

## BAB 2

### DASAR TEORI

#### 2.1 KAJIAN PUSTAKA

Tabel 2.1 berikut merupakan rangkuman Kajian Pustaka dari penelitian-penelitian yang telah dilakukan sebelumnya.

**Tabel 2.1 Kajian Pustaka**

No	Peneliti	Metode	Hasil
1	Dewiani Djamaluddin [2017]	Membandingkan performansi penguat <i>EDFA</i> dan <i>SOA</i> pada Transmisi <i>DWDM</i> 40 Kanal dengan Jarak <i>Link</i> 150 Km	Penguat <i>EDFA</i> memiliki performa kerja sistem yang lebih baik dibandingkan <i>SOA</i>
2	Nova Ade Kurniawan [2018]	Membandingkan performansi penguat <i>SOA</i> , <i>EDFA</i> , dan <i>ROA</i> untuk mengatasi pelemahan sinyal yang terjadi disepanjang transmisi <i>DWDM</i> 8 dengan Jarak <i>Link</i> 100, 150, dan 200 Km	Penguat <i>EDFA</i> memiliki kinerja sistem yang baik untuk digunakan pada komunikasi serat optik jarak jauh
3	Winda Friandawa [2017]	Menganalisis performansi <i>EDFA</i> terhadap Transmisi <i>DWDM</i> dengan skema <i>booster</i> , <i>Inline</i> , dan <i>Pre-Amplifier</i> pada jarak <i>link</i> 72, 142, dan 396 Km dengan <i>Bit rate</i> 10 dan 40 Gbps dan pengkodean RZ dan NRZ	<i>Booster Amplifier</i> menghasilkan kinerja sistem paling baik pada kondisi panjang <i>link</i> 72 Km, bitrate 10 Gbps dan line coding RZ.
4	Amin Sudibyo [2018]	Menganalisis performansi Penguat <i>Hybrid (ROA-EDFA)</i> pada <i>DWDM</i> 32 Kanal Berbasis <i>Soliton</i> pada jarak <i>link</i> 20, 60, dan 100 Km menggunakan skema <i>Booster-Amplifier</i> dan <i>Inline-Pre Amplifier</i>	BER dan <i>Q-Factor</i> terbaik saat menggunakan skema <i>Inline-Pre Amplifier</i> pada jarak 60 Km.

Pada penelitian Dewiani Djamaluddin dkk (2017) yang berjudul “Analisis *Amplifier EDFA* dan *SOA* pada Sistem Transmisi *DWDM* dengan Optisystem 14”, penggunaan *Amplifier EDFA* dan *SOA* dibandingkan dan dianalisis pada sistem

transmisi *DWDM* 40 kanal dengan spasi kanal 100 GHz , panjang *link* 150 km, menggunakan *bit rate* 10 Gbps, menggunakan gabungan tipe *Amplifier EDFA* dan *SOA* pada lokasi *Amplifier booster*, *Amplifier inline*, dan *pre-Amplifier* sesuai rasio signal-to-noise optik (*OSNR*) dan faktor kualitas (Q- faktor) dan parameter tingkat kesalahan bit (*BER*). Berdasarkan perencanaan anggaran daya, diperoleh hasil dari ketiga pilihan desain enhancement yaitu *boost – inline* dengan nilai -17.6 dBm, *boost – pre Amplifier* dengan nilai -17.25 dBm dan *inline – pre Amplifier* dengan nilai -14.18 dBm, selalu lebih tinggi dari nilai sensitivitasnya. Penerima ditentukan sebagai -18 dBm. Berdasarkan hasil simulasi, *Amplifier* yang paling baik digunakan adalah kombinasi *EDFA* pada sisi *boost* dan *EDFA* pada sisi *inline* dengan nilai *BER* antara  $10^{-19}$  dan  $10^{-32}$ . Penguat *EDFA* memiliki kinerja yang lebih baik dan stabil dibandingkan penguat *SOA* pada sistem *DWDM* 40 saluran [8].

Kemudian pada penelitian Nova Ade Kurniawan (2018) dengan judul “Analisis Perbandingan Unjuk Kerja *SOA*, *EDFA*, dan *ROA* Pada Sistem *Dense Wavelength Division Multiplexing*”, membandingkan performansi penguat *SOA*, *EDFA*, dan *ROA* untuk mengatasi pelemahan sinyal yang terjadi disepanjang transmisi *DWDM* 8 Kanal dimana Panjang gelombang yang digunakan 1552,52 – 1546,92 nm dengan spasi kanal 0,8 nm, jarak *link* 100, 150, dan 200 Km, menggunakan Daya *laser* 8 dBm, bitrate 2,5 Gbps, dan menggunakan *Photodetector APD* karena spesifikasinya yang baik digunakan untuk *link* komunikasi jarak jauh dan *bit rate* yang tinggi. Berdasarkan hasil pengujian yang dilakukan dengan panjang *link* optik 100 km, penguat optik *ROA* memberikan performa terbaik dengan nilai *Q-Factor* dengan nilai 85,752 dan *BER* dengan nilai 0, sedangkan pada jarak *link* optik 150 km, penguat optik *EDFA Amplifier* mencapai kinerja terbaik dengan nilai faktor Q dengan nilai 47,627 dan *BER* dengan nilai 0. Dan untuk panjang *link* 200 km, penguat optik *EDFA* mencapai kinerja terbaik dengan Q dengan nilai 15,062 dan *BER* 5,76E-047. Berdasarkan hasil pengujian yang diperoleh, penguat optik jenis *EDFA* mempunyai kinerja yang baik untuk digunakan pada komunikasi serat optik jarak jauh. [6].

Pada penelitian Winda Friandawa (2017) dengan judul “Analisa Kinerja Sistem Komunikasi Optik Jarak Jauh Dengan Teknologi *DWDM* dan Penguat (*EDFA*)” membahas bagaimana daya terima sinyal yang dihasilkan dari pengaruh

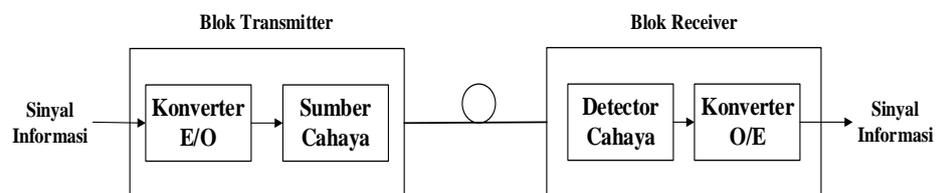
penggunaan *EDFA* dengan variasi *Gain EDFA* 10-20 dB dengan skema *booster*, *inline*, dan *pre-Amplifier* menggunakan parameter system *Bit Error Rate* dan *Q-Factor*. Spesifikasi penelitian ini yaitu transmisi *DWDM* 16 Kanal bekerja pada Panjang gelombang 1530 – 1542 nm dengan spasi kanal 0,8 nm, daya *CW Laser* 0 dBm, *Bit rate* yang digunakan 10 dan 40 Gbps dengan pengkodean RZ dan NRZ, dan Panjang *link* 72 Km, 142 Km dan 396 Km. Hasilnya yaitu *EDFA* pada skema *booster Amplifier* maksimal saat *Gain* 20 dB dengan nilai *Q-Factor* 7.48501 dan *BER*  $2.89 \times 10^{-14}$  pada *bit rate* 10 Gbps dan pengkodean kanal RZ dan Panjang *link* 72 Km. Kemudian *EDFA* pada skema *inline Amplifier* kinerja system maksimal saat *Gain* 22 dB dengan nilai *Q-Factor* 6.80237 dan *BER*  $4.7015 \times 10^{-12}$  ketika Panjang *link* 72 Km, *bit rate* 10 Gbps, dan pengkodean kanal RZ. Dan skema yang terakhir yaitu *EDFA* dengan posisi *pre-Amplifier* kinerja system maksimal saat *Gain* 22 dB dengan nilai *Q-Factor* 4.48857 dan *BER*  $2.23 \times 10^{-6}$  ketika Panjang *link* 142 Km, *bitrate* 10 Gbps, dan line coding NRZ [3].

Pada penelitian Amin Sudibyo dkk (2018) dengan judul “Analisis Unjuk Kerja Penguat *Hybrid* pada Sistem *DWDM* (Dense Panjang gelombang Division Multiplexing)” dijelaskan pada Transmisi Serat optik *DWDM* dapat terjadi gangguan sehingga menggunakan penguat *EDFA* dan *SOA* untuk menangani gangguan tersebut. Pengujian menggunakan Optisystem dimana transmisi *DWDM* 32 Kanal dengan rentang frekuensi 191.6 - 194.7 THz, spasi kanal 100 GHz, Panjang *link* 100 Km, variasi Daya *Laser* -4, -2, 0, 2, 4 dBm, dan *Bit rate* 2,5 Gbps dan 10 Gbps dan penempatan penguatan *inline Amplifier* dan *pre-Amplifier* untuk melihat kualitas daya yang diterima berdasarkan *Q-Factor* dan BER. Untuk daya rendah -4 dBm dan -2 dBm, skenario 2 dengan penempatan *Amplifier EDFA inline* dan *SOA* pada *pre-Amplifier* memiliki kinerja lebih optimal dibandingkan skenario lainnya, sedangkan untuk daya *laser* tinggi 0, 2, dan 4 dBm, skenario 1 dengan *inline SOA* dan *EDFA* penempatan *Amplifier* pada *pre-Amplifier* memiliki performa yang lebih baik dibandingkan case lainnya. Berdasarkan hasil penelitian, perbedaan daya sumber *laser* dan perbedaan lokasi *Amplifier* mempengaruhi kinerja sistem [9].

## 2.2 DASAR TEORI

### 2.2.1 Sistem Komunikasi Serat optik

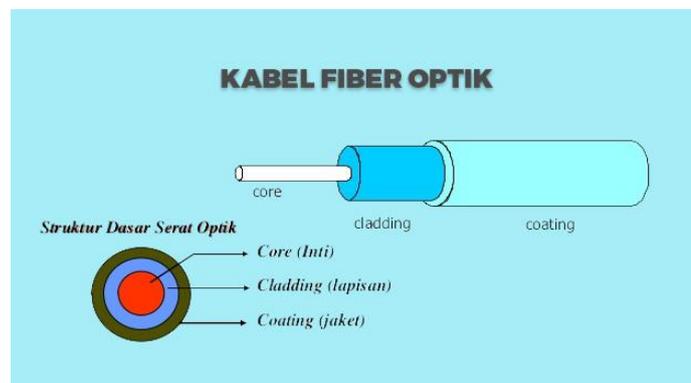
Sistem komunikasi serat optik menggunakan cahaya sebagai gelombang pembawa untuk informasi yang dikirimkan. Di bagian *Transmitter*, sinyal informasi diubah menjadi sinyal optis. Sinyal informasi tersebut kemudian ditransmisikan ke saluran transmisi, yang juga terbuat dari fiberglass dan berfungsi sebagai pandu gelombang. Kemudian pada sisi penerima, berkas cahaya ditangkap oleh *Photodetector* yang bertugas mengubah besaran optik menjadi besaran listrik seperti pada Gambar 2.1 [10].



**Gambar 2.1 Sistem Komunikasi Serat optik**

Gambar 2.1 memperlihatkan blok diagram sistem komunikasi serat optik yang terdiri dari Sinyal Informasi, Konverter E/O, Sumber Cahaya, Media Transmisi Serat optik, Detektor Cahaya, Konverter O/E, yang masing-masing lintasan mengalami penyusutan daya dan waktu tunda yang dan Sinyal Informasi yang diterima.

Serat Optik terdiri dari tiga bagian diantaranya *Core*, *Cladding* dan *Coating* dimana masing-masing bagian memiliki fungsi yang berbeda seperti pada Gambar 2.2 [11]



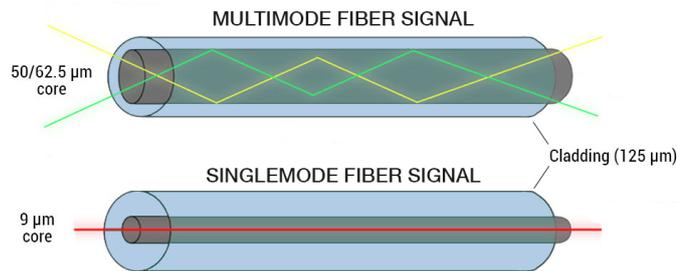
**Gambar 2.2 Struktur Serat optik [12]**

- Core* (Inti Serat), memiliki fungsi sebagai media penghantar cahaya dari sisi pengirim ke sisi penerima.

- b. *Cladding*, (lapisan utama serat) memiliki fungsi sebagai pelindung penghantar cahaya agar tidak keluar dari inti kabel.
- c. *Coating* (lapisan serat), memiliki sebagai pelindung mekanis [11].

### 2.2.1.1 Jenis-jenis Serat optik

Jaringan serat optik memiliki berbagai model serat, yang biasanya dapat dengan mudah diidentifikasi dengan melihat *Transmitter* (medium transmisi data) yang digunakannya.



**Gambar 2.3 Ilustrasi *Multimode* dan *Singlemode* fiber** [13]

Berikut ini merupakan tipe-tipe serat optik yang di representasikan pada Gambar 2.3

#### a. *Single mode*

Kabel jaringan serat optik jenis *single mode* memiliki inti (*core*) yang relatif kecil, memiliki diameter sekitar 0,00035 *inch* atau 9 *micron*. Jenis kabel serat optik tersebut menggunakan *Transmitter laser* semikonduktor yang mengirimkan sinar *laser infrared* dengan panjang gelombang 1300-1550 nm. Disebut sebagai '*single mode*' disebabkan penggunaan kabel serat optik ini hanya memungkinkan terjadinya satu modus cahaya saja yang dapat tersebar melalui inti pada suatu waktu.

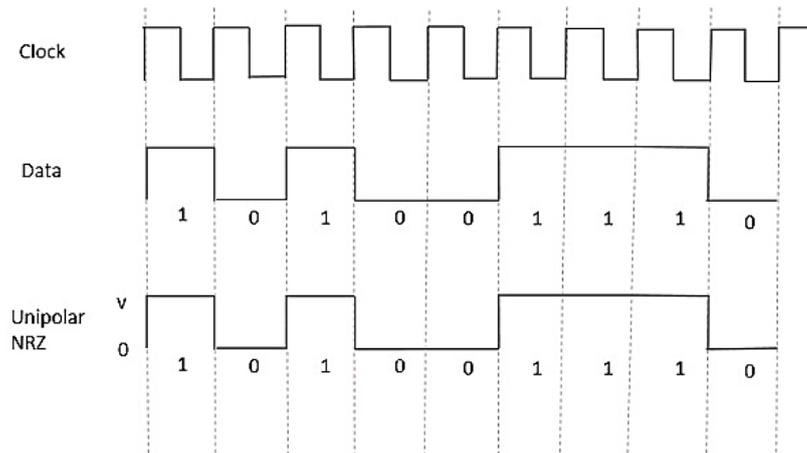
#### b. *Multi Mode*

*Multimode* adalah jenis kabel serat optik dengan inti lebih besar dari kabel serat optik mode tunggal, diameternya sekitar 0,0025 *inch* atau 62,5 *micron*. Berkat ukurannya yang lebih besar, penggunaan kabel serat optik jenis ini memungkinkan ratusan mode cahaya ditransmisikan secara bersamaan melalui serat. Kabel serat optik *multimode* ini menggunakan LED sebagai media transmisinya dan ditujukan untuk penggunaan komersial [14].

### 2.2.1.2 Pengkodean Kanal NRZ

Pengkodean Kanal merupakan proses transformasi data digital menjadi sinyal digital agar dapat dipindahkan melalui jaringan serat optik. *NRZ* dan *RZ* merupakan jenis line coding yang sering digunakan dalam jaringan serat optik.

Studi sebelumnya telah mengevaluasi kinerja *Bit Error Rate*, *Threshold*, *Eye Height*, dan *Q-Factor* pada pengkodean kanal *NRZ* dan *RZ*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa line coding *NRZ* memiliki kinerja yang lebih baik dibandingkan dengan line coding *RZ* ketika digunakan pada jarak 100 km.



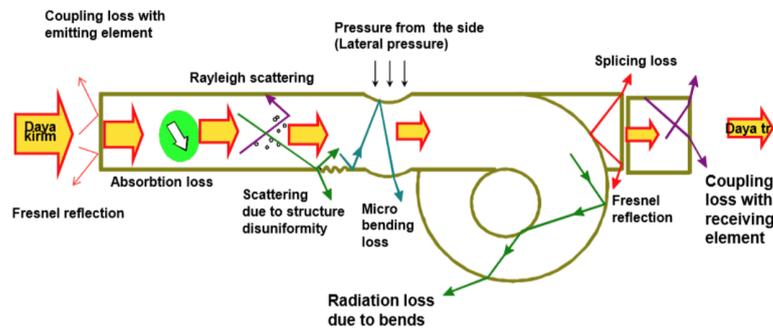
**Gambar 2.4** Line Coding NRZ

Gambar 2.4 merupakan representasi pengkodean kanal *NRZ*. *NRZ* adalah bentuk sinyal listrik yang paling umum digunakan dalam sistem digital. Setiap simbol memiliki nilai konstan yang mewakili bit biner 1 atau 0. Pada *NRZ*, satu elemen data terdiri dari satu elemen sinyal, seperti yang terlihat pada Gambar 3. Kelebihan *NRZ* terletak pada jumlah transisi yang lebih sedikit antara 0 dan 1 dibandingkan dengan *RZ*. Ini disebabkan karena amplitudo sinyal tetap, baik bitnya adalah 1 atau 0 secara berturut-turut. Dengan demikian, *bandwidth* sinyal *NRZ* lebih rendah dibandingkan dengan sinyal *RZ* [15].

### 2.2.1.3 Redaman Atenuasi Pada Serat optik

Mengetahui redaman optik sangatlah penting terutama pada saat merancang sistem komunikasi serat optik itu sendiri. Atenuasi optik pada kabel serat optik adalah pengurangan daya optik rata-rata dalam kabel serat optik, biasanya dinyatakan dalam desibel tak bertanda negatif (dB). Di bawah ini adalah beberapa

faktor yang berkontribusi terhadap redaman optik pada serat optik dan ditunjukkan pada Gambar 2.5. [16]

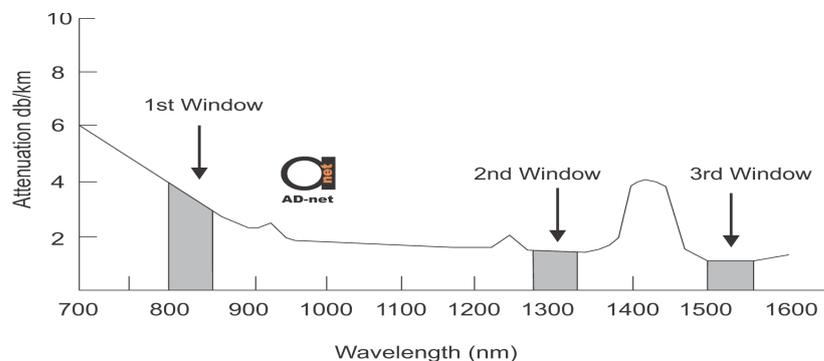


**Gambar 2.5** Macam-macam redaman pada Serat optik [17]

- Penyerapan (*Absorption*) Rugi-rugi cahaya yang disebabkan adanya kotoran dalam serat optik.
- Penyebaran (*Scattering*).
- Kehilangan radiasi (*radiative losses*) [16].

Atenuasi pada serat optik parameter krusial yang harus dipertimbangkan ketika menentukan jarak ke *repeater* dan memilih jenis *transceiver* optik. Redaman sinyal optik yang berpropagasi melalui serat memegang peran dalam menentukan jarak maksimum transmisi antara pemancar dan penerima. Oleh karena itu, menjadi pertimbangan utama dalam perancangan sistem komunikasi optik. [14].

Oleh karena itu, rentang redaman yang diperbolehkan adalah 0,3 hingga 0,4 dB/km untuk panjang gelombang 1310 nm dan 0,17 hingga 0,25 dB/km untuk panjang gelombang 1550 nm. Spektrum panjang gelombang diperoleh dari pengukuran pada panjang gelombang yang berbeda. Kurva panjang gelombang terhadap atenuasi direpresentasikan pada gambar 2.6.



**Gambar 2.6** Optical Transmission Windows [18]

Berdasarkan gambar 2.6 diatas, standar redaman serat dapat dibagi menjadi tiga *window* atau *band* sebagai berikut

a. *Short Wavelength Band (first window)*

Rentang gelombang ini mencakup 800 – 900 nm, yang merupakan periode awal penemuan serat optik pada tahun 1970-an dan awal 1980-an. Pemanfaatan jalur ini dapat menghasilkan penghematan biaya dalam hal sumber optik dan detektor.

b. *Medium wavelength band (second window)*

Jalur ini berada pada panjang gelombang 1310 nm, diperkenalkan pertengahan tahun 1980-an. Pada kondisi ini, dispersinya adalah 0 untuk serat mode tunggal. Meskipun sumber dan detektor optiknya lebih mahal, redaman seratnya hanya dengan nilai 0,4 dB/km.

c. *Long wavelength band (third window)*

Rentang gelombang ini berkisar antara 1510 nm dan 1600 nm, mulai digunakan pada tahun 1990-an hingga saat ini, dengan redaman terendah 0,17 hingga 0,25 dB/km terjadi pada panjang gelombang 1550 nm [14].

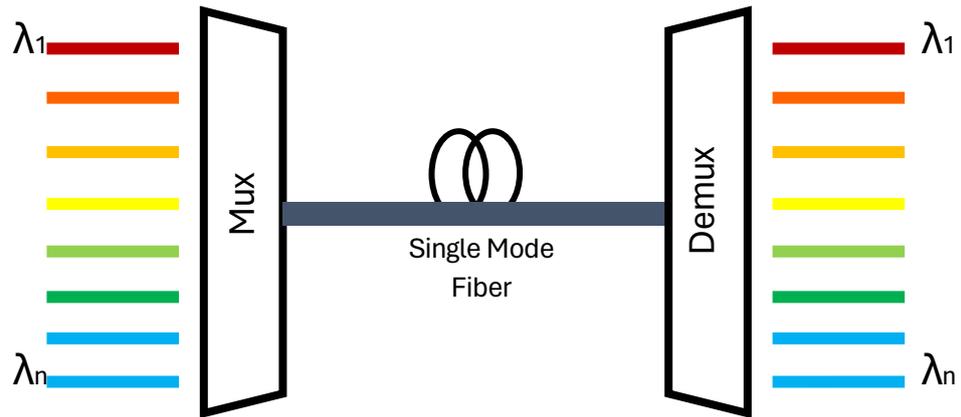
#### **2.2.1.4 Bit Rate**

*Bit Rate*, juga dikenal sebagai kecepatan data, adalah pengukuran dasar dari jumlah bit yang ditransmisikan per detik melalui link serat optik. *Bit rate* mengukur banyaknya data yang dapat ditransfer melalui saluran serat optik dalam jangka waktu tertentu. Unit pengukuran umumnya adalah bit per detik (bps), di mana 1 bps mewakili satu bit yang ditransmisikan dalam satu detik. Kecepatan bit yang lebih tinggi menunjukkan kapasitas data yang lebih besar, yang mengarah pada transmisi data yang lebih cepat [19].

### **2.2.2 DWDM (Dense Wavelength Division Multiplexing)**

#### **2.2.2.1 Konsep Dasar DWDM**

*DWDM* adalah sebuah metode transmisi yang menggunakan berbagai panjang gelombang cahaya sebagai saluran-saluran informasi. Dengan melakukan proses multiplexing yaitu menggabungkan beberapa panjang gelombang yang berbeda pada satu media transmisi, seluruh panjang gelombang tersebut dapat dikirimkan melalui satu serat optik, seperti yang tergambar pada Gambar 2.7.



**Gambar 2.7 Konsep DWDM**

DWDM memanfaatkan sistem *Synchronous Digital Hierarchy* yang sudah ada dengan cara menggabungkan beberapa sumber sinyal yang ada, menciptakan solusi terintegrasi. Sebagai teknologi *transport network*, DWDM memiliki kapasitas untuk mentransmisikan beberapa panjang gelombang dengan berbagai kapasitas informasi, mulai dari 4 Gbps, 8 Gbps, 16 Gbps, 32 Gbps, dan seterusnya, melalui satu serat optik tunggal. Dengan kata lain, jika empat gelombang digunakan dalam satu serat optik, kecepatan transmisinya menjadi  $4 \times 10$  Gbps (kecepatan awal menggunakan teknologi *Synchronous Digital Hierarchy*) [20]. DWDM bekerja pada panjang gelombang 1529 – 1561 nm (*C-Band*) dan 1570 – 1603 nm (*L-Band*) [21].

Perbedaan utama antara DWDM dan jenis WDM lainnya terletak pada kerapatan frekuensinya. Berdasarkan standar ITU-T G.671, sistem WDM dapat diklasifikasikan menjadi tiga kategori [22] :

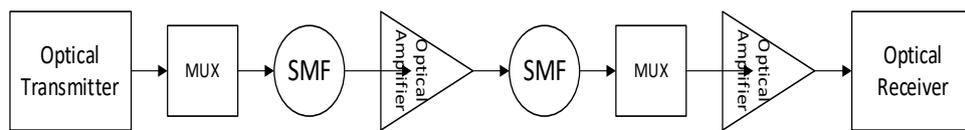
- a. *Coarse WDM*. Menggunakan spasi kanal antar kanal antara 1000 GHz (8 nm) dan 50 nm.
- b. *Dense WDM*. Memiliki spasi kanal kurang dari 1000 GHz
- c. *Wide WDM*. Memiliki spasi kanal sangat lebar yaitu lebih dari 50 nm [22].

#### 2.2.2.2 Komponen Dasar DWDM

Jaringan DWDM memiliki beberapa komponen penting diantaranya :

- a. *Transmitter* yaitu komponen yang terdiri *laser*, sumber informasi, dan *modulator* yang terletak sebelum *multiplexer* pada sistem DWDM.

- b. *Receiver* terdiri dari komponen photodioda dan filter yang menerima sinyal informasi dari *demultiplexer* untuk dapat dipisahkan kembali sesuai kanal masing-masing.
- c. *DWDM terminal multiplexer*. *Terminal multiplexer* ini terbentuk oleh transponder yang mengonversi panjang gelombang untuk setiap sinyal tertentu yang akan ditransmisikan.
- d. *Intermediate optical terminal* (penguat). Komponen ini berfungsi sebagai penguat jarak jauh yang memperkuat sinyal dengan berbagai panjang gelombang yang ditransmisikan hingga mencapai jarak sekitar 140 km atau lebih.
- e. *DWDM terminal demultiplexer*. Terminal ini mengubah sinyal dengan berbagai panjang gelombang menjadi sinyal dengan hanya satu panjang gelombang, lalu membaginya ke beberapa serat optik yang berbeda untuk setiap pelanggan agar dapat dideteksi [8].



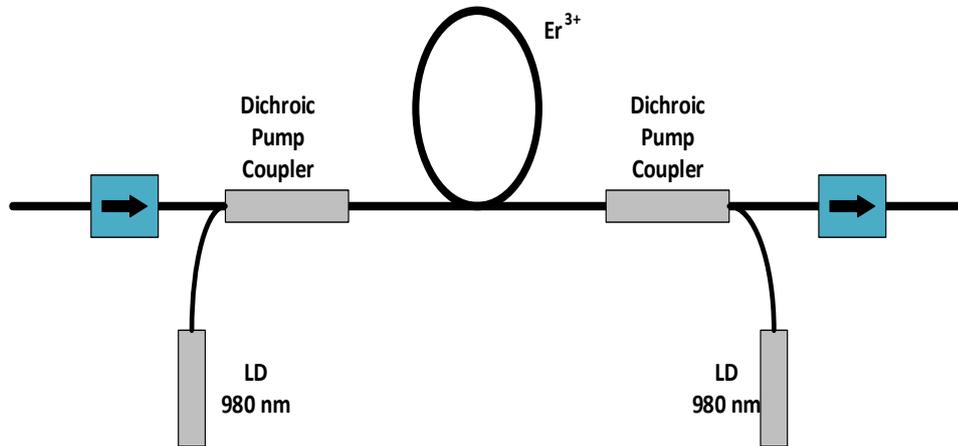
**Gambar 2.8 Komponen DWDM**

### 2.2.3 PENGUAT EDFA (ERBIUM-DOPPED FIBER AMPLIFIER)

*Erbium-doped Fiber Amplifiers (EDFA)*, atau yang dikenal dengan singkatan *EDFA*, adalah perangkat yang digunakan untuk meningkatkan kekuatan sinyal optik. Secara prinsip, perangkat *laser* digunakan untuk merangsang serat yang mengandung *erbium*, dan atom-atom dalam serat tersebut akan berpindah dari tingkat energi terendah ke tingkat energi yang lebih tinggi. Sinyal optik yang melewati serat yang mengandung *erbium* berperan sebagai pemicu, memicu emisi energi foton. Energi tersebut bersifat koheren, sehingga menyebabkan penguatan (*Gain*) sinyal secara optik [3].

*EDFA* beroperasi untuk meningkatkan kekuatan sinyal optik, seperti yang diilustrasikan pada Gambar 2.9, menggunakan *laser* pompa yang telah didoping dengan *erbium* ke dalam serat optik. Doping *erbium* pada serat optik menyebabkan perpindahan energi dari pita yang rendah ke pita energi yang lebih tinggi. Saat sinyal optik melalui serat optik yang telah didoping dengan *erbium*, terjadi

penguatan melalui emisi yang terstimulasi, dan energi foton dilepaskan pada panjang gelombang antara 1530 nm dan 1562 nm sehingga penguat EDFA sesuai dengan spesifikasi DWDM yang bekerja pada panjang gelombang 1529 – 1561 nm [23].

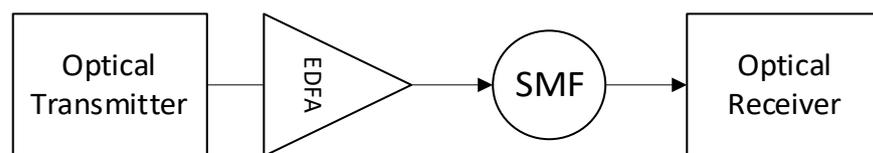


**Gambar 2.9 Konfigurasi Penguat EDFA pada Serat optik**

### 2.2.3.1 Posisi Implementasi Penguat EDFA

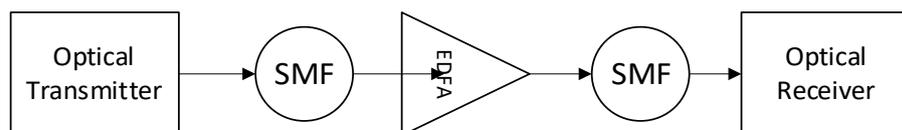
EDFA dapat di implementasikan pada tiga posisi, yaitu Power (*Booster*) Amplifier, In-Line Amplifier, dan Pre-Amplifier.

- a) *Booster Amplifier*, berfungsi untuk meningkatkan daya sinyal yang keluar dari pemancar (*Transmitter*), pada gambar 2.10 ditempatkan setelah *multiplexer*.



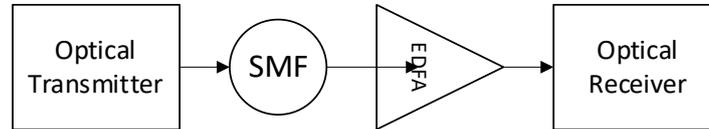
**Gambar 2.10 Booster Amplifier**

- b) *In-Line Amplifier*, digunakan untuk memperkuat daya sinyal yang sedang bertransmisi di dalam serat optik, pada Gambar 2.11 ditempatkan langsung pada serat optik.



**Gambar 2.11 Inline Amplifier**

- c) *Pre-Amplifier*, berfungsi untuk meningkatkan daya sinyal yang akan memasuki *demultiplexer* dan kemudian akan dideteksi oleh fotodetektor [23].



**Gambar 2.12 Pre Amplifier**

## 2.2.4 PARAMETER KINERJA SISTEM

### 2.2.4.1 BER (*BIT ERROR RATE*)

BER merupakan rasio jumlah terjadinya *error* pada total bit yang ditransmisikan, karena tidak semua bit yang ditransmisikan diterima secara lengkap. Pada jaringan komunikasi optik, standar nilai *Bit Error Rate* (BER) yang harus terpenuhi sesuai standard ITU-T berkisar antara  $10^{-6}$  hingga  $10^{-12}$ . Dengan kata lain, dari setiap  $10^{-9}$  hingga  $10^{-12}$  bit data yang dikirim, hanya terjadi 1 bit kesalahan. Jika  $N_E$  merupakan jumlah bit *error* dan  $N_T$  merupakan total bit yang di transmisikan, maka dapat ditulis pada persamaan 2.1 [22]

$$BER = \frac{N_E}{N_T} \quad (2.1)$$

### 2.2.4.2 *Q-FACTOR*

*Q-Factor* adalah sebuah parameter yang mengukur faktor kualitas yang akan menentukan sejauh mana suatu komunikasi dianggap baik atau buruk. Semakin tinggi nilai  $Q$ , semakin jelas perbedaan antara bit 0 dan 1, sehingga kemampuan deteksi bit menjadi lebih baik [24]. *Q-Factor* digunakan sebagai indikator kualitas dalam *link Wavelength Division Multiplexing* (WDM). Dalam konteks sistem komunikasi serat optik, terutama pada WDM, nilai *Q-Factor* yang dianggap baik minimal mencapai 6, atau setara dengan tingkat *Bit Error Rate* (BER) sekitar  $10^{-9}$  yang dapat dituliskan pada persamaan 2.2 [25]

$$Q = \frac{\mu_1 - \mu_2}{\sigma_1 - \sigma_2} \quad (2.2)$$

Dimana

$\mu_1$  = level dari bit 1

$\mu 1$  = level dari bit 0

$\sigma 1$  = standar deviasi bit 1

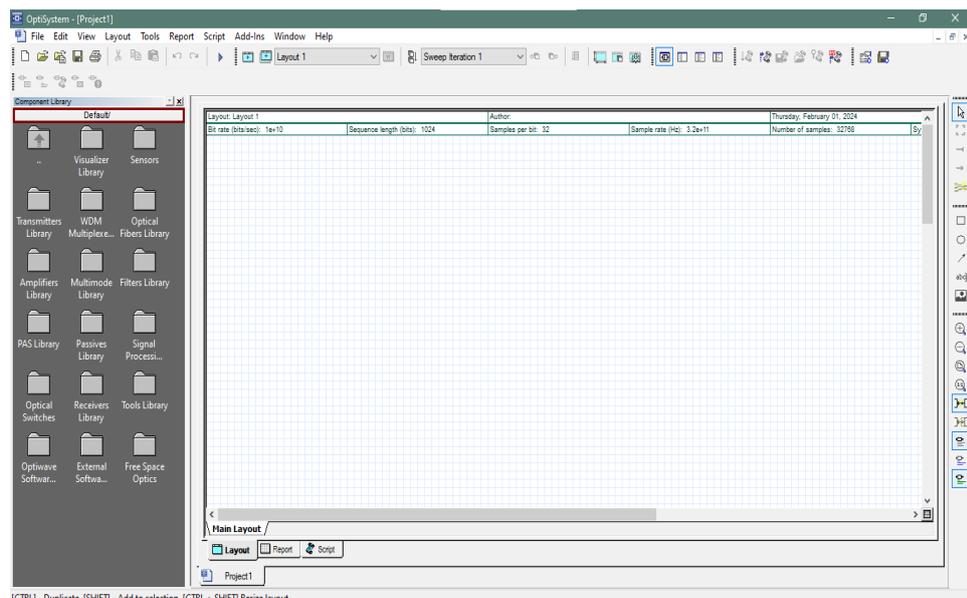
$\sigma 1$  = standar deviasi bit 1

## 2.2.5 SOFTWARE OPTISYSTEM

Optisystem 21 merupakan alat simulasi sistem yang sangat inovatif yang digunakan untuk merancang, memodelkan, menguji, dan mengoptimalkan jaringan optik secara virtual. Aplikasinya mencakup berbagai skenario mulai dari jaringan penyiaran *video analog* hingga jaringan *backbone*. Beberapa fitur kunci yang dimiliki Optisystem termasuk editor tata letak, halaman laporan, kemampuan skrip, antarmuka MATLAB, dan fitur lainnya [26]. Gambar 2.13 merupakan logo dari *Optisystem Design Software* dan Gambar 2.14 merupakan tampilan layout dari Optisystem 21.



Gambar 2.13 Logo *Optisystem* [27]



Gambar 2.14 Layout Optisystem 21