

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Penelitian Terkait

*Dispersion Compensation Fiber* (DCF) untuk kompensasi dispersi diusulkan pada tahun 1980 tetapi ketika amplifier optik diciptakan, DCF dapat membantu mengurangi dispersi. *Singlemode Fiber* (SMF) memiliki dispersi positif dan DCF memiliki dispersi negatif, jadi secara keseluruhan adalah nol. Dispersi kompensasi serat konvensional memiliki dispersi negatif yang tinggi  $-80 \text{ ps/nm/km}$  dan dapat digunakan untuk mengkompensasi dispersi positif dari serat transmisi di C-band (Ranjana Rao, 2016).

Pada tahun 2014 V.Senthamizhselvan, dkk menganalisa kinerja DWDM menggunakan *Dispersion Compensation Fiber* (DCF), memperhatikan parameter *Q-Faktor* dan *Bit Error Rate* (BER) dengan *line coding* RZ dan NRZ. Dari hasil penelitiannya kinerja *line coding* RZ lebih baik dari pada NRZ. Skema RZ menawarkan keuntungan tertentu atas NRZ, karena mereka cenderung lebih tahan terhadap *distorsi*. *Bit Error Rate* (BER) sangat dikurangi dengan menggunakan *line coding* RZ. *Singlemode Fiber* (SMF) dispersi sinyal dikompensasi dengan menggunakan *Dispersion Compensation Fiber* (DCF) dengan koefisien dispersi  $-83,75 \text{ ps/nm/km}$ .

Mehtab Singh (2016) menggunakan DCF pada sistem DWDM di lakukan dengan menganalisa tingkat daya, kecepatan transmisi data dan jumlah kanal informasi link dengan *line coding return to zero* (RZ) dan *non return to zero* (NRZ). Dari hasil penelitiannya dapat disimpulkan bahwa format *line coding* RZ memiliki kinerja yang lebih baik dari pada *line coding* NRZ dalam kasus sistem transmisi DWDM sebagai *Q-Faktor* lebih tinggi dan nilai BER lebih kecil. Tingkat daya transmisi meningkat hingga  $10 \text{ dBm}$ , kualitas sinyal yang diterima membaik, namun ketika daya ditingkatkan dapat menurunkan kualitas sinyal yang diterima karena peningkatan efisiensi efek *non-linear*.

*Fiber Bragg Grating* (FBG) dapat difungsikan sebagai *reflector* optik yang dapat merefleksikan panjang gelombang yang dibutuhkan dan meneruskan panjang gelombang lainnya. Erwin Zahroni (2014) melakukan penelitian dengan menggunakan *filter* FBG pada jaringan DWDM. Penelitian dilakukan dengan menggunakan FBG pada sisi *transmitter*, *receiver* dan *transmitter/receiver*. Hasil penelitian yang dilakukan menunjukkan penggunaan *filter* pada sisi *receiver* memberikan hasil lebih baik dibandingkan dengan

filter pada sisi *transmitter* dan jumlah *input* dan *output* pada jaringan DWDM mempengaruhi besarnya *crosstalk* yang terjadi.

*Wavelength Division Multiplexing* (WDM) menjadi pilihan jaringan yang menjanjikan untuk memenuhi meningkatnya tuntutan pada *bandwidth* (Prof. Rehana Jamadar, 2016). *Wavelength Division Multiplexing* (WDM) digunakan dalam sistem transmisi serat optik yang menggabungkan beberapa panjang gelombang sehingga dapat dikirimkan secara bersamaan dalam satu serat optik. WDM memiliki spektrum optik lebih baik karena jarak antara *channel spacing* yang kecil sehingga kapasitas pengiriman data menjadi lebih besar dan dapat mencapai hingga 10 Gbps (Finisar, 2008). Manfaat yang paling penting dari WDM adalah kemudahan dalam meningkatkan kapasitas sistem (Anaika Basnotra, 2016).

Ranjana Rao, (2016) melakukan penelitian tentang analisa performansi kompensasi dispersi menggunakan FBG-DCF pada jaringan WDM. Pada penelitiannya FBG difungsikan sebagai *reflector* optik yang dapat merefleksikan panjang gelombang yang dibutuhkan dan meneruskan panjang gelombang lainnya. Hasil penelitian Ranjana Rao yaitu dapat diamati bahwa dispersi kromatik dan efek *nonlinearitas* lainnya dapat dikurangi dengan bantuan serat kompensasi dispersi dengan *line coding* NRZ. *Bit rate* yang digunakan pada penelitian ini adalah 10 Gbps. Jarak transmisi yang digunakan untuk *fiber* DCF 20 km untuk SMF pada skema *pre* 100 km, *post* 80 km dan *symetris* 100 km.

Pemilihan jenis pengkodean juga akan mempengaruhi sistem yang akan dibangun (Anggun Fitriani, 2009). Menurut hasil penelitian Imam Santoso, dkk (2015) menunjukkan bahwa *line coding* RZ lebih baik dari NRZ dilihat dari nilai *Bit Error Rate* (BER) dan Q-*Factor*, toleransi terhadap dispersi dan toleransi terhadap *nonlinearitas*.

Melihat kelebihan dari DCF yang dapat digunakan untuk mengurangi dispersi dan juga keunggulan *line coding* RZ dibandingkan NRZ, maka penulis tertarik untuk mengembangkan penelitian Ranjana Rao dengan melakukan penelitian tentang Analisa Performansi Kompensasi Dispersi Jaringan WDM menggunakan FBG-DCF dengan *line coding* RZ. Untuk melihat seberapa besar dispersi dapat dikompensasi dengan serat kompensasi dispersi dengan menggunakan *line coding* RZ. Selain menggunakan *line coding* yang berbeda dari penelitian sebelumnya, pada penelitian ini penulis juga akan menggunakan *bit rate* dan jarak transmisi yang terdiri dari beberapa macam agar nanti nya dapat dilihat *bit rate* maksimum dan pengaruh DCF terhadap jarak transmisi dengan memperhatikan parameter *Bit Error Rate* (BER).

### 2.1.1 Sistem Komunikasi Serat Optik

Setiap sistem komunikasi memiliki konsep sistem yang berbeda-beda. Tetapi pada dasarnya setiap sistem komunikasi terdiri dari pengirim (*transmitter*), media transmisi dan penerima (*receiver*). Pengirim yang bertugas untuk mengola dan mengirimkan informasi yang dikirim melalui media transmisi. Media transmisi yang berfungsi untuk melewatkan informasi dari pengirim dan penerima. Sedangkan penerima berfungsi menerjemahkan informasi yang dibawa media transmisi sehingga informasi yang didapat sesuai dengan informasi asli. Perbedaan pada setiap jenis sistem komunikasi terletak pada media transmisi yang digunakan. Media transmisi terdiri dari kabel tembaga, serat optik dan udara (Quong Dai Huong, 2015).

Sistem komunikasi serat optik menggunakan sinyal-sinyal informasi dalam bentuk energi cahaya yang disalurkan melalui serat optik. Sinyal informasi yang dikirimkan tersebut dapat berupa sinyal audio, *video* ataupun data dalam bentuk sinyal elektrik dan kemudian diubah menjadi sinyal optik sebelum ditransmisikan melalui serat optik (Sri Mayati, 2015).

### 2.1.2 Serat Optik

Serat optik merupakan media transmisi yang terbuat dari kaca atau plastik yang beroperasi pada frekuensi optik atau cahaya. Serat optik ini berbentuk silinder untuk menyalurkan energi gelombang elektromagnetik dalam bentuk cahaya. Struktur dasar dari serat optik tersusun atas *core*, *cladding* dan *coating* (Rika S, 2013; Dipo S, 2015; Noval E, 2016).

Struktur pada serat optik disusun atas 3 lapisan yaitu (Rika S, 2013; Noval E, 2016).

#### 1. Core (Inti Serat Optik)

*Core* berfungsi untuk menentukan cahaya merambat dari satu ujung ke ujung lainnya. Core terbuat dari bahan kuarsa dengan kualitas sangat tinggi. Selain itu, ada juga yang terbuat dari hasil campuran silika dan kaca. Sebagai inti, core juga tempat merambatnya cahaya pada serat optik. Memiliki diameter 8  $\mu\text{m}$  - 50  $\mu\text{m}$ . Core terbuat dari  $\text{SiO}_2$ , selain itu juga terdiri dari bahan kimia yaitu  $\text{GeO}_2$  untuk meningkatkan indeks bias dari inti serat.

#### 2. Cladding

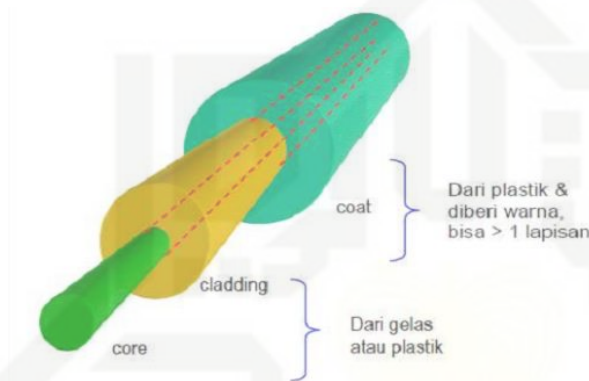
*Cladding* berfungsi sebagai cermin untuk memantulkan cahaya agar dapat merambat ke ujung lainnya. Dengan adanya cladding cahaya dapat merambat dalam *core* serat

optik. Cladding terbuat dari bahan gelas dengan indeks bias yang lebih kecil dari *core*. *Cladding* merupakan selubung dari *core* dengan diameter *cladding* umumnya  $125\mu\text{m}$ . Indeks bias pada *cladding* lebih kecil dibandingkan indeks bias pada inti.

### 3. Coating

*Coating* berfungsi sebagai pelindung yang mekanis pada serat optik dan identitas kode warna. Terbuat dari bahan plastik dan memiliki diameter  $250\mu\text{m}$ .

Adapun konfigurasi dari struktur serat optik adalah sebagai berikut :

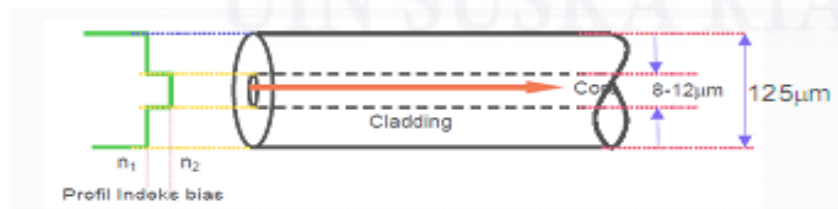


Gambar 2.1. Struktur Serat Optik  
(Rika S, 2013; Noval E, 2016)

Berdasarkan dari cara perambatannya, jenis-jenis serat optik dapat dibagi menjadi 3 yaitu (Rika S, 2013; Dipo S, 2015; Noval E, 2016) :

#### 1. Step Index Singlemode

*Step index singlemode* ini merupakan jenis kabel serat optik yang hanya mempunyai satu jenis perambatan cahaya, yaitu dengan merambat lurus (sejajar dengan sumbu utama serat optik). Diameter *core step index singlemode* sangat kecil yaitu  $8-12\mu\text{m}$ . Jenis kabel serat optik ini memiliki bit rate yang besar.

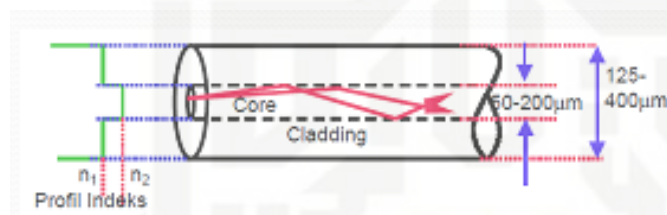


Gambar 2.1. Serat Optik *Step Index Singlemode*  
(Rika S, 2013; Dipo S, 2015; Noval E, 2016)

## 2. Step Index Multimode

Jenis kabel *step index multimode* ini merupakan jenis kabel serat optik yang mempunyai *index bias* konstan sehingga terjadi berbagai jenis perambatan cahaya. Pada *step index multimode*, diameter *core* lebih besar dan dilapisi *cladding* yang tipis. Kabel serat optik jenis ini memiliki *bit rate* yang rendah, serta memiliki dispersi yang besar karena mempunyai banyak perambatan cahaya sehingga terjadi pelebaran informasi pada penerimaannya.

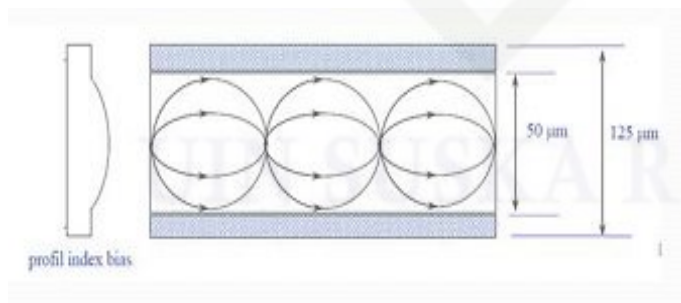
Kelebihan dari serat optik jenis ini adalah memudahkan dalam penyambungan karena mempunyai *core* yang besar.



Gambar 2.3 Serat Optik *Step Index Multimode*  
(Rika S, 2013; Dipo S, 2015; Noval E, 2016)

## 3. Graded Index Multimode

Kabel serat optik *graded index multimode* ini mempunyai *core* yang terdiri dari sejumlah lapisan gelas yang memiliki *indeks bias* yang berbeda, dan *indeks bias* tertinggi terdapat pada pusat *core*. Dengan *indeks bias* yang berbeda tersebut dapat mengakibatkan dispersi waktu dengan berbagai mode cahaya yang merambat berkurang karena cahaya akan tiba pada waktu yang bersamaan walaupun terjadi banyak lintasan propagasi.



Gambar 2.4. Serat Optik *Graded Index Multimode*  
(Rika S, 2013; Dipo S, 2015; Noval E, 2016)

### 2.2.2 Photodetector

Pada sistem komunikasi serat optik *Photodetector* merupakan perangkat penerima sinyal cahaya. Perancangan dan pemilihan perangkat penerima sangat berpengaruh dalam analisis sensitivitas dari besarnya daya optik minimum yang dapat dideteksi oleh *photodetector*.

Pendeteksian cahaya ini dapat berlangsung secara optimal, maka secara esensial sebagian besar photon cahaya yang masuk ke dalam peranti harus dikonversi menjadi besaran listrik. Masing-masing photon mungkin menyebabkan terjadinya emisi elektron sehingga menjadi elektron bebas. Elektron bebas ini dibangkitkan dengan cara memindahkan elektron dari pita valensi ke pita konduksi, dan yang tertinggal dalam pita valensi adalah lubang yang lazim dinamakan dengan *hole* bebas. Proses terjadinya pasangan elektron *hole* ini disebut dengan *photogeneration*.

Persyaratan kinerja yang harus dipenuhi oleh *photodetector* meliputi: (Quang Dai H, 2015):

1. Memiliki sensitivitas tinggi.
2. Memiliki kecepatan respon yang cukup untuk mengakomodasi *bit rate* data yang diterima.
3. Memberi noise tambahan yang minimum.
4. Tidak terlalu peka terhadap suhu.

Detektor untuk transmisi serat optik ada 2 macam yaitu dioda PIN dan *Avalanche Photo Diode* (APD). Berikut ini beberapa perbedaan antara dua jenis detektor cahaya (Sri Mayati, 2015) :

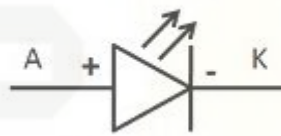
1. Untuk komunikasi jarak jauh digunakan detektor APD yang dapat bekerja pada panjang gelombang 1300 nm, 1500 nm serta 1550 nm dengan kualitas yang baik. Artinya detektor APD mempunyai sensitivitas dan respon yang tinggi terhadap LASER sebagai pembawa gelombang optik informasi.
2. Untuk komunikasi jarak pendek lebih efisien jika menggunakan detektor PIN diode, karena PIN baik digunakan untuk *bit rate* rendah dan sensitivitasnya tinggi untuk sistem yang menggunakan LED sebagai sumber optiknya.
3. Detektor penerima PIN bereaksi baik pada *bit rate* rendah tetapi kurang sensitif ketika *bit ratenya* dinaikkan.

4. Detektor penerima APD lebih sensitif pada *bit rate* tinggi. Untuk transmisi jarak jauh diperlukan daya pancar yang lebih besar dan sensitifitas yang tinggi. Untuk sistem komunikasi serat optik jarak jauh, akan menggunakan LASER sebagai sumber cahaya dan APD sebagai detektor penerima. Sedangkan untuk transmisi jarak dekat cukup digunakan LED sebagai sumber optik dan PIN sebagai detektor penerima.

### 2.2.3 Sumber Optik

Pada sistem komunikasi serat optik, sumber optik merupakan pembangkit cahaya. Terdapat dua jenis sumber cahaya yang digunakan untuk mengirim suatu cahaya informasi melalui serat optik, yakni LED (*Light Emitting Diode*) dan juga LASER (*Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation*).

1. LED (*Light Emitting Diode*)



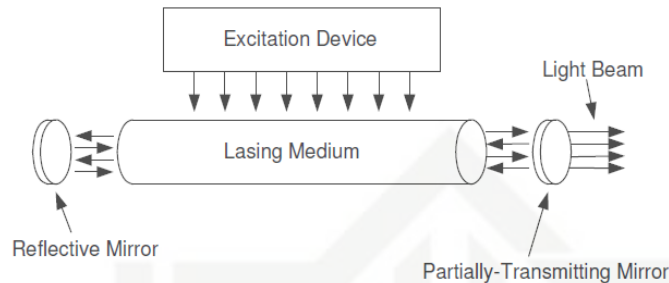
Gambar 2.5. Simbol LED  
(Sumber: Aulia Satria, 2016)

LED merupakan diode semikonduktor yang memancarkan cahaya karena mekanisme emisi spontan. LED mengubah besaran arus menjadi besaran intensitas cahaya. Cahaya yang dipancarkan LED bersifat tidak koheren yang akan menyebabkan dispersi kromatik sehingga LED hanya cocok untuk transmisi data dengan *bit rate* yang rendah sampai sedang. Daya keluaran LED adalah -33 s.d. -10 dBm. LED memiliki lebar spektral (*spectral width*) 30-50 nm pada panjang gelombang 850 nm dan 50-150 nm pada panjang gelombang 1300 nm (Rika Susanti, 2012).

2. LASER (*Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation*)

Laser ini merupakan diode semikonduktor yang memancarkan cahaya karena mekanisme pancaran/emisi terstimulasi (*stimulated emission*). Cahaya yang dipancarkan oleh laser bersifat koheren. Diode laser memiliki lebar spektral yang lebih sempit (s.d. 1 nm), sehingga dispersi kromatik dapat ditekan. Laser diterapkan untuk transmisi data

dengan *bit rate* yang tinggi. Laser mempunyai daya keluaran optik -12 s.d. +3 dBm. Kinerja dari laser dapat dilihat dari aspek keluaran daya optik, panjang gelombang, serta umur sistem yang sangat dipengaruhi oleh temperature operasi (Rika Susanti, 2012).



Gambar 2.6. Struktur Dasar Laser  
(Sumber: Aulia Satria, 2016)

### 2.3 Wavelength Division Multiplexing (WDM)

*Multiplexing* adalah teknik mengirimkan beberapa informasi dengan menggunakan satu saluran yang sama. Tujuan utamanya adalah menghemat jumlah saluran fisik, misalnya kabel, pemancar dan penerima (*transceiver*) atau kabel optik (Sri Mayati, 2015).

Aplikasi *multiplexing* yang umum digunakan adalah dalam komunikasi *long haul* dengan utama pada jaringan *long haul* berupa gelombang mikro, koaksial atau serat optik yang berkapasitas tinggi. Jalur ini dapat memuat transmisi data dalam jumlah besar secara simultan dengan menggunakan teknik *multiplexing*.



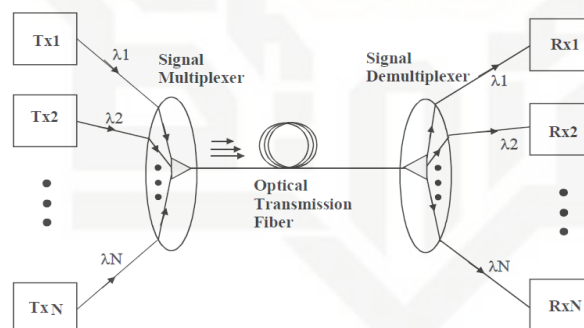
Gambar 2.7. Prinsip Dasar Sistem WDM  
(Sumber: Sri Mayati, 2015)

Teknologi *Wavelength Division Multiplexing* (WDM) adalah salah satu jenis *multiplexing* yang merupakan teknologi jaringan *transport* yang mampu menyalurkan berbagai jenis trafik seperti data, suara dan video dengan menggunakan panjang

gelombang berbeda dalam satu serat tunggal secara bersamaan. Jaringan WDM dapat digunakan untuk aplikasi jarak jauh (*long haul*) maupun jarak dekat (*short haul*) (Noval E, 2016).

Konsep ini pertama kali dipublikasikan pada tahun 1970, dan pada tahun 1978 sistem WDM telah terealisasi di laboratorium. Sistem WDM pertama hanya menggabungkan 2 buah sinyal dalam sehelai serat optik yang masing-masing berkapasitas 2,5 Gbps sampai 5 Gbps. Namun terdapat permasalahan baru dalam sistem WDM, yaitu adanya ke-nonlinieran serat optik dan efek dispersi yang dapat menyebabkan terbatasnya jumlah panjang gelombang yang hanya 2-8 buah.

Pada perkembangan WDM selanjutnya, jumlah panjang gelombang yang dapat diakomodasikan oleh satu helai serat optik bertambah hingga mencapai puluhan buah dengan kapasitas yang lebih besar untuk masing-masing panjang gelombang mencapai 10 Gbps. Dengan perkembangan jaringan WDM yang semakin populer memungkinkan untuk mengembangkan kapasitas jaringan tanpa harus menambah jumlah fiber. Pengembangan tersebut dapat dilakukan dengan hanya meningkatkan *multiplexers* dan *demultiplexers* yang digunakan.

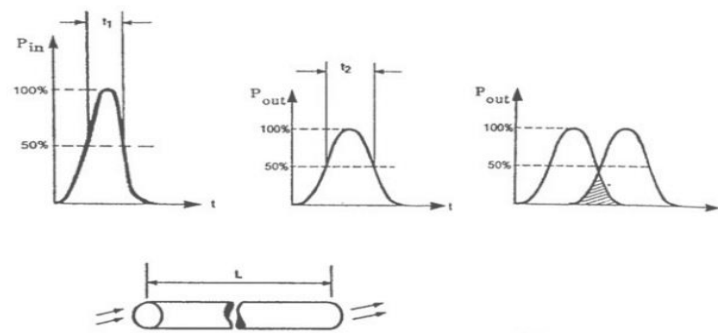


Gambar 2.8. Konsep Transmisi WDM

(Sumber: Noval E, 2016)

## 2.4 Dispersi

Dispersi adalah suatu gejala dimana lebar pulsa sinyal input yang dikirim, merambat sepanjang kabel optik dan di sisi penerima lebar pulsa tersebut menjadi lebih lebar (Rika Susanti, 2013).



Gambar 2.9. Dispersi Pulsa

(Sumber: Dipo S, 2015)

Dari gambar di atas dapat dilihat pengaruh dari pelebaran pulsa yang terjadi sehingga  $t_2 > t_1$ , hal ini mengakibatkan pembatasan jarak pada saat pengulangan sinyal sehingga kepadatan bit berkurang. Besarnya dispersi secara umum dapat dinyatakan dalam persamaan berikut :

$$\text{Dispersi} = \frac{\sqrt{t_2^2 - t_1^2}}{l} \quad \dots\dots (2.1)$$

Dimana :

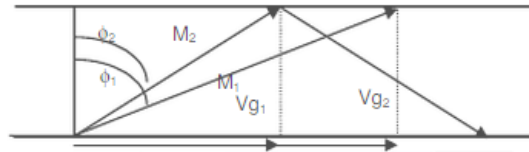
L adalah Panjang fiber optik (km)

t adalah waktu tempuh (s)

Ada tiga macam jenis dispersi pada serat optik, yang disebabkan oleh tiga mekanisme yang berbeda yaitu (Telkom, 2004) :

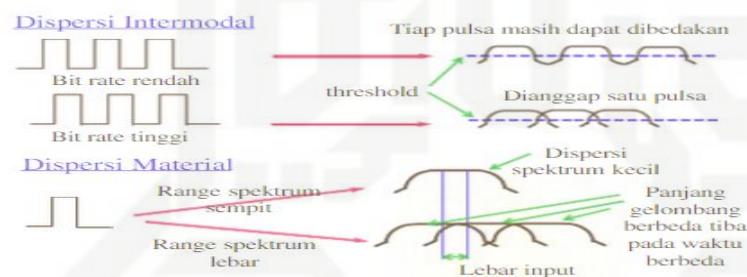
#### 2.4.1 Dispersi Antar Mode (*Intermodal Dispersion*)

Cahaya dari sumber yang masuk ke dalam serat optik *multimode* dirambatkan dalam beberapa mode. Setiap mode menempuh alur yang berbeda-beda, ada yang merambat sejajar sumbu inti dan ada juga yang merambat zigzag. Dengan demikian jarak yang ditempuh oleh tiap mode akan berbeda-beda. Jarak terpendek adalah yang sejajar dengan sumbu inti. Karena kecepatan tiap mode sama, maka tiap mode akan mempunyai waktu tempuh yang juga berbeda.



Gambar 2.10. Perambatan Gelombang Pada *Multimode*  
(Sumber: Telkom, 2004)

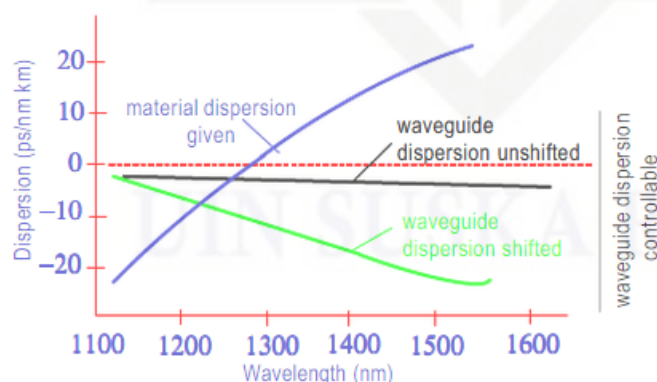
Dispersi intermodal disebut juga pelebaran pulsa. Dispersi intermodal bergantung pada panjang gelombang, efeknya pada distorsi sinyal meningkat sebanding dengan lebar dari sumber optik.



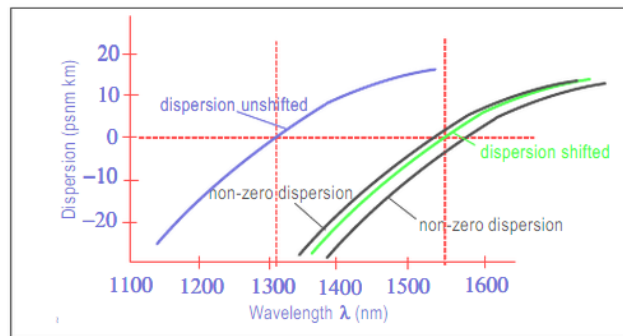
Gambar 2.11. Pengaruh Dispersi Pada Sinyal  
(Sumber: Telkom, 2004)

#### 2.4.2 Dispersi Bahan/Kromatik (*Chromatic Dispersion*)

Dispersi material terjadi karena indeks bias bervariasi sebagai fungsi panjang gelombang optik.



Gambar 2.12. Karakteristik Dispersi Serat *Singlemode*  
(Sumber: Telkom, 2004)



Gambar 2.13. Karakteristik Dispersi Berbagai Jenis Serat *Singlemode*  
(Sumber: Telkom, 2004)

### 2.4.3 Dispersi Bumbung Gelombang (*Waveguide Dispersion*)

Dispersi ini terjadi akibat dari karakteristik perambatan mode sebagai fungsi perbandingan antara jari-jari inti serat dan panjang gelombang.

## 2.5 Hubungan Dispersi dengan *Bandwidth*

Perkembangan media transmisi yang mampu membawa data dengan *bandwidth* yang besar merupakan keunggulan pada sistem komunikasi serat optik, namun hal itu tak semata menjadikan serat optik tanpa kekurangan. Dispersi pada serat optik dapat menyebabkan pulsa yang dikirim akan mengalami perubahan lebar spektrum pada penerima, hal ini menjadi penyebab pembatasan pada *bandwidth* (Telkom, 2004; Dipo S, 2015).

Hubungan antara dispersi dengan *bandwidth* dapat dilihat pada persamaan berikut :

$$Bt = \frac{0,2}{\Delta t} \quad \dots\dots (2.2)$$

dimana:

Bt adalah *bandwidth* dengan satuan bps

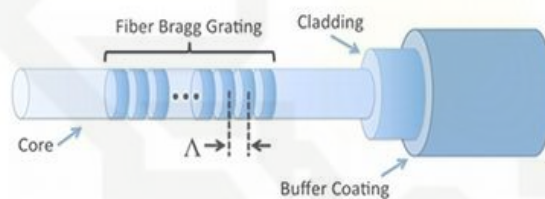
$\Delta t$  adalah jumlah total dispersi

Persamaan di atas menyimpulkan besar atau kecilnya *bandwidth* pada suatu jaringan serat optik dapat ditentukan oleh besar atau kecilnya dispersi yang terjadi pada serat optik yang digunakan.

## 2.6 Fiber Bragg Gratings (FBG)

FBG merupakan suatu jenis reflektor (*bragg*) yang terdistribusi dalam bentuk segmen-segmen di dalam serat optik. FBG dapat merefleksikan cahaya pada panjang gelombang tertentu dan mentransmisikan panjang gelombang yang lain. Salah satu *fiber bragg grating* yang sederhana dan paling banyak digunakan adalah *uniform fiber bragg grating*. *Uniform* FBG dapat berfungsi sebagai *reflection filter*, *narrow-band transmission*, *broadband mirror*, dan *bandpass filter* bergantung pada panjang kisi dan modulasi indeks bias pada FBG tersebut (Noval E, 2016).

Setiap *uniform* FBG dapat ditentukan panjang gelombang *bragg* yang berbeda-beda, sehingga dapat digunakan untuk *wavelength division multiplexing* baik pada sisi laser maupun *demultiplexer*. Panjang gelombang reflektor akan mengalami pergeseran ketika ada pemberian tekanan pada FBG sehingga akan mempengaruhi panjang gelombang yang akan ditransmisikan (Gusmawandi, 2016). FBG pada serat optik dapat dilihat pada gambar di bawah ini.



Gambar 2.14. *Fiber Bragg Gratings* pada Serat Optik

(Sumber: Gusmawandi, 2016)

## 2.7 Dispersion Compensation Fiber (DCF)

*Dispersion Compensation Fiber* (DCF) adalah jenis serat khusus yang digunakan untuk mengkompensasi dispersi sinyal dengan nilai koefisien dispersi negatif. *Dispersion Compensation Fiber* (DCF) untuk kompensasi dispersi diusulkan pada tahun 1980 tetapi ketika amplifier optik diciptakan, DCF dapat membantu mengurangi dispersi. *Singlemode Fiber* (SMF) memiliki dispersi positif dan DCF memiliki dispersi negatif, jadi secara keseluruhan adalah nol. Dispersi kompensasi serat konvensional memiliki dispersi negatif yang tinggi -80 ps/nm/km dan dapat digunakan untuk mengkompensasi dispersi positif dari serat transmisi di C-band (Ranjana Rao, 2016).

Menurut posisi nya, terdapat tiga skema kompensasi DCF. Dalam skema kompensasi *Pre*, DCF ditempatkan sebelum skema kompensasi SMF. Skema *Post*

kompensasi, DCF ditempatkan setelah SMF dan skema kompensasi *simetris* DCF ditempatkan sebelum dan sesudah SMF. Dalam teknik *Dispersion Compensation Fiber* (DCF), dispersi sinyal optik yang bergerak dalam *Singlemode Fiber* (SMF) berkurang dengan melewati sinyal melalui DCF yang memiliki nilai koefisien dispersi negatif. DCF digunakan bersamaan dengan SMF. DCF mampu mengkompensasi dispersi *Singlemode Fiber* (SMF) sepanjang ratusan kilometer (Mehtab Singh, 2016).

## 2.8 Return To Zero (RZ)

Sebelum membuat perencanaan jaringan, pertama-tama ditentukan terlebih dahulu teknik pengkodean data yang akan digunakan. Pada transmisi sinyal digital, proses *recovery* data disisi penerima membutuhkan rangkaian *sampling* yang beroperasi pada sistem *clock*. Oleh karena itu, pemilihan jenis pengkodean juga akan mempengaruhi sistem yang akan dibangun (Anggun Fitrian, 2009).

Pada proses perencanaan jaringan serat optik, hal yang penting harus diperhatikan adalah mengenai format sinyal optik yang akan ditransmisikan. Dikatakan penting karena pada praktiknya, setiap data optik digital di sisi *receiver* harus bisa menarik seluruh informasi dari sinyal optik yang datang dengan pewaktuan yang tepat. *Line coding* yang digunakan dalam transmisi serat optik adalah kode biner.

Pada kode RZ, deretan bit yang akan ditransmisikan dikodekan dengan bit 1 dinyatakan oleh pulsa positif dan bit 0 dinyatakan dengan pulsa negatif. Untuk setiap bit, level sinyal akan kembali pada level nol (sehingga disebut *return to zero*).



Gambar 2.15. Format *Line Coding* RZ

(Sumber: Anggun Fitrian, 2009)

Menurut penelitian Imam Santoso (2015) tentang perbandingan jenis *line coding*, untuk *line coding* RZ menunjukkan nilai BER  $10^{-16}$ , *Q-Factor* 8,45904, toleransi terhadap dispersi 0,81 ps/km, toleransi *nonlinearitas* 3,15 dBm, sensitivitas penerima optik

-2,086 dBm.

## 2.9 Bit Error Rate (BER)

Indikator performansi untuk jaringan komunikasi digital adalah *Bit Error Rate* (BER). BER didefinisikan sebagai jumlah kesalahan *bit*  $N_E$  yang terjadi selama suatu interval waktu tertentu, dibagi dengan jumlah *bit* total ( $N_T$ ) yang dikirim selama selang waktu tersebut. Dalam komunikasi optik dapat dikatakan baik apabila *sensitivitas* pada *receiver* dapat mencapai BER yang direkomendasikan ITU-T yaitu mencapai  $10^{-12}$  untuk *system* WDM. Dalam bentuk persamaan matematis dapat ditulis sebagai berikut (Gusmawandi, 2016):

$$BER = \frac{N_E}{N_T} \quad \dots \quad (2.3)$$

Dimana  $N_E$  = Jumlah bit yang salah

$N_T$  = Jumlah bit diterima

## 2.10 Power Budget

*Power budget* mencakup perhitungan level daya dari *transmitter* samapai *receiver*. Parameter-parameter yang mempengaruhi *power budget* yaitu sebagai berikut (Zulfadly, 2016):

1. Redaman serat optik
2. Daya yang dikopelkan ke serat optik
3. Rugi-rugi lainnya, seperti rugi-rugi *splice* dan konektor
4. *Equalization penalty*
5. *Minimum require power* pada *Photodetector*

*Power budget* optik dapat dihitung dengan menggunakan seluruh parameter diatas seperti persamaan berikut (Rika Susanti, 2013):

$$P_r = P_t - \text{total redaman} \quad (2.4)$$

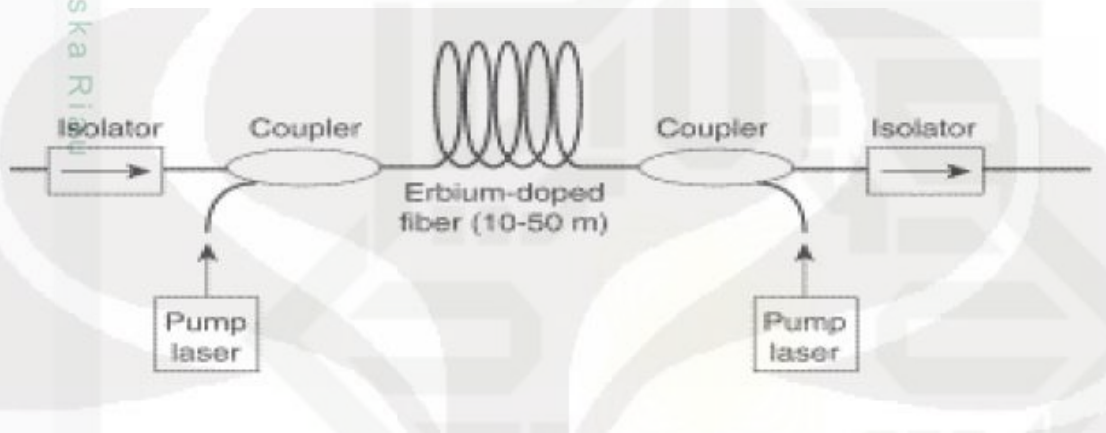
Keterangan:

$P_t$  : daya input sistem atau daya yang dilaunchkan ke serat optik (dalam dBm).

$P_r$  : daya yang diterima pada *Photodetector* (satuan dBm).

## 2.11 Erbium Doped Fiber Amplifier (EDFA)

EDFA merupakan salah satu jenis penguat optik yang turut memberikan kontribusi besar bagi perkembangan teknologi DWDM. Penguat ini melakukan proses penguatan sinyal optik tanpa terlebih dahulu melakukan proses konversi sinyal tersebut menjadi elektrik, seperti terdapat pada *repeater* atau penguat elektronik. Secara fisik, EDFA merupakan serat optik aktif yang terdoping oleh unsur erbium ( $\text{Er}^{3+}$ ). Struktur fisik sistem penguat optik secara umum dapat digambarkan seperti yang terlihat pada gambar 2.16 di bawah ini (Dian Agus Salim, 2008).



Gambar 2.16 Struktur Fisik EDFA  
(Sumber: Dian Agus Salim, 2008)

Pada aplikasinya, EDFA dapat digunakan sebagai *booster amplifier* (ditempatkan setelah pengirim *laser*), *in-line amplifier* (terletak antara terminal pengirim dan penerima), dan *pre-amplifier* (ditempatkan sebelum *photodetector*).