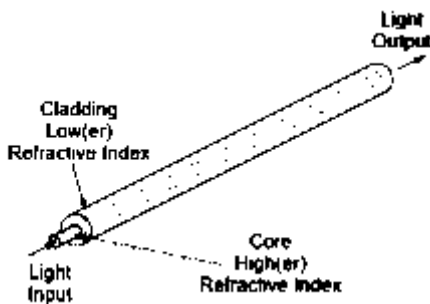


BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Karakteristik Transmisi Serat Optik

Serat optik merupakan salah satu media transmisi yang dapat menyalurkan informasi dengan kapasitas besar dengan kehandalan yang tinggi. Serat optik terbuat dari kaca atau plastik yang halus dan lebih kecil dari sehelai rambut. Bentuk paling sederhana yang menyusun serat optik yaitu inti (*core*) silinder dari kaca silica yang dikelilingi selubung dengan indeks bias yang lebih rendah dibandingkan inti (Agrawal,2002). Struktur serat optik dapat dilihat pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1 Struktur dasar serat optik
Sumber: Agrawal (2002).

Pada dasarnya, selubung tidak diperlukan dalam perambatan cahaya di sepanjang inti dari serat optik, tetapi memiliki beberapa manfaat. Selubung mengurangi rugi hamburan yang dihasilkan dari diskontinuitas dielektrik pada permukaan inti, menambah kekuatan mekanis pada serat optik, dan melindungi inti dari penyerapan kontaminasi yang ada pada permukaan. Indeks bias merupakan perbandingan kecepatan cahaya pada ruang hampa udara dengan kecepatan cahaya pada bahan. Kecepatan cahaya pada ruang hampa udara adalah 3×10^8 m/s. Makin tinggi indeks bias, makin lambat cahaya yang melewati bahan. Nilai indeks bias yang dapat ditentukan menggunakan persamaan (1) :

$$n = \frac{c}{v} \dots\dots\dots (2-1)$$

Dengan :

n = indeks bias material

c = kecepatan cahaya di ruang hampa (m/s)

v = kecepatan cahaya pada suatu material (m/s)

Kebanyakan sistem gelombang cahaya menggunakan serat optik sebagai saluran komunikasinya karena serat silica dapat mentransmisikan cahaya dengan *losses* hanya 0,2 dB/km. bahkan daya optik berkurang hanya 1% setelah 100 km . Permasalahan penting pada sistem komunikasi serat optik adalah *disperse* yang menyebabkan pelebaran pada masing-masing pulsa optik di sepanjang perambatan. Apabila pulsa optik menyebar secara signifikan di luar slot bit yang dialokasikan, sinyal transmisi akan sangat rusak sehingga tidak mungkin dikembalikan menjadi sinyal aslinya dengan akurasi yang tinggi. Masalah ini sangat parah pada kasus serat optik *multimode*, dimana pulsa menyebar dengan cepat (biasanya pada *rate*~10ns/km) dikarenakan perbedaan kecepatan berkaitan dengan perbedaan mode serat. Oleh karena itu, kebanyakan sistem komunikasi serat optik menggunakan serat optik *single mode* (Agrawal, 2002).

2.1.1 Definisi Serat Optik *Single mode*

Serat optik *single mode* adalah serat optik dengan inti (core) yang sangat kecil (biasanya sekitar 8,3 μm), diameter intinya sangat sempit mendekati panjang gelombang sehingga cahaya yang masuk ke dalamnya tidak terpantul-pantul pada *cladding*. Bagian inti serat optik *single mode* terbuat dari bahan kaca silica dengan sejumlah kecil kaca Germania untuk meningkatkan indeks biasnya. Untuk mendapatkan performa yang baik pada kabel ini, biasanya untuk ukuran *cladding* adalah sekitar 15 kali dari ukuran inti yaitu sekitar 125 μm . sehingga memungkinkan kecepatan yang sangat tinggi dari jarak yang sangat jauh. Jenis fiber yang direkomendasikan oleh ITU-T (*International Telecommunication Union*) adalah G.650 – G.659 (Keiser, Gerd 2000).

2.2 *Wavelength Division Multiplexing (WDM)*

Dalam komunikasi jaringan optik, *Wavelength Division Multiplexing (WDM)* adalah teknologi yang digunakan untuk menggabungkan beberapa *optical* sinyal *carrier* kedalam satu serat optik dengan menggunakan berbagai panjang gelombang dari cahaya/ laser. Teknik ini mengizinkan komunikasi melalui satu fisik serat dengan kapasitas yang besar.

Pada sistem WDM menggunakan sebuah *multiplexer* di *transmitter* untuk menggabungkan sinyal, dan sebuah *demultiplexer* di *receiver* untuk memisahkan kembali sinyal yang telah digabungkan. Sistem WDM memang sesuai untuk digunakan pada perusahaan telekomunikasi, karena mereka dapat mengembangkan kapasitas dari jaringan tanpa menambah serat.

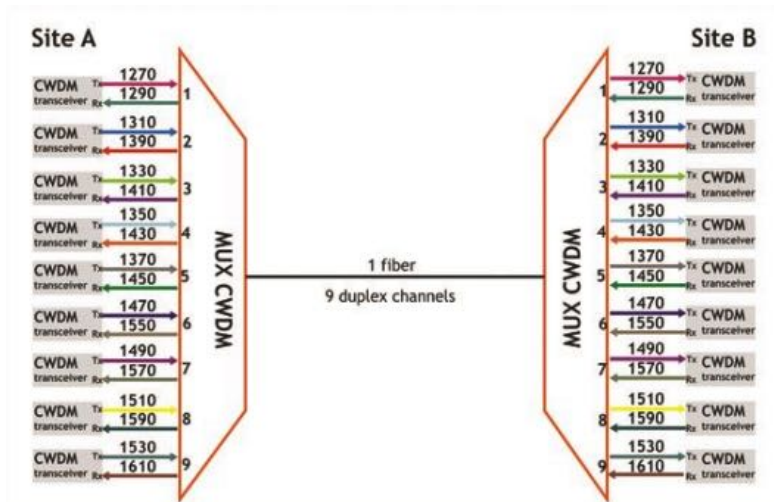
Kebanyakan dari sistem WDM beroperasi dalam *mode single-mode fiber cables*, yang memiliki diameter inti 9 μm . mode lain adalah *multi-mode fiber cables* (juga dikenal dengan

premises cables) yang memiliki diameter inti 50 atau 62,5 μm . WDM pada awalnya mahal dan sulit untuk dijalankan. Bagaimanapun, pembaharuan standarisasi dan dengan pemahaman yang lebih baik dari sistem WDM membuat WDM menjadi lebih murah untuk dijalankan. Sistem WDM dibagi menjadi beberapa pola panjang gelombang, *Coarse Wavelength Division Multiplexing* (CWDM) dan *Dense Wavelength Division Multiplexing* (DWDM). (Gilang Andhika,2006)

2.2.1 Coarse Wavelength Division Multiplexing (CWDM)

Coarse Wavelength Division Multiplexing (CWDM) adalah salah satu *multiplexer* yang terdapat pada jaringan komunikasi optik. Salah satu arti dari coarse WDM adalah dua (atau kemungkinan lebih) sinyal dimultipleks-kan menjadi satu serat. CWDM dapat digunakan pada serat ragam jamak dan juga serat ragam tunggal. CWDM memiliki jarak tempuh yang pendek dibandingkan dengan *multiplexer* lain, oleh sebab itu CWDM sesuai untuk wilayah yang memiliki rapat pelanggan, contoh perkotaan. Walaupun, tidak memiliki jarak tempuh yang jauh CWDM lebih murah dalam hal pengoperasian dan juga tetap efisien dalam hal komunikasi data. Jumlah channel yang dapat ditangani CWDM memang tidak sebanyak DWDM, Namun tetap lebih banyak dibandingkan dengan konvensional WDM (A.K. Putri, 2016)

Sistem CWDM memiliki *channel* pada spasi panjang gelombang 20nm, dibandingkan dengan DWDM yang mencapai 0,4 nm. CWDM memberikan biaya yang lebih murah rendah untuk mengoperasikannya. Energi dari laser yang dipancarkan oleh sistem CWDM, tersebar ke area yang lebih luas pada panjang gelombang dibandingkan dengan energi pada laser di sistem DWDM. Toleransi pada laser CWDM kurang lebih 3 nm, oleh karena itu presisi laser yang rendah sistem CWDM lebih murah dan mengkonsumsi lebih sedikit daya dibandingkan dengan DWDM. Sistem CWDM tidak dapat menempuh jarak yang jauh karena panjang gelombangnya tidak dapat dikuatkan (A.K.Putri,2016). Pembagian alokasi panjang gelombang pada CWDM dapat dilihat pada gambar 2.2



Gambar 2.2 Panjang Gelombang CWDM

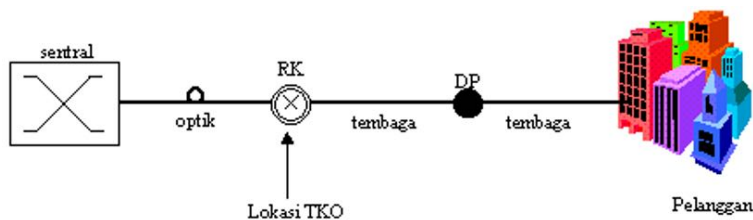
Sumber: www.fs.com.

2.3 Jaringan Lokal Akses Fiber

Dari perbedaan tata letak TKO (Titik Konversi Sinyal Optik) menimbulkan modus aplikasi atau konfigurasi yang berbeda, yaitu :

1. FTTZ (*Fiber To The Zone*)

Pada sistem ini TKO ditempatkan disuatu tempat di luar bangunan, di dalam cabinet dengan kapasitas yang besar. Terminal pelanggan dihubungkan ke TKO dengan menggunakan kabel tembaga hingga beberapa kilometer. FTTZ dapat dianalogikan sebagai pengganti rumah kabel. Pada umumnya FTTZ digunakan pada daerah perumahan yang jauh dari sentral atau bila infrastruktur pada daerah tersebut sudah tidak memungkinkan lagi untuk ditambah dengan kabel tembaga. Konfigurasi *Fiber To The Zone* dapat dilihat pada gambar 2.3.



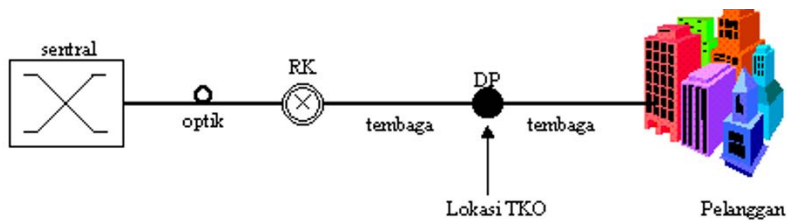
Gambar 2.3 Konfigurasi *Fiber To The Zone*

Sumber : Elektro Indonesia

2. FTTC (*Fiber To The Curb*)

Pada sistem ini TKO ditempatkan di luar bangunan, dalam cabinet dan di atas tiang dengan kapasitas lebih kecil daripada FTTZ. Terminal pelanggan dihubungkan ke TKO dengan menggunakan kabel tembaga hingga beberapa ratus meter saja. FTTC di

analogikan sebagai Distribution Point. Konfigurasi *Fiber To The Curb* dapat dilihat pada gambar 2.4.

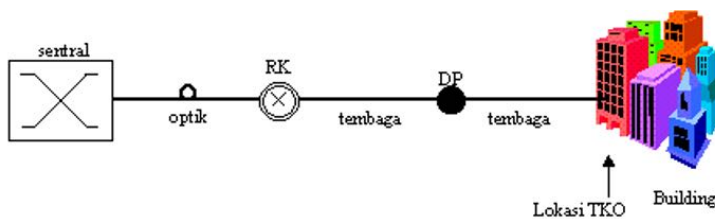


Gambar 2.4 Konfigurasi Fiber To The Curb

Sumber : Elektro Indonesia

3. FTTB (*Fiber To The Building*)

Pada sistem FTTB TKO terletak di ddalam gedung dan biasanya terletak ada ruang telekomunikasi di basement atau juga diletakkan pada beberapa lantai di gedung tersebut. Terminal pelanggan dihubungkan ke TKO dengan menggunakan kabel indoor. FTTB dapat diterapkan pada pelanggan bisnis di gedung bertingkat atau bagi pelanggan perumahan apartemen. Konfigurasi *Fiber To The Building* dapat dilihat pada gambar 2.5.

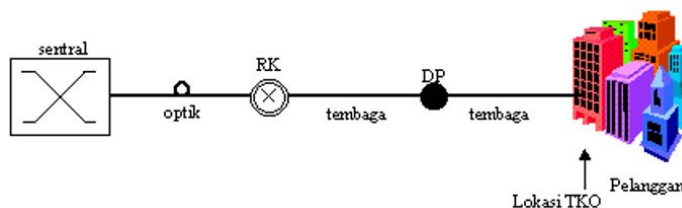


Gambar 2.5 Konfigurasi Fiber To The Building

Sumber : Elektro Indonesia

4. FTTH (*Fiber To The Home*)

Pada sistem ini TKO di tempatkan di dalam rumah pelanggan dihubungkan ke TKO melalu kabel tembaga (indoor) hingga beberapa puluh meter saja. FTTH dapat dianalogkan sebagai pengganti KTB (Kotak Terminal Batas). Konfigurasi *Fiber To The Home* dapat dilihat pada gambar 2.6.

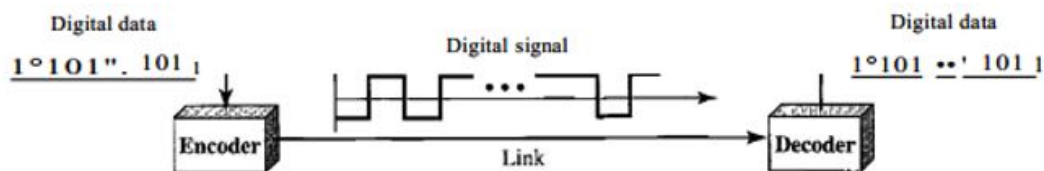


Gambar 2.6 Konfigurasi Fiber To The Building

Sumber : Elektro Indonesia

2.4 Line coding

Line coding adalah proses konversi data digital menjadi sinyal digital. *Line coding* mengkonversi urutan bit menjadi sinyal digital. Gambar 2.7 menunjukkan proses *line coding*. Pada sisi pengirim, data digital dikodekan menjadi sinyal digital. Sedangkan pada sisi penerima, data digital dibuat ulang dengan mengembalikan ulang kode dari sinyal digital (Forouzan, B.A,2007). Pada *line coding* selalu diamsusikan bahwa data yang berupa teks, gambar, suara, video telah tersimpan dalam memori *computer* sebagai deretan bit. Pada sisi penerima, harus dilakukan proses sebaliknya yaitu konversi dari sinyal digital menjadi data digital.

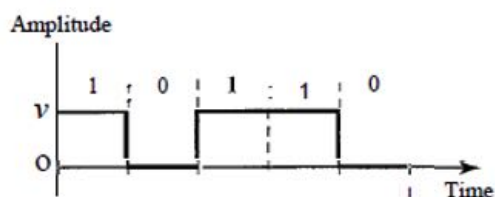


Gambar 2.7 Line coding
Sumber: Forouzan (2007).

2.4.1 Non Return to Zero (NRZ)

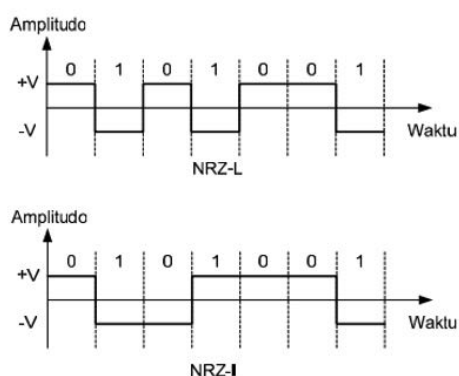
Pada umumnya, untuk mengirimkan sinyal digital adalah dengan menggunakan daya level tegangan untuk dua digit biner. Dengan kata lain tegangan negative mewakili satu nilai biner dan level tegangan positif mewakili biner yang lainnya. Pengkodean data digital menjadi sinyal digital yang paling sederhana adalah *non return to zero* (NRZ). NRZ juga disebut sebagai pengkodean digital unipolar karena sinyal yang dibangkitkan hanya menggunakan tegangan positif atau negatif saja.

Gambar 2.8 menunjukkan skema unipolar pada NRZ. Pada skema unipolar, semua level sinyal berada pada satu sisi sumbu waktu, baik di atas maupun dibawah. Secara umum, skema unipolar didesain sebagaimana skema NRZ tegangan positif menunjukan bit 1 dan tegangan nol menunjukan bit 0. Format ini disebut NRZ karena sinyal tidak kembali ke nol pada pertengahan bit ditengah-tengah bit.



Gambar 2.8 Skema NRZ unipolar
Sumber : Forouzan (2007).

Dibandingkan dengan pasangan polarnya, skema ini sangat mahal. Seperti yang terlihat, daya yang ternormalisasikan lebih besar dua kali lipat daripada polar NRZ. Pada skema polar, tegangan berada pada dua sisi sumbu waktu. Sebagai contoh, level tegangan untuk 0 adalah positif dan level tegangan untuk 1 adalah negatif. Pada *encoding* NRZ polar digunakan dua level *amplitude* tegangan. Ada dua versi NRZ polar yaitu NRZ-L dan NRZ-I seperti yang terlihat pada gambar 2.9. pada variasi pertama, NRZ-L (NRZ-Level), level tegangan menentukan nilai dari bit. Pada variasi kedua, NRZ-I (NRZ-Invert), perubahan level tegangan menentukan nilai dari bit. Apabila tidak ada perubahan, bit-nya 0, sedangkan apabila ada perubahan maka bit-nya 1.



Gambar 2.9 Skema NRZ polar
Sumber : Forouzan (2007).

2.4.2 Return to Zero (RZ)

Pada format pengkodean RZ, transmisi level sinyal timbul selama beberapa atau semua periode bit yang mengandung *timing* informasi. Pada unipolar RZ, bit “1” dipresentasikan oleh setengah periode bit pertama atau kedua. Tetapi karena RZ menggunakan 2 sinyal elemen untuk merepresentasikan sebuah elemen data, hal ini berakibat pada kenaikan *bandwidth* sebanyak dua kali lipat dibandingkan dengan *bandwidth* yang digunakan oleh NRZ. Bit “0” direpresentasikan pada saat tidak adanya sinyal yang masuk selama periode bit. Kekurangan format RZ unipolar adalah jika terlalu banyak bit “0” selama periode bit yang lama, maka akan menimbulkan rugi-rugi waktu sinkronisasi. Format data yang umum untuk mengatasi masalah ini adalah dengan menggunakan pengkodean *optical Manchester code*. Sinyal pengkodean ini didapatkan karena terdapat penambahan secara langsung pada sinyal *baseband* (NRZ-L) dan pada *clock* sinyal. Karena pengkodean ini termasuk pengkodean RZ, maka kode ini membutuhkan dua kali *bandwidth* NRZ dan juga tidak terdapat kemampuan koreksi dan deteksi *error* (Geird Keiser, 2010).

2.5 Sumber Optik

Ada dua jenis pemancar optik yang sering digunakan dalam sistem optik nirkabel yaitu *Light Emitting Diode* (LED) dan Semikonduktor Laser *Diode* (LD). LED merupakan pemancar large area yang memiliki standar *eye safety* yang lebih ringan dan relatif aman walaupun menggunakan daya pancar yang tinggi karena memiliki berkas pancar yang relatif luas. Kebanyakan LED modern sekarang menggunakan paduan GaAs dan AlGaAs. (Sigit & Martinus, 2006).

Laser *Diode* adalah teknologi yang berbasis pada teknik pembuatan LED dan memiliki prinsip yang sama dengan LED yaitu transisi *carrier* pada band gap untuk menghasilkan radiasi photon. LD menghasilkan pancaran photon yang dinamakan *stimulated emission* sehingga waktu tetap rekombinasi kira-kira lebih pendek satu sampai dua jarak orde daripada pancaran spontan yang terjadi pada LED. Hal ini memungkinkan LD beroperasi pada kecepatan pulsa dalam range GHz (10^9), sementara LED hanya terbatas pada rentang operasi MHz (10^6) saja. Pada umumnya perangkat sistem optik nirkabel luar ruangan menggunakan panjang gelombang 1550 nm dengan daya yang lebih besar daripada dalam rentang panjang gelombang 780-920 nm. (Steve Hrlanilovic, 2005).

Ada beberapa jenis laser yang biasa digunakan, diantaranya adalah sebagai berikut (Norizan,2008):

1. *Continuous Wave* (CW)

CW laser memiliki kemampuan untuk memancarkan sinyal optik secara terus menerus. Hal ini membuat perbedaan mendasar dalam konstruksi. Sehingga dalam pengoperasiannya, *output* dari laser relatif konsisten terhadap waktu.

2. *Vertical Cavity Surface Emitting Laser* (VCSEL)

Laser jenis ini hanya beroperasi pada panjang gelombang 850 nm dan sebagian besar adalah *multimode*. Biaya sangat rendah karena diproduksi dalam volume tinggi untuk aplikasi komunikasi data.

3. *Fabry-Perot Laser* (FP)

Laser ini biasa beroperasi pada panjang gelombang (1310 atau 1550 nm) dengan beberapa longitudinal *mode*. Biaya menengah antara VCSEL dan DFB.

4. *Distributed Feedback Laser* (DFB)

DFB mampu beroperasi pada panjang gelombang (1310 atau 1550 nm) dengan single longitudinal *mode*. Biaya lebih tinggi daripada VCSEL atau FP. Pada Bab ini akan dijelaskan lebih lanjut mengenai laser semikonduktor jenis CW Laser.

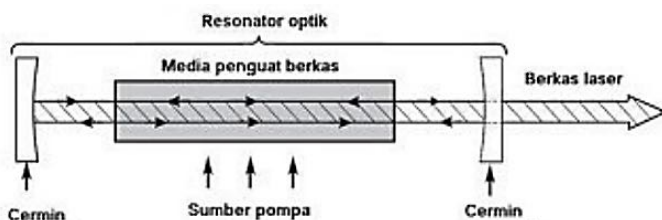
2.5.1 CW Laser

Sebuah gelombang terus menerus atau *Continuous Wave* (CW) adalah gelombang elektromagnetik yang memiliki amplitudo dan frekuensi yang konstan, durasi tak terbatas. Laser ini dibuat untuk memancarkan sinyal yang terus menerus (kontinyu). Dalam pengoperasiannya, output dari laser relatif konsisten terhadap waktu.

Sumber Optik yang digunakan yaitu *Continuous Wave* (CW) laser. CW laser dipilih karena memiliki daya keluaran yang lebih besar dan spektrum yang lebih kecil pada pola radiasi lebih kecil. Pada penelitian ini digunakan CW laser yang bekerja pada panjang gelombang 1550.12 nm dan 1558.98 yang sesuai dengan ITU *Channel for WDM*.

2.5.2 Prinsip Kerja Laser

Radiasi dari emisi terstimulasi merupakan proses yang dapat terjadi secara alami, yaitu jika seberkas cahaya melewati suatu bahan dan menstimulasi atom-atom di dalam bahan tersebut sehingga meradiasikan cahaya. Secara umum suatu laser terdiri dari media penguat berkas cahaya (gain medium), sumber energi pemompa (pumping source), dan resonator optik (optical resonator). Komponen dasar laser dapat dilihat pada gambar 2.10.



Gambar 2.10 Komponen Dasar Laser

Sumber: Perancangan

Media penguat adalah suatu bahan yang mempunyai sifat dapat meningkatkan intensitas cahaya dengan cara emisi terstimulasi. Sedangkan resonator optik, secara sederhana terdiri dari susunan cermin yang dipasang berhadapan sehingga berkas cahaya dapat bergerak bolak-balik. Salah satu cermin bersifat agak transparan, sehingga dapat berfungsi sebagai jalur keluar berkas laser (output coupler). Berkas cahaya yang melewati media penguat akan mengalami penguatan daya. Jika daerah sekelilingnya merupakan cermin, maka cahaya akan

bergerak bolak-balik dan melewati media penguat berkali-kali. Dengan demikian cahaya akan mengalami penguatan daya beberapa kali lipat. Setelah mengalami penguatan daya, cahaya dapat keluar melewati cermin yang bersifat agak transparan sebagai berkas laser.

Proses memasukkan energi sebagai syarat untuk terjadinya penguatan daya dinamakan dengan memompa (pumping). Energi yang dipompakan dapat berupa arus listrik atau berkas cahaya dengan panjang gelombang yang berbeda. Untuk pemompa energi dalam bentuk cahaya, dapat digunakan lampu flash atau laser semikonduktor. Selain komponen utama di atas, suatu perangkat laser biasanya dilengkapi dengan beberapa komponen pendukung untuk menghasilkan berkas laser yang tajam.

Bahan media penguat dapat berupa gas, cairan, padatan, atau plasma. Media penguat menyerap energi yang dipompakan dan mengakibatkan sejumlah elektron tereksitasi ke tingkat energi yang lebih tinggi. Partikel dapat berinteraksi dengan cahaya melalui cara mengabsorpsi atau mengemisikan foton. Emisi cahaya dapat terjadi secara spontan atau dengan cara stimulasi. Ketika jumlah elektron pada suatu tingkat eksitasi melebihi jumlah elektron pada tingkat energi di bawahnya, maka populasi inversi telah terjadi. Hal tersebut dapat mengakibatkan terjadinya emisi terstimulasi yang jumlahnya lebih besar daripada yang diabsorpsi. Dengan demikian cahaya mengalami penguatan. Jika media penguat ini ditempatkan di dalam resonator optik, maka penguatan cahaya dapat terjadi berkali-kali dan selanjutnya menghasilkan berkas laser.

2.6 Modulator Optik

Proses modulasi adalah suatu proses pengubahan sinyal-sinyal informasi ke dalam bentuk tertentu, sehingga dapat ditransmisikan ke tujuan. Modulasi optik atau modulasi cahaya adalah teknik modulasi yang menggunakan berkas cahaya berupa pulsa-pulsa cahaya sebagai sinyal pembawa. Berkas cahaya yang digunakan di sini adalah berkas cahaya yang dihasilkan oleh suatu sumber cahaya. Teknik modulasi optik mempunyai beberapa kelebihan dibandingkan teknik modulasi konvensional yang menggunakan sinyal elektrik sebagai sinyal pembawa informasi. Selain, ketahanannya terhadap derau yang sangat tinggi karena sinyal tidak dapat dipengaruhi oleh medan elektromagnetik, kecepatan pengiriman sinyal atau *bit rate* yang mencapai ratusan gigabit per detik juga menjadi keunggulan tersendiri.

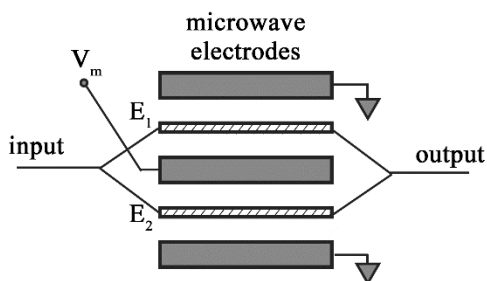
Berdasarkan tempat terjadinya modulasi cahaya, terdapat dua macam modulator optik yaitu modulator internal dan modulator eksternal. Modulator internal memodulasi cahaya di dalam perangkat sumber cahayanya, sedangkan modulator eksternal memodulasi cahaya di luar perangkat sumber cahayanya. Laser dan LED pada aplikasi sistem telekomunikasi menggunakan 2 metode untuk modulasi yaitu modulasi langsung dan modulasi eksternal.

Modulator eksternal memiliki karakteristik umum yaitu modulasi dan generasi cahaya dipisahkan, menawarkan bandwidth yang lebih luas hingga 60 GHz, lebih mahal dan kompleks, digunakan dalam sistem high end. Modulasi eksternal biasanya digunakan dalam aplikasi kecepatan tinggi seperti telekomunikasi jarak jauh. Kelebihan modulasi eksternal adalah jauh lebih cepat dan dapat digunakan dengan sumber daya laser yang lebih tinggi. Pada penelitian ini akan dibahas garis besar mengenai modulator eksternal *Mach Zehnder* dan *Electroabsorption*.

2.6.1 Mach Zehnder Modulator

Teknik modulasi merupakan proses pengubahan sinyal informasi dalam bentuk tertentu. Modulasi optik merupakan teknik modulasi yang menggunakan berkas cahaya sebagai sinyal pembawa, berkas cahaya yang digunakan yaitu keluaran dari sumber optik LED dan Laser. Teknik modulasi yang biasa digunakan dalam komunikasi serat optik yaitu *Mach Zehnder Modulator* (MZM). (Sary, 2012)

Modulator optik Mach Zehnder memanfaatkan bahan LiNbO₃ (lithium niobate) dan Mach-Zehnder (MZ) interferometer untuk modulasi intensitas. Dua titanium didifusikan ke pandu gelombang LiNbO₃ dari dua lengan interferometer MZ. Indeks bias bahan elektrooptik seperti LiNbO₃ dapat diubah dengan menerapkan tegangan eksternal. Dengan tidak adanya tegangan eksternal, bidang optik di dua lengan MZ akan berinterferensi secara konstruktif. Pergeseran fasa tambahan terjadi di salah satu lengan melalui perubahan indeks tegangan induksi yang menghilangkan sifat konstruktif dan mengurangi intensitas yang ditransmisikan. Secara spesifik, tidak ada cahaya ditransmisikan ketika perbedaan fasa antara kedua lengan sama dengan π , karena interferensi destruktif terjadi (Agrawal, 2002).



Gambar 2.11 Struktur Mach-Zehnder Modulation

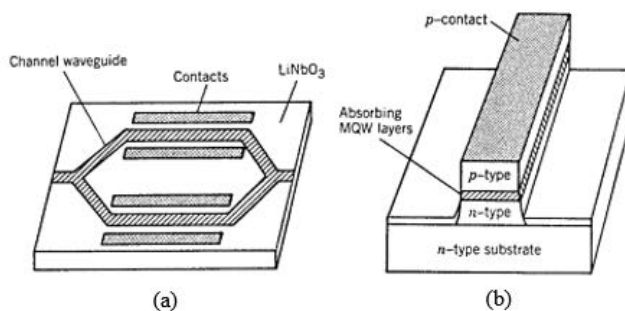
Sumber: Hodžić (2004).

Secara umum Modulator Mach-Zehnder terdapat dua bagian sistem modulasi yaitu modulasi fasa untuk menjelaskan efek elektro optik dan modulasi amplitudo untuk menjelaskan proses interferometer. Pada Gambar 2.11 ditampilkan sinyal pembawa (cahaya)

yang memasuki modulator dibagi menjadi dua jalur, satu jalur tidak diubah (unmodulated) dan satu jalur lainnya dimodulasi. Ketika cahaya tersebut direkombinasi kembali, dua gelombang tersebut saling mengganggu satu sama lain. Jika dua gelombang berada dalam fasa maka terjadi gangguan yang konstruktif dan output adalah ON. Jika keluar dari fasa maka akan terjadi interferensi destruktif dan gelombang akan saling membatalkan satu sama lain, maka output adalah OFF. Untuk lampu ON diwakili biner 1 dan untuk OFF cahaya diwakili biner 0. (Norizan,2008) Modulator ini digunakan untuk mendukung kinerja sistem komunikasi optik, dan bekerja berdasarkan prinsip perpaduan (interfering) dua berkas cahaya. Perpaduan dua berkas cahaya ini akan menghasilkan intensitas maksimum ataupun minimum, tergantung dari perbedaan fasa antara kedua berkas cahaya tersebut. (Mangiwa, 2012). Prinsip kerja Modulator Mach Zehnder ini, medan elektrik dari elektroda pemodulasi digunakan untuk mempengaruhi karakteristik pandu gelombang. Perubahan karakteristik ini selanjutnya akan mengubah mode perambatan berkas optik sehingga karakteristik berkas optik ikut berubah. Karena secara tidak langsung karakteristik berkas optik berubah sebagai akibat dari medan elektrik maka proses ini disebut efek elektro-optik. Bahan yang mempunyai sifat demikian disebut bahan elektro-optik.

2.6.2 *Electroabsorption Modulator*

Modulator *Electroabsorption* (EAM) adalah perangkat semikonduktor yang dapat digunakan untuk modulasi intensitas sinar laser melalui tegangan listrik. *Electro-Absorption Modulator* (EAM) merupakan modulator yang memiliki banyak keunggulan dibandingkan dengan modulator lainnya. EAM memiliki keunggulan yaitu modulasi berkecepatan tinggi, pengaturan dengan tegangan rendah, *extinction ratio* yang tinggi, dan mudah diintegrasikan dengan *device* lainnya. Kebanyakan EAM dibuat dalam bentuk *waveguide* dengan elektroda untuk menerapkan medan listrik dalam arah tegak lurus terhadap sinar termodulasi. *Electro-Absorption Modulator* (EAM) bekerja menggunakan prinsip dasar efek electroabsorption yaitu perubahan koefisien absorpsi berdasarkan pada perubahan medan listrik. Berikut Gambar modulator optik pada Gambar 2.12.



Gambar 2.12 (a) Konfigurasi modulator LiNbO₃ pada Mach–Zehnder; (b) Semikonduktor modulator berdasarkan *Electroabsorption*
 Sumber: Agawal (2002).

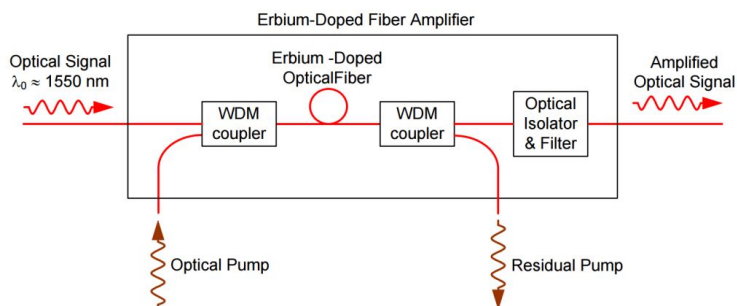
Pada EAM bulk semikonduktor, absorpsi disebabkan oleh Bergeraknya elektron ke energi yang lebih rendah seiring dengan bertambahnya medan listrik yang disebabkan oleh kombinasi dari absorpsi *band-to-band* dan proses *tunneling (Franz-Keldysh effect)*. Absorpsi terjadi pada material semikonduktor saat diaplikasikan medan listrik pada elektroda. Setelah diberikan tegangan pada elektroda, Energi band gap akan menurun sehingga material dapat menyerap gelombang cahaya tersebut.

EAM dapat beroperasi dengan tegangan jauh lebih rendah beberapa volt. EAM dapat dioperasikan pada kecepatan yang sangat tinggi, *bandwidth* modulasi puluhan gigahertz dapat dicapai dan membuat perangkat ini berguna untuk komunikasi serat optik. EAM didasarkan pada struktur semikonduktor dimana cahaya diserap bila tegangan diterapkan untuk semikonduktor. EAM sering dibuat dari bahan yang sama seperti laser semikonduktor. Modulator ini beroperasi di *reverse bias*, sehingga konsumsi daya bisa sangat rendah. Selain itu, memiliki efisiensi modulasi tinggi, dan dapat bekerja dengan frekuensi IF kurang dari 10GHz. Sedangkan MZM mampu bekerja dengan frekuensi IF kurang dari 1GHz. Selain itu, tegangan bias dari 1-3V biasanya cukup untuk EAM sedangkan untuk MZM tegangan DC 4-5 V.

2.7 Komponen Komunikasi Optik

2.7.1 Erbium Doped Fiber Amplifier (EDFA)

EDFA terdiri dari serat-serat pendek (biasanya 10 meter atau lebih) yang memiliki sejumlah kecil elemen erbium (unsur bumi yang cukup langka) yang ditambahkan pada kaca dalam bentuk sebuah ion (Er³⁺). Gambar 2.13 merupakan ilustrasi dari EDFA.



Gambar 2.13 Ilustrasi dari EDFA

Sumber: <http://www.fiber-optik-cable-sale.com>.

Optical pumping digunakan untuk mengeksitasi elektron ke level energi yang lebih tinggi. Dalam proses ini, paling tidak dibutuhkan satu foton untuk secara langsung

menaikan elektron ke pita eksitasi. *Optical pumping* memiliki tiga atau lebih pita level energi. Pita energi paling tinggi dari elektron dapat dicapai dengan energi tertentu diperlukan untuk mencapai pita energi berdasarkan level emisi elektron. Setelah dicapainya state eksitasi, elektron melepaskan energi dan turun ke pita level energi yang lebih rendah. Sinyal photon dapat ditrigger kembali untuk dapat mengalami emisi terstimulasi lagi ketika elektron telah menduduki pita level energi terendah, dimana elektron dapat melepas sisa energinya dalam bentuk photon baru dengan panjang gelombang yang sama dengan sinyal photon sebelumnya. *Pump* photon harus memiliki energi yang lebih besar dibandingkan dengan sinyal photon, jadi panjang gelombang *pump* harus lebih pendek dari panjang gelombang sinyal.

Prinsip yang terlibat di sini adalah prinsip laser dan sangat sederhana. Ion erbium dapat ditemukan dalam beberapa kondisi energi. Saat ion erbium dalam kondisi energi tinggi, cahaya foton akan menstimulasi ion untuk mengalirkan sebagian energinya (dalam bentuk cahaya) dan kembali pada keadaan yang energinya lebih rendah (lebih stabil). Kondisi ini disebut dengan “*stimulated emission*”.

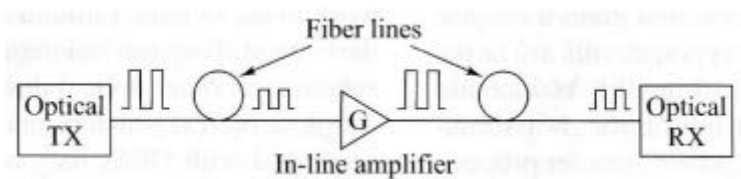
Agar prinsip ini dapat bekerja, dibutuhkan cara untuk membuat atom erbium berada pada kondisi paling tinggi energinya. Laser dioda pada diagram menghasilkan cahaya sorot dengan daya yang tinggi (antara 10 dan 200 mW) pada panjang gelombang sehingga ion erbium akan menyerapnya dan melompat ke kondisi paling tinggi (cahaya pada panjang gelombang 980 atau 1480 nm akan melakukan hal ini dengan cukup baik) (Dutton, 1998).

Dalam pengoperasian normal, sebuah *pump* laser 980 nm mengemisi photon digunakan untuk mengeksitasi ion dari *ground state* ke level *pump*, hal tersebut ditunjukkan oleh proses transisi ion dari *ground state* ke level *pump*. Ion yang telah tereksitasi mengalami *decay* (*relax*) terjadi dengan cepat dari *pump* band ke metastable band. Pada saat *decay*, kelebihan energi dilepaskan berupa phonons, *equivalently*, getaran mekanik dalam fiber. Pada metastable band, elektron dari ion yang tereksitasi cenderung berkumpul ada bagian terbawah dari *metastable band*. Pada band ini elektron-elektron tersebut mengalami fluoresensi waktu yang sangat panjang sekitar 10ms. Secara general aplikasi dari penggunaan *optical amplifier* dibagi menjadi tiga, yaitu:

- *In-Line Optical Amplifier*

Pada *link single-mode*, *effect disperse* mungkin lebih kecil sehingga keterbatasan untuk *repeater* adalah redaman serat. Karena link tidak membutuhkan regenerasi sinyal secara lengkap, maka amplifikasi sinyal optis yang sederhana sudah cukup memadai. Sehingga penguat *in-line optical amplifier* digunakan untuk mengkompensasi rugi-rugi transmisi dan

meningkatkan jarak antara *repeater*, Gambar 2.14 merupakan ilustrasi dari *in-line optical amplifiers*.

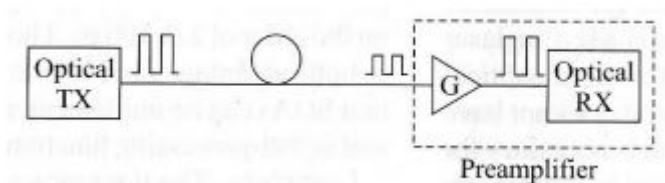


Gambar 2.14 *in-line optical amplifiers*

Sumber: Keiser (2015).

- *Preamplifier*

Pada gambar 2.15 menunjukkan *optical amplifier* digunakan sebagai *front-end preamplifier* dari *optical receiver*. Dengan demikian, sinyal optis yang lemah dikuatkan sebagai *photodetection* jadi degradasi *signal-to-noise ratio* yang diakibatkan *thermal noise* pada *receiver elektronik* dapat ditekan. Dibandingkan dengan perangkat *front-end* lainnya seperti *avalanche photodiodes* atau *photo heterodyne detector*. *Optical preamplifier* menyediakan *Gain factor* yang lebih besar dan *bandwidth* penguatan yang lebih luas.

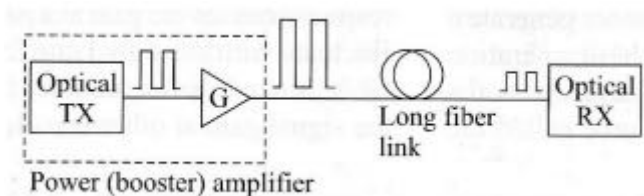


Gambar 2.15 *Preamplifier*

Sumber: Keiser (2015).

- *Power (booster) amplifier*

Pengaplikasian *power* atau *booster amplifier* penempatannya perangkat ini setelah *optical transmitter* untuk meningkatkan daya yang ditransmisikan. Digunakan untuk meningkatkan daya transmisi untuk jarak 10-100 km tergantung dari *gain amplifier* dan *fiber loss*. Gambar 2.16 menunjukkan *power (booster) amplifier*.



Gambar 2.16 *Power (booster) amplifier*

Sumber: Keiser (2015).

2.7.2 Penerima optik

Peran dari penerima optik adalah mendeteksi sinyal yang ditransmisikan transformasi *opto-electrical* dari sinyal yang diterima di *photodiode* (contohnya PIN dan APD). Selain itu, pemerataan elektrik tambahan dilakukan bersama dengan penguatan sinyal elektrik memungkinkan pemrosesan sinyal lebih lanjut (contohnya *clock-recovery*) dan evaluasi kinerja (misalnya pengukuran kualitas).

Ada tiga karakteristik yang penting untuk diperhatikan pada suatu detektor optik, yaitu:

- *Minimum Detection Power* (Pd) yaitu daya optik minimum yang dapat dideteksi oleh detektor agar dapat membangkitkan arus listrik.
- Arus Cahaya (Ip) merupakan arus yang dibangkitkan pada tingkat daya optik minimum yang dapat dideteksi oleh detektor.
- Responsivity (ρ) merupakan perbandingan arus keluaran dengan daya optik masukan, dengan persamaan:

$$\rho = \frac{i}{p} \dots\dots\dots (2-2)$$

Detektor optik yang sering digunakan dalam komunikasi optik, yaitu *photodiode Positive Intrinsic Negative* (PIN) dan *Avalanche Photodiode* (APD). Secara umum perbandingan karakteristik antara keduanya dalam Tabel 2.1 berikut:

Tabel 2.1
Perbandingan Karakteristik Detektor Optik

No	Karakteristik	Jenis Detektor Optik	
		PIN	APD
1.	Responsivitas	0,35-0,55	50-120
2.	Noise	Kecil	Lebih besar
3.	Penguatan	1	150-250
4.	Arus Cahaya	Kecil	Lebih besar
5.	Waktu Jangkit (ns)	0,06-1	0,1-2

Sumber: Muflihatin (2002:16).

Pemilihan detektor optik diutamakan dibandingkan komponen-komponen lainnya karena dengan mengetahui detektor optik yang digunakan terlebih dahulu, kita dapat memastikan bahwa sinyal yang sampai ke bagian penerima masih dapat dideteksi dengan baik oleh detektor optik (Yorashaki Martha, 2011).

Avalanche Photodiode (APD) memiliki lapisan doped yang sangat tinggi dimana elektron yang dihasilkan berlipat ganda dan dipacu oleh medan elektrik lokal yang kuat. Penguatan internal dari suatu APD dapat mencapai nilai 400. Karena faktor pengali untuk

tiap elektron dihasilkan tidak sama, APD menghasilkan *noise* tambahan. Pada penguat yang sebenarnya, *noise* dari penguat yang mengikuti pada umumnya melebihi jumlah *noise* pada *photodiode*. Karena APD telah menghasilkan penguatan yang tinggi sebelum tahap pertama, *noise* elektronik memiliki peran yang sangat kecil. Rata-rata penerima APD memiliki sensitivitas 10 dB lebih besar daripada penerima PIN (Ziemann, 2008).

Prinsip kerja *Avalanche Photodiode* (APD) yaitu APD bekerja pada *reverse* bias yang besar pada medan listrik yang tinggi terjadi *avalanche effect* yang menghasilkan impact ionization berantai dan terjadi multiplikasi *avalanche* sehingga terjadi penguatan atau multiplikasi arus.

2.8 Parameter Performansi

2.8.1 Bit Error Rate (BER)

BER adalah perbandingan banyaknya bit yang salah dengan banyaknya bit yang ditransmisikan. BER dalam sistem transmisi serat optik berkisar antara $10^{-6} - 10^{-10}$ (Keisser,2006). Untuk menghitung BER pada sebuah sistem komunikasi terdapat beberapa cara. Secara teori dapat menggunakan perbandingan *error* bit (E_b) terhadap total bit yang ditransmisikan (T_b) dalam periode t detik.

$$BER = \frac{E_b}{T_b} \dots\dots\dots (2-3)$$

dimana:

E_b = *Error* bit

T_b = Total bit

Performansi sistem gelombang cahaya digital ditandai dengan *bit error rate* (BER). BER dapat ditentukan sebagai jumlah error dalam satu detik. BER biasanya digunakan untuk mengidentifikasi kemungkinan rata-rata bit yang salah. Oleh karena itu, BER senilai 10^{-6} setara dengan rata-rata satu *error* per jutaan bit. Kebanyakan gelombang cahaya menentukan BER 10^{-9} sebagai persyaratan operasi. Beberapa bahkan menggunakan persyaratan BER hingga 10^{-14} .

2.8.2 Q-factor

Kriteria *Q-factor* untuk evaluasi kinerja pada sistem transmisi optik sering digunakan dalam kombinasi dengan pengukuran BER memungkinkan representasi terkait statistik *noise* secara efisien.

Hubungan antara BER dan *Q-factor*:

$$BER = \frac{1}{2} \operatorname{erfc}\left(\frac{Q}{\sqrt{2}}\right) \dots\dots\dots (2-4)$$

Q -factor = 6 sesuai dengan BER = 10^{-9} . Untuk perhitungan Q -factor yang benar, jumlah minimum dari bit yang disimulasikan harus ditentukan melalui beberapa perhitungan Q dengan menaikkan panjang urutan bit.

2.8.3 Loss

Losses pada serat optik melambangkan faktor yang membatasi kinerja sistem komunikasi karena menyebabkan daya sinyal yang diterima oleh penerima berkurang (Agrawal, 2002). *Optical loss* diukur dalam “dB” sedangkan daya optik diukur dalam “dBm”. Pengukuran *loss* pada umumnya diukur dalam dB karena dB adalah perbandingan dari dua level daya, dimana salah satunya dijadikan sebagai nilai referensi. Satuan dB merupakan skala logaritmik dimana tiap 10 dB melambangkan perbandingan 10 kali. Persamaan sebenarnya yang digunakan untuk menghitung *loss* dalam dB adalah (www.cisco.com) :

$$Loss (dB) = P_{in} - P_{out} \dots\dots\dots(2-5)$$

2.9 Software OptiSystem



Gambar 2.17 Software Optisystem

Sumber: www.optiwave.com.

Optisystem adalah *software* yang digunakan untuk mendesain setiap rangkaian yang memungkinkan setiap pengguna dapat merencanakan, mensimulasikan dan menguji link optik lapisan transmisi jaringan serat optik. Dengan optisystem memungkinkan pengguna dapat membuat banyak desain menggunakan proyek yang sama, memungkinkan pengguna untuk membuat dan meodifikasi desain yang dibuat dengan cepat dan efisien. Setiap file proyek optisystem dapat berisi banyak versi desain. Versi desain dihitung dan dibuat secara independen, namun hasil perhitungan dapat dikombinasikan diversi berbeda.(Optiwave,2009)