

BAB 2 DASAR TEORI

2.1 KAJIAN PUSTAKA

Pada penelitian Sures Kumar dan Deepak Sharma pada tahun 2017 membahas tentang analisis performansi modulasi NRZ dan RZ pada skema *link* serat optik menggunakan penguat EDFA. Penelitian tersebut menggunakan 32 kanal dengan *link* optik sepanjang 100 km. Penelitian tersebut membandingkan hasil performansi NRZ dan RZ menggunakan hasil *Q-Factor* dan BER pada sampel *link* 60, 80, dan 100 km dengan besar gelombang *laser pump source* 980 nm dan 1480 nm. Hasil dari penelitian tersebut didapatkan hasil *Q-factor* dan BER sepanjang *link* optik 100 km dengan *laser pump source* menggunakan 980 nm dan 1480 nm didapatkan hasil jenis pengkodean kanal RZ lebih baik untuk digunakan [3].

Pada penelitian Rajat Paliwal membahas tentang meningkatkan kinerja *link* optik DWDM 10 Gbps pada komunikasi optik berkecepatan tinggi. Pada penelitian ini membahas tentang bagaimana cara meningkatkan performansi sebuah *link* optik DWDM 10 Gbps dengan dengan membandingkan hasil *Q-factor* dan BER menggunakan 2 jenis pengkodean kanal NRZ dan RZ. Penelitian ini menggunakan 32 kanal dengan spasi kanal 100 GHz dan panjang *link* optik 50 km serta *Dispersion Compensating Fiber* (DCF) sepanjang 10 km. Pada penelitian tersebut kanal 1, 8 ,dan 16 menjadikan parameter penilain nilai *Q-factor* dan BER. Hasil dari simulasi berdasarkan nilai *Q-factor* dan BER jenis pengkodean kanal NRZ lebih baik digunakan [4].

Pada penelitian Famarz E. Seraji dan Marzieh Sadat Kiaee membahas tentang evaluasi hasil *Eye Diagram* pada modulasi NRZ dan RZ menggunakan *bitrate* 10 Gbps dan 160 Gbps pada jaringan WDM. Pada penelitian ini menggunakan pengkodean kanal NRZ dan RZ pada panjang *link* 100 km dan 400 km. Pada penelitian tersebut menggunakan 32 kanal dengan penguat EDFA. Hasil dari simulasi dengan *bitrate* 10 Gbps pada panjang *link* 100 km dan 400 km berdasarkan nilai *Q-factor* dan BER NRZ lebih baik digunakan sedangkan dengan

bitrate 160 Gbps pada panjang *link* 100 dan 400 km berdasarkan nilai *Q-factor* dan BER pengkodean kanal RZ lebih diunggulkan [5].

2.2 LANDASAN TEORI

2.2.1 SERAT OPTIK

2.2.1.1 Pengertian Serat Optik

Serat optik merupakan sebuah media transmisi yang terbuat dari kaca yang berfungsi sebagai media pentransmisi sinyal cahaya dari suatu tempat ke tempat lainnya. Sumber cahaya yang digunakan adalah *laser*, *laser* digunakan karena memiliki spektrum yang sangat sempit. Kecepatan transmisi serat optik sangat tinggi sehingga menjadi media transmisi yang sangat bagus digunakan sebagai media transmisi dibidang telekomunikasi [1]. Media transmisi serat optik memiliki beberapa keuntungan seperti [6] :

1. Memiliki kapasitas *bandwith* yang sangat lebar.

Di dalam bidang telekomunikasi sistem digital dapat mentransmisikan sinyal digital dengan kecepatan data yang sangat tinggi dengan ordo Mbit/s hingga Gbit/s. Sehingga dapat membawa sinyal informasi dengan kapasitas besar dan cepat.

2. *Loss transmision* (rugi transmisi) yang rendah.

Memiliki rugi transmisi rendah dapat memperkecil jumlah sambungan serta jumlah pengulangan yang dapat mengurangi kerumitan dan biaya pada sistem.

3. Memiliki ukuran yang sangat kecil dan ringan.

Serat optik memiliki diameter yang sangat kecil serta ringan sehingga mempermudah dalam penanganan dan instalasi.

4. Kebal terhadap *interferensi*.

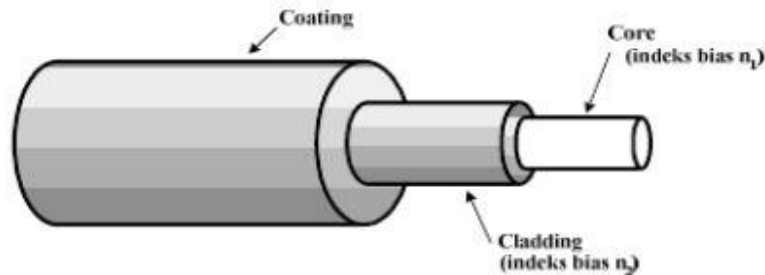
Serat optik bebas dari *noise* elektrik dan medan magnetik karena terdapat *waveguide* (pemandu gelombang) yang tahan terhadap interferensi elektromagnetik dan menjamin terbebas dari efek pulsa elektromagnetik dan radio frekuensi.

5. Terbebas dari efek elektrik.

Serat optik terbuat dari kaca silika yang bersifat isolator sehingga tidak terdapat energi listrik yang dapat mengakibatkan terjadi percikan api maupun ledakan.

2.2.1.2 Struktur Serat Optik

Pada media serat optik memiliki struktural kabel sebagai berikut [1]:



Gambar 2.1 Struktur Serat Optik [1]

1. Inti (*core*).

Inti (*core*) merupakan inti serat yang terbuat silika kaca dan memiliki diameter $5\ \mu\text{m} - 200\ \mu\text{m}$ [1]. Fungsi dari inti *core* sebagai tempat media perambatan cahaya dari ujung ke ujung yang lainnya maka dilakukanlah proses pengiriman gelombang cahaya akan merambat dan memiliki indeks bias lebih besar dari lapisan yang kedua cahaya tersebut merambat dari ujung satu ke ujung yang lain.

2. Selubung kulit (*cladding*).

Selubung kulit (*cladding*) merupakan pembungkus inti (*core*) yang terbuat dari bahan gelas dengan indeks bias yang lebih kecil dibandingkan inti sehingga hubungan indeks bias antara inti (*core*) dan selubung kulit (*cladding*) akan mempengaruhi perambatan cahaya pada inti (*core*).

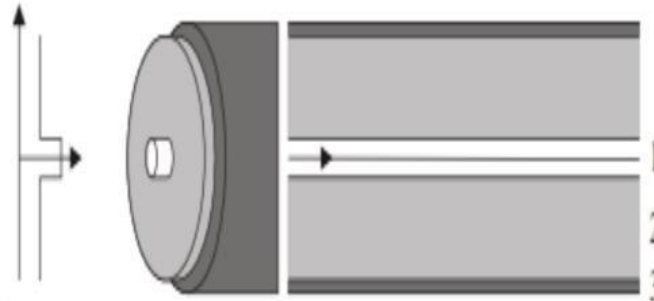
3. Jaket pembungkus (*coating*).

Coating merupakan sebuah bahan yang terbuat plastik yang elastis dan memiliki diameter $250\ \mu\text{m}$. *Coating* berfungsi sebagai pembungkus *core* dan *cladding* yang berguna untuk melindungi serat optik dari kerusakan yang bisanya terjadi akibat kelengkungan kabel ataupun gangguan luar seperti *interferensi* dan memperpanjang usia serat optik.

2.2.1.3 Jenis Serat optik

Jenis serat optik ada 2 yaitu :

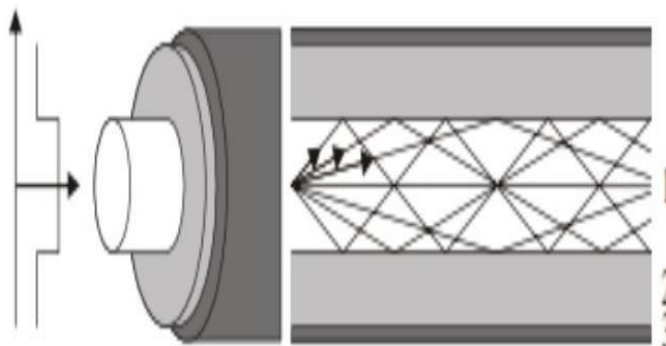
1. *Step Indeks SingleMode*



Gambar 2.2 *Step Indeks SingleMode* [7]

Step indeks singlemode memiliki inti yang sangat kecil dengan diameter yang relatif sempit $9\ \mu\text{m}$, cahaya merambat secara paralel di tengah yang membuat terjadinya beberapa *dispersi* pulsa. Jenis *singlemode* mentransmisikan gelombang *laser* dengan panjang gelombang $1300 - 1550\ \text{nm}$. Serat tersebut memiliki kurva *dispersi* dengan nilai sekitar $17\ \text{ps}/(\text{nm}/\text{km})$ pada $1,55\ \mu\text{m}$. Jenis *singlemode* dapat membawa *bandwith* yang lebih besar dengan jarak yang sangat jauh atau luas dibandingkan dengan jenis serat *multimode* [8].

2. *Step Indeks Multi Mode*



Gambar 2.3 *Step Indeks Multimode* [7]

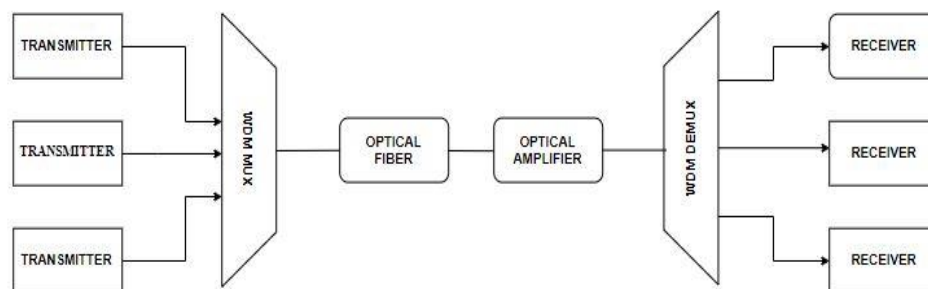
Step indeks multimode memiliki inti yang lebih besar dengan diameter $63,5\ \mu\text{m}$, serat *multimode* digunakan untuk mentransmisikan banyak sinyal di setiap serat. Jenis *multimode* mentransmisikan gelombang dengan panjang gelombang $850 - 1300\ \text{nm}$ dari lampu *light emitting diodes* (LED). Pada jenis serat *multimode* memerlukan nilai toleransi yang jauh lebih sedikit antara serat dan sumber cahaya.

Rugi-rugi *loss* pada jenis *multimode* 50 μm adalah sekitar 2,2 dB/km pada 850 nm dan 0,5 dB/km pada 1300 nm [8].

2.2.2 WAVELENGTH DIVISION MULTIPLEXING (WDM)

2.2.2.1 Pengertian *Wavelength Division Multiplexing*

Teknologi *Wavelength Division Multiplexing* (WDM) merupakan teknologi *transport* yang digunakan untuk menyalurkan jenis trafik (data, suara dan video) secara bersamaan. WDM *multiplexing* menggabungkan beberapa sinyal *carrier* pada sebuah jaringan optik dengan menggunakan beberapa panjang gelombang untuk membawa sinyal yang berbeda [9]. Pada gambar 2.4 beberapa *laser* memancarkan panjang gelombang yang berbeda lalu dilewatkan ke dalam *multiplexer* setelah itu dikirimkan melalui serat optik diterima oleh *demultiplexer* dan diujung penerima diberikan *port* keluaran untuk mendistribusikan daya optik ke setiap *port*. Pada sistem WDM memiliki 2 jenis yaitu *Dense Wavelength Division Multiplexing* (DWDM) dan *Coarse Wavelength Division Multiplexing* (CWDM). Kedua jenis perkembangan tersebut didasarkan pada konsep yaitu dengan memakai beberapa panjang gelombang namun keduanya berbeda pada lebar panjang gelombangnya, jumlah kanal, dan kemampuan untuk memperkuat sinyal pada sebuah *link* medium optik [9].



Gambar 2.4 Blok Diagram WDM

2.2.2.2 Dense *Wavelength Division Multiplexing* (DWDM)

Dense Wavelength Division Multiplexing merupakan teknik *multiplexing* dimana sebuah sinyal optik dengan panjang gelombang yang berbeda beda ditransmisikan secara bersamaan melalui serat optik tunggal. Pada teknologi DWDM memiliki prinsip kerja serupa dengan WDM. Pada sistem WDM memiliki

daerah panjang gelombang yaitu 1310 dan 1550 nm, dan pada perkembangannya yaitu DWDM memiliki panjang gelombang 1550, tetapi pada sistem DWDM terdapat pembagian lebar *spectrum* yang sangat kecil sehingga mendapatkan beberapa panjang gelombang [1]. Teknologi DWDM dapat membawa sejumlah panjang gelombang (4, 8, 16, 32 dan seterusnya). Masukan pada sistem trafik DWDM memiliki format laju bit yang berbeda yang dihubungkan dengan laser DWDM. Pada *laser* tersebut akan mengubah masing masing sinyal informasi dan akan memancarkan panjang gelombang yang berbeda beda $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \dots, \lambda_N$ yang di masukan dalam *multiplexer* lalu ditransmisikan sepanjang serat optik [1]. Spasi kanal merupakan jarak minimum antar panjang gelombang supaya tidak terjadi *interferensi* antar gelombang [1]. Spasi kanal yang digunakan pada teknologi DWDM sesuai ITU-T G.692 adalah 50 GHz (0,4 nm), 100 GHz (0,8 nm) dan 200 GHz (1,6 nm). Faktor yang mempengaruhi spasi kanal merupakan *bandwidth* pada penguat optik dan kemampuan penerima mengidentifikasi dua set panjang gelombang yang lebih rendah dalam spasi kanal. Oleh karena itu terdapat standarisasi kanal yaitu menggunakan spasi lamda atau spasi frekuensi. Persamaannya sebagai berikut [1]:

$$\Delta f \approx \frac{c}{\lambda^2} \Delta \lambda \quad (2.1)$$

Dimana :

Δf = Spasi frekuensi (GHz)

$\Delta \lambda$ = Spasi panjang gelombang (nm)

λ = Panjang gelombang daerah operasi (nm)

c = 3×10^8 m/s

Berikut beberapa komponen penyusun jaringan teknologi DWDM yaitu :

1. *Transmitter* dan *Receiver*

Transmitter berfungsi sebagai penghubung *multiplexer* dengan sumber sinyal *laser* dan *Receiver* menerima sinyal informasi yang dikirimkan oleh *transmitter*. Pada sisi transmitter memiliki 2 jenis sumber pengirim yaitu *Light emitting diodes* (LED) dan *Injection Laser Diodes*. *Light emitting diodes* (LED) merupakan sumber cahaya yang digunakan pada jenis serat *multimode*, pada serat *multimode* memiliki

spektrum yang lebar sehingga LED digunakan untuk jarak dekat sedangkan *Injection laser diode* merupakan sumber cahaya yang dapat digunakan pada jenis serat *singlemode* dan *multimode*. ILD cocok digunakan pada sistem transmisi optik jarak jauh. Contoh pada ILD adalah *CW laser* yang digunakan sebagai sumber cahaya untuk komunikasi optik jarak jauh ataupun dekat [6].

Pada sisi *receiver* merupakan sebagai sisi penerima untuk mendeteksi sinyal optik yang diterima dengan mengubah jenis optik menjadi listrik. Pada sisi tersebut terdapat 2 komponen yaitu PIN *Photodetector* dan *Avalanched Photodiode* (APD). PIN *Photodetector* merupakan lapisan semikonduktor yang digunakan pada transmisi optik dengan jarak yang relatif dekat hingga menengah sedangkan pada APD lebih memiliki tingkat sensitivitas yang lebih besar karena terdapat mekanisme penguat internal sehingga dapat menghasilkan elektron yang lebih banyak sehingga cocok digunakan pada sistem komunikasi optik jarak jauh [6].

2. Format Modulasi

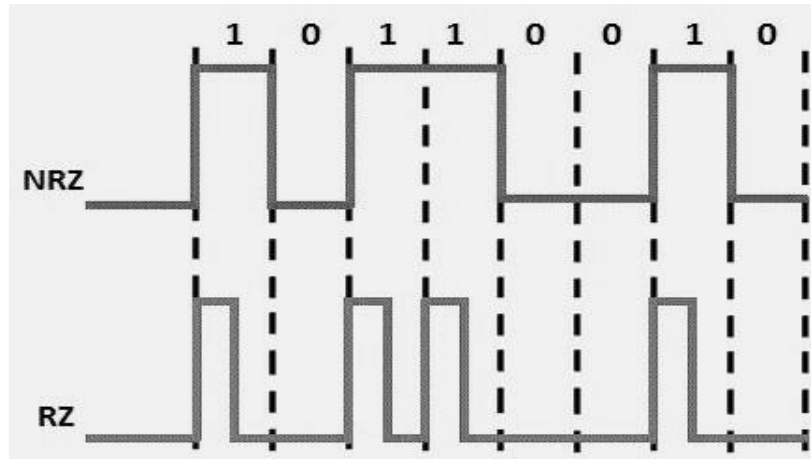
Format modulasi merupakan format keluaran setelah melewati modulator optik yang berfungsi untuk meminimalisir *error* yang di hasilkan pada saat terjadi proses pentransmisiian [10]. Proses modulasi terbagi menjadi 2 yaitu *direct modulation* dan *external modulation*. *Direct modulation* memiliki prinsip kerja hanya memancarkan cahaya ketika bit bernilai 1 dan tidak memancarkan cahaya ketika bit bernilai 0 sedangkan pada *external modulation* yaitu proses modulasi di luar sumber cahaya menggunakan bantuan perangkat modulator terpisah yang memiliki prinsip kerja akan menyeleksi bit 1 dan 0 dari cahaya yang dipancarkan [11]. Terdapat beberapa jenis pengkodean kanal, namun yang umum digunakan pada komunikasi optik adalah NRZ (*No-return to Zero*) dan RZ (*Retrun to Zero*).

A. NRZ (*Non-Return to Zero*)

Pengkodean kanal NRZ merupakan format dengan setiap data *stream* secara serial dan *on-off*, sinyal direpresantikan sebagai bit “1” dari masukan arus atau cahaya yang masuk direpresentasikan periode bit”0” sebagai tidak adanya cahaya yang masuk untuk ditransmisikan [6].

B. RZ (*Return to Zero*)

Pengkodean kanal RZ merupakan format yang memiliki nilai bit "1" merupakan setengah dari periode bit pertama atau kedua. Bit "0" direpresentasikan ketika tidak ada sinyal yang masuk pada periode bit [6].



Gambar 2.5 Pengkodean Kanal NRZ dan RZ [12]

3. Modulator *Mach-Zehnder*

Modulator *Mach-Zehnder* merupakan jenis modulator *elektro-optical* yang memiliki prinsip kerja seperti *interferometer Mach-Zehnder*. Pada prinsip kerja *interferometer Mach-Zehnder* merupakan perpaduan dua buah berkas cahaya yang didapatkan dari salah satu berkas asal dimana berkas tersebut dibagi dan disatukan kembali untuk dipadukan pada tempat yang berbeda. Sedangkan pada Modulator *Mach-Zehnder* memiliki prinsip kerja medan elektrik dari elektroda pemodulasi yang digunakan untuk mempengaruhi karakteristik pandu gelombang setelah itu akan mengubah mode perambatan berkas optik sehingga berkas optik pun berubah. Teknik modulasi *Mach-Zehnder* medan elektrik dari elektroda pemodulasi digunakan untuk mempengaruhi karakteristik pandu gelombang [13].

4. *Dispersion Compensating Fiber (DCF)*

Dispersion Compensating Fiber adalah jenis kompensator yang digunakan untuk menangani masalah *dispersi* pada serat optik. *Dispersi* merupakan pelebaran pulsa pada panjang gelombang saat merambat pada serat optik. *Dispersi* pada serat optik tersebut mengakibatkan terjadinya pelebaran pulsa sepanjang serat optik. Pada jenis serat optik *singlemode* memiliki nilai *dispersi* yang positif sedangkan

DCF memiliki nilai dispersi negatif, sehingga nilai *dispersi* total akan dijadikan nol. Kompensator DCF memiliki nilai *dispersi* negatif hingga -100 ps/km.nm dan digunakan pada serat optik yang memiliki nilai *dispersi* positif untuk proses pentransmisi [8].

Skema pada penggunaan DCF terdapat beberapa jenis yaitu *Pre Compensation* yang memposisikan DCF sebelum serat optik, *Post Compensation* memposisikan DCF setelah serat optik, dan *Symmetrical Compensation* yang memposisikan DCF setelah *multiplexer* dan sebelum *demultiplexer*. Adapaun persamaan untuk menentukan panjang DCF adalah :

$$D(\text{SMF}) \times L(\text{SMF}) + D(\text{DCF}) \times L(\text{DCF}) = 0 \quad (2.2)$$

Dimana L merupakan jarak pada serat SMF dan DCF, sedangkan D merupakan nilai *dispersi* pada serat SMF dan DCF [8].

5. *Optical Amplifier*

Optical amplifier merupakan penguat optik yang berfungsi untuk meningkatkan performa kemampuan jarak tempuh *pulse* cahaya dan mempertahankan kualitas transmisi tanpa melalui proses merubah kedalam bentuk elektrik terlebih dahulu [9]. Pada sistem DWDM menggunakan penguat sebagai berikut:

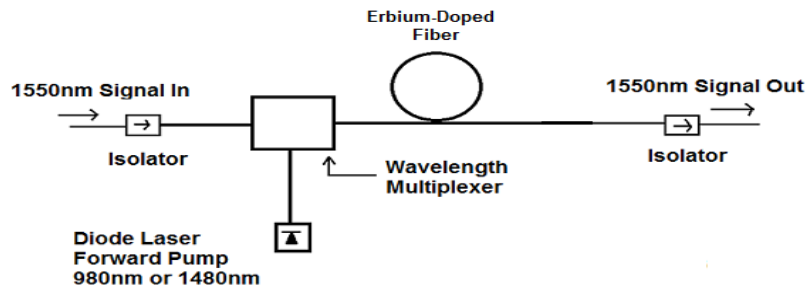
A. *Erbitium Doped Fiber Amplifier (EDFA)*

Erbitium Doped Fiber Amplifier merupakan suatu komponen sistem optik yang dapat mengurangi biaya serta meningkatkan performansi jaringan dalam sistem *link* komunikasi serat optik [8]. Beberapa keuntungan penggunaan EDFA yaitu [8]:

1. *High gain.*
2. *Large gain efficiency.*
3. *Gain at 1555 nm coinciding with the loss minimum of optical fibers.*
4. *Low noise figure, 3 dB at high gain.*
5. *Low polarization dependence.*
6. *Low channel to channel crosstalk.*

EDFA bekerja pada panjang gelombang 1550 nm serta terdapat *active* medium berupa *fiber silica* yang memiliki *doping* unsur *erbitium*. Dalam prinsip kerja EDFA terdiri dari *doped fiber*, *pump laser*, dan *optical isolator*. *Optical isolator* berguna untuk mencegah pemantulan sinyal yang telah diperkuat dimana

dapat menambah noise dan menurunkan efisiensi. Pada *pump laser* menggunakan gelombang 980 dan 1480 nm, namun penggunaan dengan panjang gelombang 980 nm lebih baik karena jika nilai *noise* lebih kecil dapat mendapatkan *interferensi* yang besar [8].

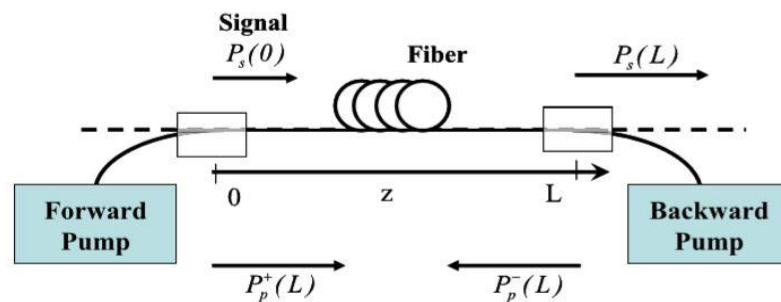


Gambar 2.6 Diagram Blok EDFA [14]

B. Raman Amplifier

Raman Amplifier merupakan penguat optik yang menghasilkan derau pada saat proses penguatannya. Raman amplifier memiliki rentan *bandwith* yang besar dengan spektrum panjang gelombang 1300 – 1600 nm [7]. Konfigurasi penguat raman menggunakan satu pompa dan ampifier dipompa depan ke depan atau ke belakang. Berikut manfaat raman amplifier [8] :

1. *Gain at any wavelength.*
2. *Wide bandwidth.*
3. *Distributed gain medium.*
4. *Intrinsic to silica.*



Gambar 2.7 Diagram Blok Raman Amplifier [8]

2.3 PARAMETER UNJUK KERJA

1. *Q-FACTOR*

Q-factor merupakan kualitas yang menentukan bagus atau tidaknya suatu *link* jaringan optik . Nilai minimum *link* optik *Q-factor* bernilai 6 atau 10^{-9} dalam *Bit Error Rate* (BER) [15].

2. *BIT ERROR RATE* (BER)

Bit Error Rate (BER) merupakan kesalahan laju bit yang terjadi dalam sistem transmisi *digital*, dimana besaran tersebut sebagai parameter untuk mengukur kualitas sinyal dalam sistem komunikasi *digital*. Kualitas BER untuk *voice maximal* BER 10^{-3} maksudnya dari 1000 bit sinyal yang dikirim maksimal jumlah bit yang salah adalah 3 bit. Untuk komunikasi data maksimum BER 10^{-9} [15].

3. *EYE DIAGRAM*

Eye diagram merupakan suatu gambaran untuk menentukan baik tidaknya kualitas sinyal serat optik dalam mentransmisikan sinyal dengan mengukur bukaan mata. Pada *Eye Diagram* menampilkan kinerja sistem seperti *distorsi*, *jitter*, *threshold*, dan BER [6].