentice-Hall, Inc., 200 – 207.
- Joseph, C., Palais, 1992, *Fiber Optic Communications*, 3rd Edition, Prentice Hall, Upper Saddle River, New Jersey.
- Thomas, Sri, Widodo, 1995, *Optoelektronika Komunikasi Serat Optik*, Cetakan Pertama, Andi Offset, Yogyakarta.
- Winch, R. G., 1993, *Telecommunication Transmission System : microwave, fiber optic, mobile cellular radio, data, and digital multiplexing*, McGraw-Hill, Inc., Singapore, 295 – 353.