

**ANALISIS PERBANDINGAN PERFORMANSI POSISI PENGUAT OPTIK HYBRID
SOA – EDFA (*Semiconductor Optical Amplifier - Erbium Doped Fiber Amplifier*)
PADA SISTEM DWDM (*Dense Wavelength Division Multiplexing*) BERBASIS SOLITON**

*Analysis Comparison Performance Position Optical Amplifier
Hybrid SOA – EDFA (*Semiconductor Optical Amplifier - Erbium Doped Fiber Amplifier*) in
A System DWDM (*Dense Wavelength Division Multiplexing*) Based Soliton*

Arumadina Islamiq¹, Akhmad Hambali, Ir., M.T², Afief Dias Pambudi, S.T, M.T³
^{1,2,3} Prodi S1 Teknik Telekomunikasi, Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom, Bandung
¹ arumadina@telkomuniversity.ac.id, ² ahambali@telkomuniversity.ac.id,
³ afiefdiaspambudi@telkomuniversity.ac.id

Abstrak

Penguat *hybrid* adalah suatu cara untuk memberikan performansi yang lebih baik karena dapat mengoptimalkan peningkatan spektrum lebar bandwidth dari sistem DWDM, mengurangi kerugian karena induksi non linearitas dan mencegah penggunaan biaya tinggi.

Tugas Akhir ini menganalisis penguat optik Hybrid SOA-EDFA sebagai *power amplifier (Booster)*, *inline amplifier*, *preamplifier* dengan menggunakan sebuah pulsa soliton. Serta akan menganalisis pengaruh bitrate dan panjang link terhadap BER, Q-factor. Simulasi ini dirancang dengan jumlah 16 buah kanal, panjang gelombang pada windows daerah C-Band (1510nm – 1560nm), pompa laser 980 nm, power input 3 dBm, bandwidth 20 Gbps dan akan disimulasikan menggunakan software OptiSystem 7.0.

Dari hasil analisis yang dilakukan bahwa penguat Hybrid SOA-EDFA ini memiliki korelasi terhadap kinerja sistem DWDM ini, dimana didapatkan skema preamplifier yang terbaik diantara keempat skema Hybrid SOA-EDFA yang dirancang karena pada skema preamplifier nilai Q faktor bernilai paling maksimal yaitu sebesar 9.7024 atau 1.46494×10^{-22} pada BER dengan panjang link 50 km dan bitrate 2.5 Gbps. Sedangkan nilai Q faktor yang bernilai paling minimum yaitu sebesar 0 atau 1 untuk nilai BER yang terjadi pada skema sistem tanpa penguatan yaitu kondisi panjang link 100 km hingga 200 km dengan bitrate 2.5 Gbps, 5 Gbps, dan 10 Gbps.

Sehingga Skema preamplifier sangat cocok digunakan untuk link jauh. Skema Inline Amplifier dan Booster amplifier bisa bekerja untuk link jauh namun performansinya buruk karena nilai Q faktor di bawah standart kelayakan. Dan skema tanpa penguatan tidak layak digunakan karena performansinya sangat buruk.

Kata kunci : DWDM, Hybrid, EDFA, SOA, Soliton

Abstract

Hybrid amplifier is a way to provide better performance because it can optimize the increase of spectrum bandwidth of DWDM systems, reducing losses due to the induction of non-linearity and prevent the use of high cost.

This final project analyze the optical amplifier SOA-EDFA Hybrid as a power amplifier (Booster), inline amplifier, preamplifier using a soliton pulse. As well as will analyze the influence bitrate and long link to the BER, the Q-factor. This simulation was designed with the number of 16 pieces of the canal, the wavelength on the windows region C-band (1510nm - 1560nm), 980 nm laser pump, 2 dBm input power, bandwidth of 20 Gbps and will be simulated using the software OptiSystem 7.0.

From the analysis conducted that the amplifier Hybrid SOA-EDFA has a correlation to the performance of DWDM systems, where available schemes preamplifier is the best among the four schemes Hybrid SOA-EDFA is designed for the scheme preamplifier value of the Q factor is worth the maximum that is equal to 9.7024 or 1.46494×10^{-22} on BER with a length of 50 km and bitrate link 2.5 Gbps. While the value of the Q factor that is worth the minimum that is equal to 0 or 1 for BER values that occur in a system without reinforcement scheme is the condition of link length of 100 km to 200 km with a bitrate of 2.5 Gbps, 5 Gbps, and 10 Gbps.

So Schemes preamplifier is suitable for remote link. Scheme Inline Amplifier and Booster amplifiers can work to link distant yet performansinya bad because the value of the Q factor below the standard of eligibility. And without reinforcement scheme unfit for use because its performance is very bad.

Keywords: DWDM, Hybrid, EDFA, SOA, Soliton

1. Pendahuluan

Permintaan layanan transmisi data dengan kecepatan tinggi dan kapasitas besar semakin meningkat pada sistem komunikasi serat optik. Kondisi ini semakin didukung lagi dengan perkembangan sistem DWDM (*Dense Wavelength Division Multiplexing*) yang menawarkan kemudahan peningkatan kapasitas transmisi pada sistem komunikasi serat optik. DWDM merupakan teknik *multiplexing* yang dapat mentransmisikan sinyal optik dengan panjang gelombang berbeda kedalam sebuah fiber optik^[10]. Pada sistem komunikasi serat optik jarak jauh (*long haul*) diperlukan penguat optik yang berguna untuk memberikan penguatan yang besar, menghindari *crossstalk* dan tidak sensitif terhadap polarisasi^[11].

Serat optik yang mentransmisikan data dalam bentuk gelombang cahaya beresiko mengalami atenuasi. Atenuasi adalah besaran pelemahan informasi dari serat optik yang dinyatakan dalam desibel dan disebabkan oleh beberapa faktor utama yaitu absorpsi dan hamburan (*scattering*). Atenuasi menyebabkan pelemahan energi sehingga amplitudo gelombang yang sampai pada penerima menjadi lebih kecil dari pada amplitudo yang dikirimkan oleh pemancar. Adanya pengaruh atenuasi pada serat optik menyebabkan terjadinya penurunan sinyal seiring bertambahnya jarak transmisi. Atenuasi pada serat optik dengan panjang gelombang 1500-nm sebesar 0,2 dB/km.

Dengan demikian, bila sinyal akan ditransmisikan dengan jarak yang lebih jauh maka sinyal tersebut harus diperkuat. Untuk memperkuat sinyal tersebut dibutuhkan penguat untuk mengembalikan kekuatan sinyal seperti semula. Ada beberapa jenis penguat seperti EDFA (*Erbium Doped Fiber Amplifier*), SOA (*Semiconductor Optical Amplifier*) dan ROA (*Raman Optic Amplifier*).

Satria Hanafie^[1], telah melakukan penelitian penguat optik *Hybrid* EDFA-Raman bahwa EDFA memiliki performansi yang lebih baik dalam hal noise figure dibanding penguat Raman. Penguat SOA menghasilkan kinerja yang baik pada jumlah kanal dan bit rate rendah pada parameter DWDM yang sama.

Mohamad Fadhian^[12], meneliti bahwa semakin jauh link serat optik dan tinggi bit rate maka *Q* factor akan menurun, namun pada beberapa titik akan mengalami peningkatan yang disebabkan oleh ketidaklinearan serat optik.

Pada Tugas Akhir ini penulis akan menganalisis penguat optik *Hybrid* SOA-EDFA dengan menggunakan pulsa berbasis soliton pada daerah *Windows C-Band* (1510 nm – 1560 nm). Penguat optik *Hybrid* SOA-EDFA ini, akan dianalisis pada panjang link serat optik yang berbeda, bit rate dan berdasarkan posisi penguat optik sebagai *Power Amplifier*, *Inline Amplifier*, *Preamplifier* terhadap BER, *Q-factor* dan akan disimulasikan menggunakan *software OptiSystem 7.0*.

2. Dasar Teori

Dense Wavelength Division Multiplexing merupakan pengembangan dari teknologi WDM yang juga memiliki kesamaan konsep seperti FDM (*Frequency Division Multiplexing*) yang menggabungkan beberapa frekuensi ke dalam satu kanal transmisi pada sistem komunikasi radio atau satelit. Sedangkan, sistem kerja DWDM sendiri ialah menggabungkan beberapa panjang gelombang ke dalam satu serat optik. Dimana berbagai panjang gelombang (λ_1, λ_n) tadi berasal dari beberapa sumber laser yang berbeda, kemudian mengalami proses *multiplexing* ke dalam satu serat optik yang sama.^{[2][3]}

Jarak atau spacing antara 1 kanal dengan kanal lain atau 1 panjang gelombang (λ) dengan panjang gelombang lain umumnya berkisar 0.2 nm sampai 1.6 nm. Dan sedang dikembangkan untuk spacing yang lebih rapat yaitu dibawah 0.2 nm yang nantinya disebut sebagai Ultra DWDM. Jarak atau spacing tersebut diperlukan agar tidak terjadi interferensi antar kanal.^[1] DWDM berdasarkan standar ITU-T G.692 bekerja pada panjang gelombang 1552.524 nm atau setara dengan 193.100 THz dalam domain frekuensi. Selain itu dikarenakan pada sistem DWDM ini dimultiplikasi beberapa panjang gelombang dalam satu serat optik, maka dibutuhkan pemisahan panjang *link* antar panjang gelombang yang disebut *channel spacing*. Pada DWDM digunakan spasi kanal bervariasi, diantaranya 0,2 nm (25GHz), 0.4 nm (50 GHz), 0.8 nm (100 GHz), dan 1.6 nm (200 GHz).^{[3][4]}

2.1 Pulsa Soliton

Soliton merupakan pulsa yang dapat mempertahankan bentuknya selama pentransmisiannya keduanya membatasi performansi sistem DWDM ketika bekerja tidak bersamaan^{[1][5]}. Pulsa soliton yang merambat

melalui serat optik, dapat direpresentasikan dengan pulsa *Secant hyperbolic*. Pulsa Gaussian ini dipakai untuk merepresentasikan sistem komunikasi optik konvensional. Perbandingan pulsa *Secant hyperbolic* dengan pulsa soliton dapat diamati bahwa pulsa *secant-hyperbolic* yang memiliki kaki lebih lebar daripada pulsa gaussian.

Pelemahan intensitas pulsa terjadi karena adanya loss fiber, ini berlaku juga bagi pulsa soliton. Untuk itu digunakan amplifier agar energi pulsa bisa kembali ke bentuk semula. Pada Tugas Akhir ini menggunakan penguat optik yaitu SOA (*Semiconductor Optical Amplifier*), EDFA (*Erbium Doped Fiber Amplifier*) SOA

bekerja seperti laser semikonduktor memanfaatkan rongga cavity untuk penguatannya. EDFA memakai serat optik yang dikotori ion Erbium yang dapat memberikan penguatan terhadap cahaya yang melewatinya.^[1]

2.2 Penguat Optik

2.2.1 Erbium Doped Fiber Amplifier

EDFA merupakan serat optik yang intinya (core) dikotori oleh ion erbijum, yang pada proses emisinya memberikan penguatan terhadap sinyal input yang melewatinya. EDFA bekerja window optik ke-3 yaitu dengan rentang panjang gelombang diantara 1550nm.^[1]

Prinsip kerja EDFA yaitu dengan menggunakan laser pemompa yang dipompakan kedalam serat optik yang terdoping Erbium dan muatan-muatan pada EDF akan mengalami perpindahan dari pita energi rendah ke level pita energi yang lebih tinggi. Sinyal optik yang melewati serat optik terdoping Erbium tersebut dengan energifotonya akan berfungsi sebagai perangsang sehingga muatan-muatan pada EDF akan melepaskan energinya dan saat itu dihasilkan emisi yang bersifat koheren sehingga terjadi penguatan secara optik.^[1]

2.2.2 Semiconductor Optical Amplifier

Semiconductor Optical Amplifier merupakan penguat optik yang memanfaatkan rongga/ruangan cavity untuk penguatan cahaya^[1]. Prinsip kerja SOA yaitu arus elektrik dialirkan ke daerah aktif (*semiconductor Cavity*) untuk merangsang elektron. Ketika cahaya foton lemah masuk ke daerah aktif akan menyebabkan elektron ini kehilangan energinya. Sehingga cahaya lemah yang masuk dikuatkan. Bagian sisi dari daerah aktif merupakan bahan anti refleksi bertujuan agar tidak ada sinyal refleksi dari dalam semikonduktor sendiri. Inilah yang menjadi dasar membedakan dari laser semikonduktor.

Kekurangan dari SOA adalah *polarization sensitivity* dan rugi gandengan yang besar. Dimana besarnya Gain dipengaruhi oleh polarisasi sinyal input. Inilah yang tidak diharapkan dalam sistem komunikasi serat optik dimana polarisasi berubah selama pentransmisi dalam serat optik^[1]. Rugi gandengan besar disebabkan oleh proses kopling dari serat optik ke rongga cavity dan sebaliknya.

2.2.3 Hybrid Optical Amplifier

Terdapat satu metode untuk pemanfaatan optimal dari bandwidth serat yang tersedia yaitu dengan cara menggunakan berbagai kombinasi dari penguat optik dalam rentang panjang gelombang yang berbeda baik secara seri maupun paralel. Konfigurasi ini disebut Hybrid Amplifier. Konfigurasi paralel sangatlah sederhana dan berlaku untuk semua amplifier. Namun konfigurasi ini memiliki kelemahan seperti adanya daerah panjang gelombang yang tidak dapat digunakan antara setiap gain band originated yang berasal dari guard band pada coupler. Juga degradasi noise figure disebabkan oleh loss dari coupler yang terletak di depan masing-masing penguat. Namun sebaliknya, penguat yang dihubungkan secara seri memiliki keuntungan band yang relatif luas karena konfigurasi ini tidak memerlukan couplers^[13].

Penguat optik (optical amplifier) menawarkan lebih banyak keuntungan termasuk data rate sistem yang dapat diubah sesuai kebutuhan, dimungkinkan untuk mengirimkan dalam banyak saluran. Selain itu, mampu mengoptimalkan peningkatan gain bandwidth dalam sistem berbasis DWDM, untuk mengurangi kerugian karena induksi non linearitas dan untuk mencegah penggunaan biaya tinggi.

2.3 Performansi Sistem

2.3.1 Q-Factor

Q Faktor adalah faktor kualitas yang akan menentukan bagus atau tidaknya kualitas suatu link WDM. Dalam sistem komunikasi serat optik khususnya WDM, minimal ukuran Q Faktor yang bagus adalah 6, atau 10^{-9} dalam Bit Error Rate (BER)^[1].

2.3.2 BER

BER merupakan rasio perbandingan antara kesalahan atau kerusakan bit (error) dengan bit yang dikirimkan keseluruhan^[1]. Sedangkan BER (Bit Error Rate) Test merupakan pengujian yang berfungsi untuk menguji seberapa banyak kesalahan pembacaan di sisi penerima pada setiap detik. Pembacaan nilai BER dapat dimisalkan dengan pemberlakuan BER sejumlah 10^{-13} , yang menandakan besarnya kemungkinan kesalahan pembacaan di sisi penerima sebesar 10^{-13} , atau dengan kata lain dalam 10^{13} yang dikirimkan, terdapat 1 bit yang mengalami kesalahan pembacaan atau penerimaan^[8].

3. Simulasi Sistem

3.1 Pemodelan Sistem DWDM

Pemodelan sistem DWDM dilakukan dengan 4 skema yaitu sistem DWDM tanpa penguat, booster amplifier, inline amplifier, pre amplifier.

Skema DWDM Tanpa Penguat, dibuat dengan menggunakan software optisystem 7.0. Pada bagian transmisi ada 16 buah bit generator yang masing-masing terhubung dengan sebuah optical pulse generator yaitu *optical secant-hyperbolic pulse* yang merepresentasikan sistem DWDM Soliton. Keenam belas sinyal di

multiplexing dan dilewatkan melalui serat optik jenis singlemode dengan variasi panjang serat optik 50 km, 100 km, 150 km dan 200 km, sebelum masuk ke demultiplexer. Pada bagian receiver di pasang BER analyzer dan Optical Spectrum Amplifier untuk pengetesan performansi. Tujuan akhir dari simulasi ini adalah membandingkan BER antara sistem DWDM tanpa penguat dengan penguat optik.

Skema DWDM dengan Penguat, menggunakan panjang link yang di *set* berturut-turut 50 km, 100 km, 150 km, 200 km. Visualisasi dari spektral sinyal dapat dianalisis pada komponen *Spektrum Analyzer* pada simulasi. Adapun komponen sinyal yang divisualisasikan adalah frekuensi terhadap level daya sinyal. Tujuan akhir dari simulasi ini adalah menganalisis performansi sistem DWDM berbasis soliton dengan menggunakan penguat optik Hybrid SOA-EDFA.

Tabel 3.1 Parameter DWDM ^[1]

Parameter	Nilai	Satuan
Input Ports	16	Buah
Frequency	1550	nm
Frequency Spacing	0.8	nm
Bandwidth	20	Ghz
Insertion loss	0.05	dB
Power Transmit	3	dBm
Bitrate	2.5, 5, 10	Gbps

Parameter yang digunakan saat simulasi ditentukan rentangnya agar diketahui pengaruhnya terhadap performansi sistem DWDM dengan menggunakan penguat yang berbeda. Tabel 3.1 menunjukkan parameter umum sistem DWDM yang digunakan.

Tabel 3.2 Serat Optik Standart ITU-T G.655

Parameter	Nilai	Satuan
Length	50, 100, 150, 200	Km
Attenuation	0.17	dB/Km
Reference Wavelength	1550	Nm
Dispersion	17	Ps/nm/km
Efektif core area	80	μm^2
Dispersion Slope	0.075	Ps/nm ² /k

Digunakan serat optik sepanjang 50 km, 100 km, 150 km, dan 200 km dengan redaman serat sebesar 0.17 dB/Km pada simulasi yang diujikan. Serat optik yang diujikan berfungsi untuk merambatkan cahaya pada sistem komunikasi serat optik. Serat optik yang digunakan dalam Tugas Akhir ini adalah Single Mode karena serat ini cocok untuk panjang gelombang antara 1530 nm hingga 1570 nm (C Band). Penggunaan serat optik Single Mode dikarenakan serat optik jenis ini memiliki banyak kelebihan seperti bandwidth lebar sehingga memungkinkan transmisi kanal yang banyak dan memiliki efek dispersi yang minim.

Tabel 3.3 Parameter Penguat Optik SOA

Parameter	Nilai	Satuan
Injection Current	0.2	Ampere
Length	0.0005	m
Width	3e-006	m
Height	8e-008	m
Confinement factor	0.3	m
Differential factor	2.78e-20	m ²

Penguat EDFA menggunakan konfigurasi bidirectional pumping dengan daya forward pump power 500 mW dan backward pump power 250 mW dengan reference wavelength 980 nm. Sedangkan penguat SOA menggunakan injection current sebesar 0.2 A dengan length 0.0005 m.

Tabel 3.4 Parameter Penguat Optik EDFA ^[5]

Parameter	Nilai	Satuan
Panjang serat EDFA	5	m

Er ⁺ ion density	1e+025	m ⁻³
Er ⁺ Metastable lifetime	10	ms
Core radius	2.2	μm
Numerical aperture	0.24	
Power pompa	500	mW
Lamda pompa	980	mW
Loss at 980 nm	0.15	dB/km
Gain	20	dB

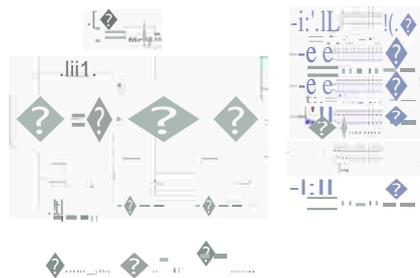
Dalam simulasi ini, Skema Hybrid SOA-EDFA sebagai Booster Amplifier diletakkan diawal setelah multiplexing dan sebelum attenuator optik. Terdapat 1 buah spektrum analyzer ditempatkan setelah mux dan 1 buah spektrum analyzer ditempatkan sebelum demux. Dan hybrid amplifier diletakkan setelah mux dan sebelum attenuator optik.

Skema Hybrid SOA-EDFA sebagai Inline Amplifier diletakkan di tengah atau dijarak tertentu setelah multiplexing dan setelah attenuator optik. Sedangkan skema Hybrid SOA-EDFA sebagai Preampifier adalah SOA dan EDFA yang diletakkan pada posisi akhir yaitu sebelum demultiplexer, berfungsi untuk meningkatkan daya sinyal yang akan masuk ke demultiplexer, selanjutnya sinyal akan diterima oleh photodetector.

4 Analisis Sistem

4.1 Spektrum Gain

Untuk memanfaatkan keuntungan dari penguat SOA dan EDFA serta menghilangkan kerugian dari karakteristik kedua penguat maka diusulkanlah penguat hybrid. Penguat Hybrid terdiri dari penguat SOA dan EDFA yang disusun secara seri (cascade) pada sebuah sistem. Gambar 4.1 merupakan konfigurasi hybrid optical amplifier (HOA).



Gambar 4.1 Konfigurasi Hybrid Optical Amplifier (HOA)

Bedasarkan dari konfigurasi yang ditunjukkan pada Gambar 4.1 didapatkan hasil sebagai berikut, Gambar 4.2 yang masing-masing menunjukkan spektrum gain SOA dengan injection current yang berbeda dan panjang SOA yang berbeda pula.

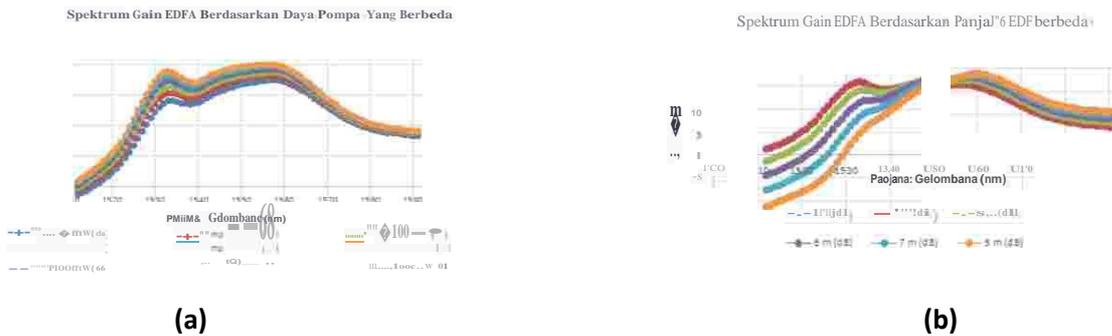


(a)

(b)

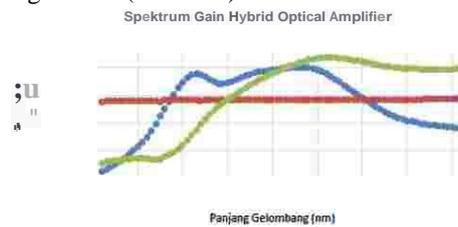
Gambar 4.2 Spektrum Gain SOA dengan Injection Current (a) dan Length (b) yang berbeda

Melalui hasil simulasi pada gambar 4.2 bahwa dengan menaikkan injection current pada penguat SOA akan meningkat gain secara significant namun hasilnya akan akan rata pada setiap panjang gelombangnya. Sedangkan ketika panjang SOA dinaikkan maka gainnya justru berkebalikan yaitu semakin menurun.



(a) (b)
Gambar 4.3 Spektrum Gain EDFA Berdasarkan Daya Pompa (a) dan Length (b) yang berbeda

Pada Gambar 4.3 dengan meningkatkan daya pompa pada EDFA maka gain semakin naik pada panjang gelombang rendah yaitu pada 1530 nm. Sedangkan ketika panjang EDF dinaikkan maka gain akan semakin turun pada panjang gelombang rendah (1530 nm).



Gambar 4.4 Spektrum Gain Hybrid Optical Amplifier

Dengan Gambar 4.4 menunjukkan bahwa kedua spektrum gain dari penguat SOA dan EDFA melengkapi satu sama lain, oleh karena itu penyusunan kedua penguat secara seri (cascade) dapat menghasilkan spektrum gain wideband yang tinggi. Dari grafik tersebut dipilih parameter yang digunakan untuk melakukan uji coba performansi pada penguat hybrid, panjang EDF = 4 m dengan daya forward pump power = 1000 mW dan backward pump power = 500 mW.

Grafik spektrum gain dari penguat SOA dengan penguat EDFA memiliki pola yang berbeda. Penurunan spektrum gain EDFA terjadi karena sinyal optik mengalami saturasi pada panjang gelombang tinggi. Sedangkan pada SOA memiliki pola yang konsisten disetiap panjang gelombangnya.

Meningkatkan daya pompa pada EDFA atau dengan meserialkan (cascade) dua buah atau lebih penguat EDFA untuk mendapatkan spektrum gain yang lebih tinggi merupakan solusi untuk mengatasi masalah tersebut. Namun peneliti lebih memilih dengan meningkatkan daya pompa pada EDFA akan lebih sederhana dan sesuai dengan topik penelitian ini.

4.2 Analisis Q-Factor

Sub Bab ini menjelaskan tentang analisis hasil percobaan dari beberapa skema yang sudah dirancang dengan memaparkan pengaruh variasi panjang link dan bitrate pada setiap skema, baik skema booster amplifier, inline amplifier dan preamplifier dengan simulasi link DWDM dengan menganalisis nilai BER dan Q.

Tabel 3.5 Nilai Q Faktor a) Tanpa Penguat b) Booster c) Inline d) Preamplifier

Bitrate	Panjang Link			
	50 km	100km	150 km	200km
2.5	2.1942	0	0	0
5	1.9009	0	0	0
10	1.8079	0	0	0

(a)

Bitrate	Panjang Link			
	50km	100 km	150 km	200km
2.5	3.42	4.5482	3.1348	2.3022
5	3.7989	3.2563	2.8102	2.5704
10	3.5787	3.3279	2.6670	0

(b)

Bitrate	Panjang Link			
	50km	100 km	150 km	200 km
2.5	7.5867	4.4412	3.6517	2.9966
5	5.6256	4.0208	3.2031	2.7911
10	3.0687	2.5202	2.1246	0

(c)

Bitrate	Panjang Link			
	50 km	100km	150 km	200 km
2.5	9.7024	9.6537	9.1918	8.2608
5	9.6930	9.6438	8.8162	8.7990
10	7.5587	3.3002	0	0

(d)

Berdasarkan data dari Tabel 3.5 bahwa nilai Q faktor semakin menurun jika panjang *link* yang dilewati semakin jauh. Ini disebabkan oleh dispersi/loss yang terjadi ketika panjang *link* semakin jauh juga semakin besar. Pada skema Tanpa Penguat, sistem tidak memenuhi standart kelayakan yaitu sebesar 2.1942 dimana berdasarkan ITU-T bahwa minimal nilai Q faktor adalah 6 dan 10^{-9} untuk nilai BER. Namun disisi lain semakin besar bitrate yang digunakan maka semakin menurun pula nilai Q faktor nya. Hal ini disebabkan oleh semakin tinggi *bitrate* maka data yang dikirimkan per detiknya semakin banyak sehingga *delay* yang terjadi semakin besar. Nilai Q faktor semuanya bernilai 0, ini disebabkan oleh panjang *link* yang dilewati terlalu jauh sehingga besarnya dispersi/loss yang terjadi terlalu besar. Ini membuktikan bahwa sistem tersebut tidak bisa digunakan hingga jarak 200 km karena tanpa adanya penguat.

Untuk skema Booster, pada panjang *link* 50 Km dengan bitrate 2.5 Gbps memiliki nilai Q faktor yang tinggi dibanding dengan yang lain. Namun performansinya masih terbilang buruk karena masih belum memenuhi standart. Untuk panjang *link* 100 Km hingga 200 km, nilai Q faktor semakin menurun secara signifikan

Untuk skema Inline Amplifier, hasil Q faktor paling baik pada skema *inline* adalah pada saat panjang *link* 50 Km dengan *bitrate* 2.5 Gbps yang bernilai 7.5867. Sedangkan untuk nilai Q faktor paling buruk pada skema *inline* yaitu pada panjang *link* 200 Km dengan *bitrate* 10 Gbps dengan Q faktor bernilai 0. Hal ini menunjukkan bahwa skema *inline* dengan jarak 50 km dengan *bitrate* 2.5 Gbps telah memenuhi standart kelayakan perangkat (Q=6).

Untuk skema Preamplifier, hasil Q faktor paling baik pada skema *preamp* adalah pada saat panjang *link* 100 Km dengan *bitrate* 2.5 Gbps yang bernilai 9.7024. Sedangkan untuk nilai Q faktor paling buruk pada skema *preamplifier* yaitu pada panjang *link* 150 Km dan 200 km dengan *bitrate* 10 Gbps dimana Q faktor untuk semua kondisi bernilai 0.

4.3 Analisis BER

Sebagaimana hubungan antar Q faktor dengan BER pada persamaa (2.2), maka korelasi dari buruknya nilai Q faktor dan BER akan saling terkait. Berikut nilai BER yang ditunjukkan oleh BER *analyzer* pada masing-masing skema Hybrid SOA-EDFA.

Tabel 3.6 Nilai BER a) Tanpa Penguat b) Booster c) Inline d) Preamplifier

Bitrate	Panjang Link			
	50 km	100 km	150km	200km
2.5	0.0138	1	1	1
5	0.0286	1	1	1
10	0.0534	1	1	1

(a)

Bitrate	Panjang Link			
	50km	100km	150km	200km
2.5	2.82421×10^{-11}	6.84613×10^{-11}	0.000792954	0.00816072
5	6.91519×10^{-11}	0.000558142	0.002447404	0.00337058
10	0.000172121	0.000437136	0.00381448	1

(b)

Bitrate	Panjang Link			
	50km	100 km	150km	200 km
2.5	1.62216×10^{-10}	4.37978×10^{-10}	0.000129684	0.00132521
5	9.06256×10^{-10}	2.86356×10^{-10}	0.000668879	0.00259245
10	0.0010231	0.00532398	0.0162318	1

(c)

Bitrate	Panjangs Link			
	50km	100km	150km	200 km
2.5	1.46494×10^{-11}	1.18593×10^{-11}	1.911×10^{-10}	7.23022×10^{-11}
5	1.59103×10^{-10}	1.18272×10^{-10}	2.9937×10^{-10}	6.83894×10^{-10}
10	2.04365×10^{-10}	0.000482916	1	1

(d)

Untuk skema *booster amplifier*, BER paling baik yaitu sebesar 6.54768×10^{-7} . Ini berarti dari 10^7 data yang dikirimkan hanya 1 bit saja yang *error*. Sedangkan nilai BER paling buruk yaitu 1, yang berarti dari semua data yang dikirimkan semuanya mengalami *error*.

Untuk skema *inline amplifier*, BER paling baik yaitu sebesar 1.24959×10^{-8} . Ini berarti dari 10^8 data yang dikirimkan hanya 1 bit saja yang *error*. Sedangkan nilai BER paling buruk yaitu 1, yang berarti dari semua data yang dikirimkan semuanya mengalami *error*.

Untuk skema *inline amplifier*, BER paling baik yaitu sebesar 6.11254×10^{-21} . Ini berarti dari 10^{21} data yang dikirimkan hanya 1 bit saja yang *error*. Sedangkan nilai BER paling buruk yaitu 1, yang berarti dari semua data yang dikirimkan semuanya mengalami *error*.

5. Penutup

5.1 Kesimpulan

Dari hasil simulasi dan analisis yang telah dilakukan pada perangkat lunak OptiSystem 7.0 dapat diambil beberapa kesimpulan, yaitu:

1. Dengan meningkatkan daya pompa pada penguat EDFA akan meningkatkan gain secara signifikan pada panjang gelombang rendah sekitar 1530 nm. Sedangkan untuk injection current pada SOA akan menghasilkan gain yang rata disetiap panjang gelombang (1512-1590) nm. Kedua spektrum gain dari penguat EDFA dan SOA akan melengkapi satu sama lain. Oleh karena itu penyusunan kedua perangkat secara serial (cascade) dapat menghasilkan spektrum gain bandwidth yang tinggi.
2. Dari hasil yang didapat, hal ini mengindikasikan bahwa sistem DWDM dengan konfigurasi Hybrid SOA-EDFA yang disusun secara seri dengan spesifikasi yang tertera pada penelitian ini optimal pada jarak 50 km dengan bitarate 2.5 Gbps pada skema Inline Amplifier dan pada jarak 50 km dengan bitarate 2.5 Gbps pada skema Preamplifier.
3. Q faktor maksimal pada skema tanpa penguatan bernilai 2.1942 dengan nilai BER sebesar 0.0138 pada link 50 km dengan bitarate 2.5 Gbps. Skema tanpa penguatan ini tidak dapat digunakan untuk link yang jauh maupun bitarate yang besar karena akan mengalami pelemahan yaitu nilai Q sebesar 0. Karena tidak adanya penguatan.
4. Q faktor maksimal pada skema *booster amplifier* bernilai 5.4 dengan nilai BER sebesar 2.82421×10^{-8} , pada panjang *link* yang digunakan 50 Km, *bitrate* 2.5 Gbps. Skema *booster* tidak cocok digunakan untuk panjang *link* yang jauh. Karena performansi kinerja sistem akan menurun seiring besarnya nilai bitarate dan link yang jauh.
5. Q faktor maksimal pada skema *inline amplifier* bernilai 7.5867 dengan nilai BER sebesar 1.62216×10^{-14} pada panjang *link* yang digunakan 50 Km, dengan *bitrate* 2.5 Gbps. Sistem ini cukup layak digunakan pada link dan bitarate tertentu. Namun untuk link yang jauh dan bitarate yang tinggi tidak cocok untuk digunakan.
6. Q faktor maksimal pada skema *preamplifier* bernilai 9.7024 dan BER optimal yang bernilai 1.46494×10^{-22} , ketika panjang *link* yang digunakan 50 Km, *bitrate* 2.5 Gbps. Skema *preamplifier* cocok digunakan untuk semua panjang *link* dan *bitrate* yang tinggi. Karena letak penguatnya yang berada didekat *receiver*. Namun terkecuali untuk panjang link 150 km dan 200 km pada bitarate 10 Gbps tidak dapat digunakan.
7. Menurunnya nilai Q-Factor disebabkan salah satunya karena nilai dispersi serat optik pada link yang semakin jauh. Semakin besar nilai dispersi inilah yang mengakibatkan semakin kecilnya delay antar kanal sehingga menimbulkan Inter Symbol Interference (ISI) yang signifikan.

5.2 Saran

Tugas akhir ini sangat memungkinkan untuk pengembangan selanjutnya dengan berfokus pada analisis uji performansi penguat hybrid SOA-EDFA diantaranya :

1. Dengan menambahkan jumlah kanal yang lebih banyak lagi.
2. Melakukan uji performansi dengan 3 penguat yaitu EDFA, SOA, Raman.
3. Melakukan uji performansi dengan konfigurasi SOA-EDFA-EDFA.

Daftar Pustaka

- [1] Hanafie, Satria. 2013. *Analisis Perbandingan Performansi Sistem DWDM Menggunakan Penguat SOA, EDFA dan ROA Berbasis Soliton*. Tugas Akhir. Bandung : Jurusan Teknik Telekomunikasi Universitas Telkom.
- [2] Armys, M., & Sitorus, R. (2009). *Analisis Perencanaan Serat Optik DWDM Jalur Semarang Solo Yogyakarta di PT INDOSAT.Tbk*. Depok: Universitas Indonesia.
- [3] Muhammad Lutfi Ramadhan Abdul Rachman. 2015. *Simulasi dan Analisis Efek Cross-Phase Modulation pada Performansi Link DWDM dengan Chromatic Dispersion Compensation*. Tugas Akhir. Bandung : jurusan Teknik Telekomunikasi Universitas Telkom.
- [4] Keiser, G. (2009). *Optical Fiber Communications* (3rd ed.). Boston: McGraw Hill.
- [5] Agrawal, G. P. 2002. *Fiber-Optic Communications Systems, Third Edition*. John Wiley & Sons, Inc.
- [6] Senior, J. M. 2009 . *Optical Fiber Communication Principles & Practice*. Pearson Education Limited
- [7] Keiser, G. (2014). *Optical Fiber Communications* (5th ed.). Boston: McGraw Hill.
- [8] Baldwin, T., & Durand, S. (2001). IF Fiber Selection Criteria. *EVLA Memorandum No. 32, Ver.7*.
- [9] Passchotta, Rudiger. "Sech2-shaped Pulses" http://www.rp-photonics.com/sech2_shaped_pulses.html (diakses tanggal 26 Juni 2013)