

BAB 2

DASAR TEORI

2.1 KAJIAN PUSTAKA

Penelitian Randeep Kaur dan Dr. Deep Kamal Kaur Randhawa pada tahun 2017 yang berjudul *Parametric Analysis of Hybrid Amplifiers (EDFA and Raman Amplifier) on 40 Gbps on 8 users WDM system*, meneliti tentang kerja *Hybrid Amplifier* yaitu EDFA (*Erbium Dopping Fiber Amplifier*) dan *Raman Fiber Amplifier*. Dengan menggunakan *bitrate* sebesar 40Gbps dan kanal sebanyak 8 buah dengan panjang *link* 100 km. Pada *eye diagram* didapatkan hasil BER sebesar 0.00410652 dan juga didapatkan hasil untuk Q- Faktor sebesar 2.642288 [4].

Penelitian Sri Utami, Dodi Zulherman dan Fauza Khair pada tahun 2018 yang berjudul *Analisis Perbandingan Penguat Optik Erbium Doped Fiber Amplifier (EDFA) dan Raman Optical Amplifier (ROA) pada CWDM Nonlinier*, meneliti tentang perbandingan *link* serat optik CWDM dengan menggunakan penguat EDFA dan ROA. Dengan menggunakan panjang *link* 60 km, jumlah kanal 8 buah, spasi kanal 20 nm. Dengan menggunakan penguat ROA mendapatkan nilai BER dan Q-Faktor yang memenuhi standar pada daya -8 dBm hingga 6 dBm dan pada penguat EDFA pada daya -8 dBm hingga 0 dBm tidak memenuhi standar, namun pada daya 2 dBm hingga 6 dBm telah memenuhi standar [5].

Penelitian Wahyu Nur Annisa, Akhmad Hambali dan Denny Darlis pada tahun 2016 yang berjudul *Analisis Performansi Penguat Optik Hybrid Menggunakan Tiga Pompa pada Penguat Raman*, meneliti kerja *hybrid* pada penguat EDFA dan ROA pada sistem DWDM menggunakan tiga pompa penguat pada raman. Dengan menggunakan panjang *link* 50 km, jumlah kanal 8 buah, spasi kanal 0.2 nm, *bitrate* 2.5 Gbps, didapatkan hasil pada penelitian ini memiliki nilai BER yang sudah memenuhi standar sebesar $1.45E-121$ dan menggunakan gain sebesar 20 dB dan noise figure 2 dB menghasilkan BER $2.90E-15$, pemberian power *input* 10 mW menghasilkan BER sebesar $3.16E-15$ [6].

2.2 SERAT OPTIK

2.2.1 Pengertian Serat Optik

Serat optik merupakan media transmisi yang populer digunakan saat ini. Perbedaan sistem komunikasi optik dengan sistem komunikasi biasa terletak pada proses pengiriman sinyalnya. Pada sistem komunikasi biasa sinyal informasi dirubah ke sinyal listrik/elektrik, lalu dilewatkan melalui kabel tembaga. Setelah sampai ditujuan, sinyal tersebut lalu dirubah kembali menjadi informasi yang sama seperti yang dikirimkan karena memiliki banyak keuntungan jika dibandingkan dengan media transmisi yang lainnya, namun serat optik juga memiliki kekurangan.[13].

A. Keuntungan yang dimiliki serat optik :

1. Lebih murah, pembuatan kabel serat optik memerlukan bahan-bahan yang relatif lebih murah
2. Lebih tipis, serat optik memiliki diameter lebih kecil dari kawat tembaga
3. Kapasitas muatan lebih besar, karena serat optik lebih tipis dari kawat tembaga, lebih banyak serat yang dapat dibundel dari kawat tembaga. Sehingga bundelan serat memungkinkan membawa lebih banyak saluran telepon dan televisi
4. Lebih kecil penurunan sinyal, kerugian sinyal cahaya pada sebih sedikit daripada kerugian sinyal listrik pada kawat tembaga
5. Sinyal cahaya, sinyal cahaya dari serat tidak tercampur (*interferensi*) dengan sinyal lain pada kabel serat yang sama. Ini memberikan hasil percakapan telepon atau gambar tv yang lebih jelas
6. Daya lebih sedikit, karena sinyal pada serat optik hanya berukang sedikit, lebih sedikit daya transmitter yang digunakan dibanding transmitter listrik tegangan tinggi untuk kawat tembaga
7. Sinyal digital, serat optik sangat ideal untuk membawa informasi digital, terutama jika digunakan dalam jaringan komputer
8. Tidak mudah terbakar, karena tidak adanya listrik yang dilewatkan oleh serat optik, maka tidak akan ada resiko kebakaran yang disebabkan oleh serat optik

9. Fiber optik mampu mengirimkan sinyal lebih jauh tanpa harus menggunakan alat penguat sinyal

10. Fleksibel, karena serat optik dapat mentransmisikan dan menerima cahaya.

B. Kekurangan yang dimiliki serat optik

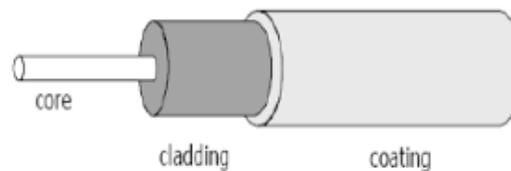
1. Pada penginstalasiannya, serat optik memiliki biaya yang relatif lebih tinggi.

2. Sering terjadi *loss* pada saat proses transmisi

3. Karakteristik transmisi dapat berubah bila terjadi tekanan dari luar yang berlebihan

2.2.2 Struktur Serat Optik

Secara umum struktur fiber optik memiliki 3 bagian, yang terdiri dari :



Gambar 2. 1 Struktur Serat Optik [9]

1) Core (Inti)

Core berfungsi untuk menentukan cahaya yang 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 bahan silika dan kaca. *Core* juga tempat merambatnya sebuah cahaya pada serat optik. Dengan memiliki diameter antara 3 – 200 μm . *Core* terbuat dari SiO_2 , selain itu juga terdiri dari bahan kimia yaitu GeO_2 untuk meningkatkan indeks bias dari inti serat.

2) Cladding (Kulit)

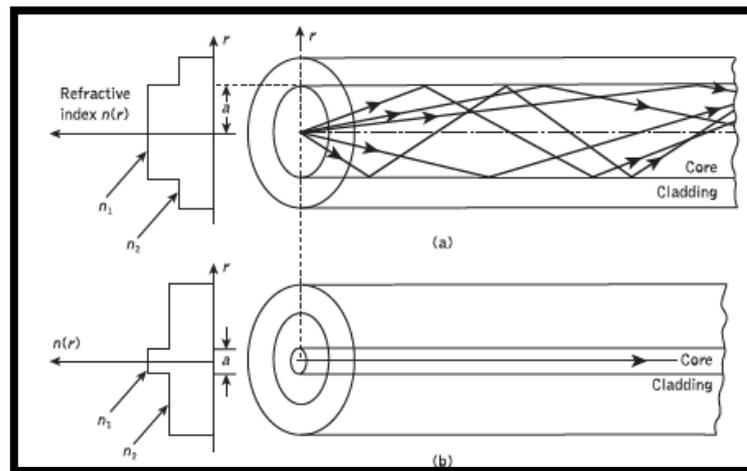
Cladding berfungsi sebagai cermin yaitu memantulkan cahaya agar dapat merambat ke ujung lainnya. Dengan adanya *cladding* ini cahaya juga dapat merambat dalam *core* serat optik. *Cladding* terbuat dari bahan gelas atau dari *silica* (SiO_2) tanpa *doping* dengan indeks bias yang lebih kecil dari *core*. *Cladding* merupakan selubung dari *core*. *Cladding* memiliki diameter antara 125 μm hingga 250 μm .

3) *Coating* (Jaket)

Coating berfungsi sebagai pelindung mekanis pada serat optik dan identitas kode warna. *Coating* ini terbuat dari bahan plastik yang elastis dan memiliki diameter 250 μm . Dengan *coating*, kita dapat meningkatkan fleksibilitas, melindungi serat optik dan juga memperpanjang usia dari serat optik.

2.2.3 Jenis Serat Optik

Dibawah ini merupakan gambaran dari jenis serat optik secara umum



Gambar 2. 2 (a) Multimode Step Index Fiber; (b) Single-mode Step Index Fiber [14]

1) *Multimode Step Index Fiber*

Multimode Fiber merupakan serat optik yang merambat pada banyak cahaya yang merambat melalui inti serat optik, *multimode fiber* digunakan pada komunikasi jarak pendek atau menengah.

2) *Singlemode Step Index Fiber*

Singlemode Fiber merupakan serat optik yang merambat pada satu cahaya yang merambat melalui inti serat optik, *singlemode fiber* digunakan pada komunikasi jarak jauh.

2.3 EFEK NON LINIERITAS

Efek non linieritas merupakan sebuah interaksi indeks bias dalam medium serat optik dengan intensitas berkas cahaya. Perubahan pada indeks bias refraktif yang berbanding lurus dengan perubahan intensitas cahaya menyebabkan adanya

modulasi sinyal pada fasa. Modulasi fasa juga diakibatkan adanya perubahan pada indeks bias refraktif dimana panjang gelombang merupakan propagasi cahaya sejauh panjang serat. Dalam jumlah intensitas cahaya yang lebih banyak, efek *non linieritas* fiber terwujud dalam fenomena *Four-Wave Mixing* (FWM) dimana fenomena tersebut menyebabkan jumlah sinyal yang ditransmisikan lebih banyak daripada jumlah sinyal yang seharusnya [3].

2.3.1 *Four Wave Mixing* (FWM)

Four Wave Mixing (FWM) salah satu fenomena penting yang dapat mempengaruhi performansi jaringan DWDM. Efek *non linear* ini mengakibatkan munculnya beberapa sinyal baru yang tidak diinginkan yang ikut ditransmisikan. Sinyal tersebut muncul akibat indeks bias *non linear* dan menyebabkan termodulasinya sinyal baru yang mempunyai nilai spektrum frekuensi yang hampir sama dengan frekuensi informasi. Umumnya FWM terjadi jika ada tiga pulsa cahaya yang mempunyai panjang gelombang berbeda dan ditransmisikan melalui satu serat optik. Maka panjang gelombang tersebut akan berinteraksi dan membangkitkan pulsa baru [3].

2.4 *DENSE WAVELENGTH DIVISION MULTIPLEXING* (DWDM)

Dense Wavelength Division Multiplexing (DWDM) merupakan teknik transmisi dengan memanfaatkan cahaya dengan variasi panjang gelombang yang berbeda-beda yang digunakan sebagai kanal informasi, kemudian dilakukan proses *multiplexing* untuk ditransmisikan melalui serat optik secara bersamaan[16].

Teknologi DWDM beroperasi pada sinyal dan domain optik dan memberikan fleksibilitas yang cukup tinggi untuk memenuhi kebutuhan akan kapasitas transmisi yang besar dalam jaringan. Penggunaan teknologi DWDM menawarkan kemudahan dalam hal peningkatan kapasitas transmisi dalam suatu sistem komunikasi serat optik. Hal ini dimungkinkan karena setiap sumber data memiliki sumber optiknya masing-masing, yang kemudian digabungkan ke dalam serat optik[1].

2.4.1 *Komponen DWDM*

Pada rancangan rangkaian DWDM terdapat komponen-komponen yang digunakan yaitu :

1. *Transmitter*

Transmitter berfungsi untuk menghubungkan *multiplexer* menggunakan sumber sinyal pada sistem DWDM.

2. *Receiver*

Receiver berfungsi untuk menyatukan berbagai macam informasi dari *demultiplexer*.

3. *Optical Multiplexer*

Multiplexer (MUX) adalah perangkat pasif dan mampu melakukan *multiplexing* beberapa sinyal cahaya dan tidak memperkuat sinyal.

4. *Optical Demultiplexer*

Demultiplexer berfungsi untuk mendemultiplikasi kembali kanal panjang gelombang menjadi seperti semula.

5. *Erbium Doped Fiber Amplifier* (EDFA)

EDFA adalah jenis yang paling umum digunakan amplifier dalam serat optik. EDFA memperkuat sinyal optik diberbagai rentang panjang gelombang. EDFA bekerja dengan baik pada rentang panjang gelombang 1530nm hingga 1565nm dan gain dapat diperpanjang hingga 30 dB.

6. *Raman Optical Amplifier* (ROA)

Penguat Raman bekerja pada prinsip hamburan Raman (*Raman Scattering*). Penguat ini tidak menggunakan medium/serat khusus melakukan penguatan tetapi hanya menggunakan media transmisinya.

7. *Single Mode Fiber* (SMF)

SMF adalah serat yang paling banyak digunakan dan diperkenalkan pada tahun 1986. serat optik yang merambat pada satu cahaya yang merambat melalui inti serat optik, *singlemode fiber* digunakan pada komunikasi jarak jauh.

2.4.2 Spasi Kanal

Spasi kanal merupakan jarak minimum antar panjang gelombang agar tidak terjadi interferensi. Standarisasi spasi kanal perlu dilakukan agar sistem DWDM dari berbagai *vendor* yang berbeda dapat saling berkomunikasi. Jika panjang

gelombang operasi berbanding terbalik dengan frekuensi, hubungan bedanya dikenal dalam panjang gelombang masing-masing sinyal. Faktor yang mengendalikan besar spasi kanal adalah *bandwidth* pada penguat optis dan kemampuan penerima mengidentifikasi dua set panjang gelombang yang lebih rendah dalam spasi kanal. Kedua faktor itulah yang membatasi jumlah panjang gelombang yang melewati penguat [1].

Terdapat persamaan untuk melakukan standarisasi kanal, yaitu menggunakan spasi frekuensi atau spasi lamda dituliskan sebagai berikut :

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

Dimana:

Δf = spasi frekuensi (GHz)

$\Delta \lambda$ = spasi lamda (nm)

λ = panjang gelombang daerah operasi (nm)

$c = 3 \times 10^8$ m/s

Tabel 2. 1 Konversi Spasi Lamda ke Spasi Frekuensi

Spasi Lamda (nm)	Spasi Frekuensi (GHz)
0.4	50
0.8	100
1	120
1.6	200
2	250

Jika dari hasil konversi spasi lamda ke spasi frekuensi (dan sebaliknya) menghasilkan nilai yang kurang presisi, maka sistem DWDM dengan satuan yang berbeda akan mengalami kesulitan dalam berkomunikasi. Dan ITU-T menetapkan penggunaan spasi frekuensi sebagai standar penentuan spasi kanal. Spasi kanal yang sudah ditetapkan oleh ITU-T yaitu 0.4 nm, 0.8 nm, dan 1.6 nm.

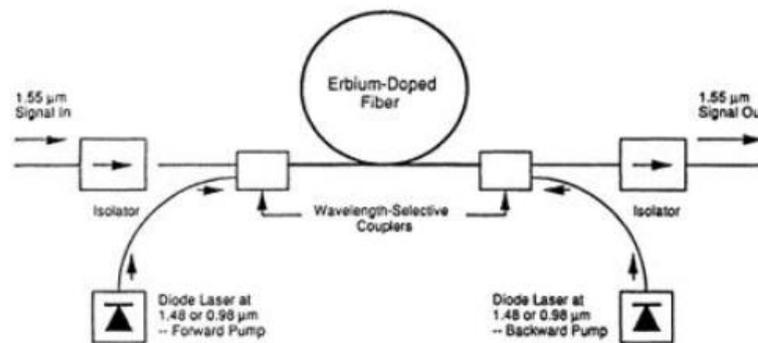
2.4.3 Dispersion Compensating Fiber (DCF)

Dispersion Compensating Fiber merupakan teknik penggabungan segmen serat optik dengan karakteristik yang berbeda-beda untuk mengurangi rata-rata disperse seluruh *link* serat menjadi nol [8]. Pada serat optik jenis *singlemode*

memiliki nilai disperse yang positif sedangkan untuk DCF memiliki nilai disperse yang negative, sehingga nilai total pada disperse akan mendekati atau sama dengan nol.

2.5 ERBIUM DOPPED FIBER AMPLIFIER (EDFA)

EDFA merupakan serat optik yang intinya (*core*) dikotori oleh ion erbium, yang pada proses emisinya memberikan penguatan terhadap sinyal input yang melewatinya. EDFA bekerja dengan rentang panjang gelombang diantara 1550 nm [7].



Gambar 2. 3 Prinsip Kerja EDFA [12]

Dengan penjelasan dari diagram sebagai berikut [12] :

1) Pompa *Laser*

Pompa *Laser* merupakan sumber cahaya yang mengaktifkan *Erbium Dopped Fiber* untuk menghasilkan sebuah penguat optik.

2) *Coupler*

Coupler merupakan suatu perangkat kopling yang dirancang untuk melewatkan energi dari sinyal input dan dari pompa *Laser*.

3) Isolator

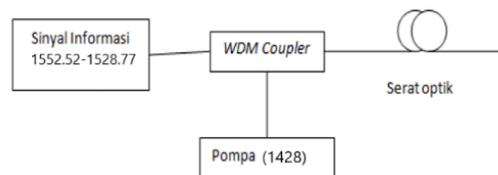
Isolator merupakan suatu perangkat yang digunakan untuk mencegah refleksi sinyal optik.

4) EDF (*Erbium Dopped Fiber*)

Serat optik EDF merupakan sebuah komponen utama penguat optik tempat terjadinya penguatan sinyal optik. Struktur serat terdoping *erbium* EDF pada prinsipnya sama dengan serat optik biasa tetapi pada inti seratnya di doping ion erbium yang berasal dari unsur lantanida.

2.6 RAMAN OPTICAL AMPLIFIER (ROA)

Penguat raman memanfaatkan sebuah ke nonlinieran serat optik, yaitu hamburan raman (*Raman Scattering*). Hamburan raman yang terjadi akibat injeksi *Laser* akan menguatkan sinyal yang dikirimkan, peristiwa ini sering disebut dengan hamburan raman tersimulasi (*Stimulated Raman Scattering*), hal inilah yang menjadi dasar penguatan raman [7].



Gambar 2. 4 Blok Diagram Penguat ROA [17]

Pada gambar diatas merupakan blok diagram dari penguat ROA. Terlihat bahwa penguat sinyal informasi dilakukan oleh pompa *Laser* dengan menggunakan *WDM Coupler* sebagai penggabung antara gelombang informasi dengan gelombang pompa. Penguatan maksimum akan diperoleh bila beda/selisih frekuensi antara pompa *Laser* dan sinyal masukan sebesar 13 THz. Dimana frekuensi sinyal pompa lebih besar dari pada frekuensi sinyal atau panjang gelombang pompa dengan panjang gelombang sinyal selisih 100nm dengan panjang gelombang pompa lebih kecil. Data pompa dapat menguatkan sinyal input karena terdapat proses hamburan raman (*Raman Scattering*) [17]

2.7 PARAMETER KELAYAKAN HASIL

2.7.1 Q-Faktor

Q-Faktor merupakan faktor penentu bagus atau tidaknya kualitas dari suatu *link*. Minimal ukuran Q-Faktor pada sistem komunikasi serat optik yang bagus adalah 6, atau 10^{-9} dalam *Bit Error Rate* (BER) [10]. Nilai Q-Faktor sendiri didapatkan dari persamaan (2.2) berikut[15].

$$Q = \frac{\mu_1 - \mu_2}{\sigma_1 - \sigma_0} \quad (2.2)$$

Dimana μ_1 dan μ_2 merupakan rata-rata pada tegangan atau arus, sedangkan σ_1 dan σ_0 merupakan standar deviasi.

2.7.2 *Bit Error Rate (BER)*

BER merupakan laju kesalahan bit dalam mentransmisikan sinyal digital. Dimana pada besaran ini merupakan ukuran kualitas sinyal dalam sistem komunikasi digital. Misalnya untuk komunikasi *voice maximal* BER 10^{-3} , artinya dalam 1000 bit sinyal yang dikirimkan maka maksimum jumlah bit yang boleh salah adalah 3 bit. Sedangkan untuk teknologi komunikasi data maksimum BERnya adalah 10^{-9} [10]. Hubungan BER dan Q-Faktor dapat dilihat dari persamaan (2.3) berikut[15].

$$BER = \frac{1}{2} \operatorname{erfc}\left(\frac{Q}{\sqrt{2}}\right) \quad (2.3)$$