

# Perancangan Sistem Optik DWDM 8 Kanal dengan Penguat EDFA

## The Design of 8 Channel DWDM Optical System by EDFA Amplifier

Fauza Khair<sup>1,\*</sup>, Amiludin<sup>2</sup>, Angga Pratama<sup>3</sup>, Fikri Nizar Gustiyana<sup>4</sup>,  
Rizki Dwi Rahmawan<sup>5</sup>, Yudo Reza<sup>6</sup>

<sup>1</sup>Program Studi D3 Teknik Telekomunikasi, <sup>2,3,4,5,6</sup>Program Studi S1 Teknik Telekomunikasi,  
Fakultas Teknik Telekomunikasi dan Elektro, Institut Teknologi Telkom Purwokerto  
Jl. D.I. Panjaitan No. 128, Purwokerto 53116, Jawa Tengah, Indonesia

<sup>1,\*</sup>Penulis korespondensi: fauza.khair@ittelkom-pwt.ac.id  
<sup>2</sup>20101216@ittelkom-pwt.ac.id, <sup>3</sup>20101176@ittelkom-pwt.ac.id,  
<sup>4</sup>20101210@ittelkom-pwt.ac.id, <sup>5</sup>20101181@ittelkom-pwt.ac.id, <sup>6</sup>20101211@ittelkom-pwt.ac.id

Received on 22-02-2021, accepted on 17-07-2021, published on 17-07-2021

### Abstrak

Penguat EDFA dibutuhkan untuk permasalahan komunikasi di Indonesia yang terbatas jarak dan waktu. EDFA merupakan penguat optik yang dibuat dengan cara mencampurkan ion erbium ke dalam serat optik. Supaya EDFA digunakan dengan efisien maka diperlukan penelitian performansi yang sesuai untuk bit rate tertentu Pada Tugas Besar kali ini, akan dilakukan pemodelan dan simulasi link DWDM menggunakan software Optisystem 17.0, kemudian akan dilakukan simulasi link DWDM dengan 2 penguat erbium doped fiber amplifier (EDFA) ditambah menggunakan Single mode Fiber dan Dispersion Compensation Fiber. EDFA dipilih karena EDFA dapat menguatkan sinyal optik tanpa mengubahnya menjadi sinyal elektrik terlebih dahulu. Pada Tugas besar ini, serat optik akan diatur panjangnya dengan panjang Dispersion Compensating Fiber tetap yaitu 10 Km. Panjang link yang digunakan yaitu 50 Km, 60 Km, 70 Km, 80 Km dan 90 Km, bitrate yang digunakan yaitu 10 Gbps, 9 Gbps, 8 Gbps dan 7 Gbps, format modulasi yang digunakan yaitu NRZ. Selanjutnya, hasil dari simulasi akan dilihat nilai dari SNR, OSNR, Q faktor dan BER masing-masing skema EDFA, sehingga didapatkan nilai yang terbaik dari kelima jarak dan variasi bit rate yang digunakan. Dari hasil analisis yang dilakukan, penguat (EDFA) memiliki korelasi terhadap kinerja sistem DWDM ini, dimana didapatkan pada skema Bit rate 7 Gbps dan 8 Gbps dengan maksimal panjang fiber 100 Km penggunaan penguat EDFA sangat berpengaruh pada kelayakan BER dan Q-Factor dan pada skema Bit Rate 9 Gbps dan 10 Gbps terdapat nilai BER dan Q-Factor yang tidak memenuhi standar kelayakan pada jarak tertentu.

**Kata kunci:** BER, Bit Rate, DWDM, EDFA, Q Factor.

### Abstract

EDFA amplifier is needed to solve communication problems in Indonesia which are limited by distance and time. EDFA is an optical amplifier that mixes Erbium ions into the optical fiber. To be used efficiently, a specific bit rate of EDFA is needed to be researched appropriately. In this research, modeling and simulation of the DWDM link will be carried out using Optisystem 17.0 software. Then a simulation of the DWDM link will be carried out with two erbium-doped fiber amplifiers (EDFA) plus using Single-mode Fiber and Dispersion Compensation Fiber. EDFA can amplify optical signals without converting them into electrical signals. The optical fiber will be adjusted in length with a fixed Dispersion Compensating Fiber length of 10 Km. The link lengths were 50, 60, 70, 80, and 90 Km. At the same time, the bitrate was 10, 9, 8, and 7 Gbps. The modulation format was NRZ. Furthermore, the simulation results will see the value of SNR, OSNR, Q factor, and BER for each EDFA scheme so that the best value for the five distances and variations in bit rate is obtained. From the analysis results, the amplifier (EDFA) correlates with the performance of this DWDM system. These results were obtained in the Bitrate scheme of 7 and 8 Gbps with a maximum fiber length of 100 Km. The EDFA amplifier significantly affects the feasibility of BER

**and Q-Factor and the scheme. Bit Rates of 9 and 10 Gbps have BER and Q-Factor values that do not meet the eligibility standards at a certain distance.**

**Keywords:** BER, Bit Rate, DWDM, EDFA, Q Factor.

## I. PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi telekomunikasi sekarang ini mengalami kemajuan sangat cepat. Hal ini diakibatkan adanya permintaan dan peningkatan kebutuhan akan informasi, yang terus memacu para pengembang untuk memberikan suatu media transmisi yang dapat diandalkan dari segi kualitas sinyal, waktu akses (no delay), keamanan data, serta daerah cakupan penerima yang luas[1-4]. Teknologi Dense Wavelength Division Multiplexing (DWDM merupakan teknik transmisi yang memanfaatkan cahaya dengan panjang gelombang yang berbeda – beda sebagai kanal-kanal informasi, sehingga setelah dilakukan proses multiplexing seluruh panjang gelombang tersebut dapat di transmisikan melalui suatu media serat optik, namun jarak transmisi antara Transmitter dan Receiver yang terlalu jauh sering kali membuat tingkatan daya sinyal pada sistem DWDM menurun, hal ini tentunya sangat merugikan karena adanya rugi-rugi sepanjang lintasan. Sehingga dibutuhkan sebuah optical amplifier untuk mengatasi hal tersebut, yang dikenal memiliki kemampuan untuk menguatkan daya sinyal yang mengalami pelemahan[2-4].

Jarak yang semakin jauh biasanya menimbulkan dispersi yang lebih banyak juga, hal ini dikarenakan redaman/loss yang terjadi di sepanjang serat optik semakin banyak. Redaman/loss yang terjadi disepanjang kabel optik bisa berpengaruh terhadap daya terima, BER, dan faktor kualitas dari suatu serat optik. Untuk mengatasi masalah dispersi ini biasanya pada komunikasi serat optik dipasang sebuah penguat EDFA. EDFA berfungsi untuk menguatkan sinyal optik tanpa mengubahnya ke sinyal elektrik terlebih dahulu, EDFA memiliki kelebihan seperti toleransi penguat serat teradap panjang gelombang sinyal relatif lebih besar.

Oleh karena itu, penelitian ini melakukan perancangan simulasi pada sistem transmisi Dense Wavelength Division Multiplexing (DWDM) pada jarak 60 - 100 km dengan menggunakan media transmisi Single Mode Fiber (SMF) + Dispersion dan optical amplifier jenis Erbium Doped Fiber Amplifier (EDFA). Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui desain yang optimal untuk sistem transmisi DWDM pada jarak 60 - 100 km dengan membandingkan data hasil perhitungan dan data dari hasil simulasi.

Berdasarkan penelitian dari Sri Danaryani dengan judul “Studi Perancangan Jaringan Komunikasi Serat Optik DWDM L Band dengan Penguat Optikal Edfa”. Tujuan dari penelitian ini adalah melihat kapasitas transmisi dari DWDM dengan 4 nilai panjang gelombang sesuai dengan grid ITU-T 1568.77nm, 1569.59nm, 1571,23 nm n 1.572,05 nm. Hasilnya dapat meminimalkan efek dari FWM mana harmonik yang dihasilkan tidak termasuk dalam panjang gelombang fundamental. Penggunaan EDFA dalam transmisi serat optik di DWDM shut sedang mempertimbangkan OSNR. Perhitungan OSNR tergantung pada jumlah panjang gelombang, bit rate, dispersi serat dan jumlah amplifier yang digunakan. Secara umum, semakin amplifier digunakan OSNR akan lebih kecil. bandwidth yang besar juga menurun OSNR. Jadi OSNR lebih kecil menunjukkan suara lebih dominan dibandingkan dengan sinyal[3].

Berdasarkan penelitian Dewiani Djamaluddin dengan judul “Analisis Penguat EDFA dan SOA pada Sistem Transmisi DWDM dengan Optisystem 14” penelitian ini perhitungan parameter power link budget dengan hasil simulasi, jarak maksimum transmisi sistem DWDM tanpa menggunakan penguat, perbandingan performansi penguatan antara EDFA dan SOA berdasarkan parameter Optical Signal to Noise Ratio (OSNR), dan Quality factor (Q factor), dan Bit Error Rate (BER). Pada perhitungan parameter link budget yang didasarkan pada tiga skema penempatan penguat didapatkan power penerima sebesar -17,6 dBm untuk booster – inline, -17,25 dBm untuk booster - pre amp, dan -14,18 dBm untuk inline – pre amp dengan sensitivitas penerima sebesar -18 dBm. Dengan toleransi minimal BER sebesar 10<sup>-11</sup>, penggunaan penguat EDFA-EDFA pada skema booster – inline memiliki hasil BER paling baik yaitu 10<sup>-23</sup> pada hasil perhitungan dan 10<sup>-19</sup>~10<sup>-32</sup> pada hasil simulasi [2].

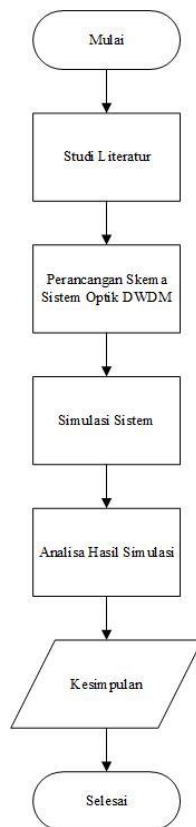
## II. METODE PENELITIAN

### A. Digram Alir Penelitian

Pada penelitian ini akan dilakukan beberapa tahap penelitian, yaitu tahap studi literatur, tahap perancangan skema sistem optik DWDM dengan penguat EDFA, tahap simulasi sistem, tahap analisis hasil simulasi dari sistem dan terakhir tahap kesimpulan. Tahap pertama yaitu studi literatur pada tahap ini dilakukan pengumpulan data yang dapat membantu proses pelaksanaan pada penelitian. Pengumpulan data berguna dalam pembuatan skema sistem optik DWDM ditambah penguat EDFA yang terdapat dalam software Optisystem 17.1. Diagram alur penelitian dapat dilihat pada gambar 1.

Tahap pertama yaitu studi literatur pada tahap ini dilakukan pengumpulan data yang dapat membantu proses pelaksanaan pada penelitian ini. Pengumpulan data berguna dalam pembuatan skema sistem optik DWDM dengan penguat EDFA yang terdapat pada software Optisystem 17.1. Pada tahap ini pun dibutuhkan teori penunjang dan pendukung yang berhubungan dengan topik penelitian seperti paper dan jurnal. Hal ini bertujuan untuk lebih mengetahui dan memahami secara teori dari sistem dan metode yang berkaitan dengan penelitian ini. Tahap kedua yaitu melakukan perancangan skema sistem optik DWDM dengan penguat EDFA ke berbagai skenario didalamnya. Perancangan ini dibuat pada simulasi software OptiSystem 17.1.

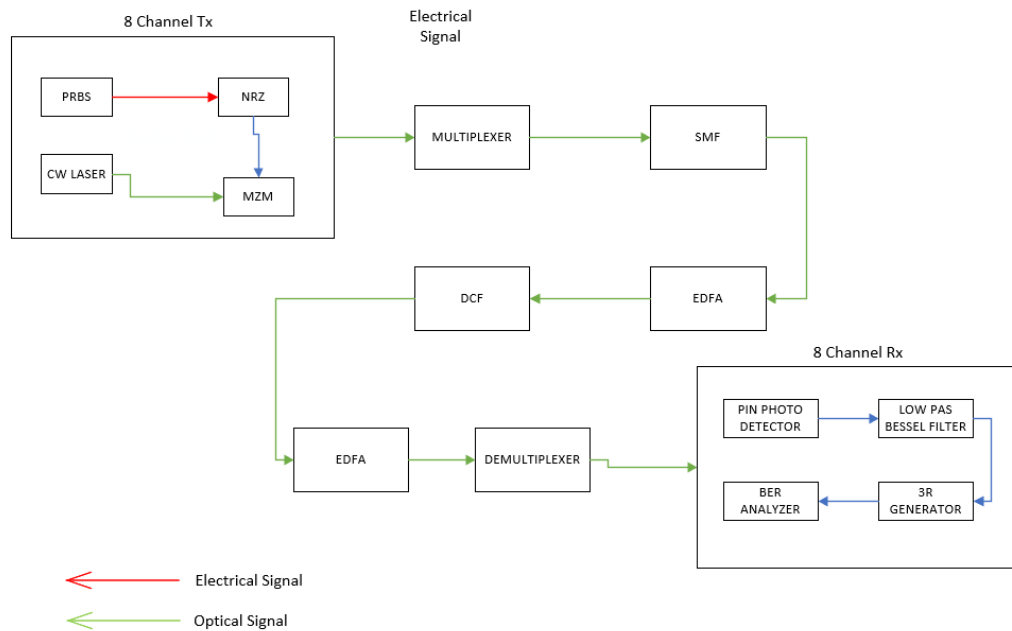
Tahap ketiga yaitu simulasi sistem optik DWDM dengan penguat EDFA. Pada tahap ini menggunakan simulasi dengan software Optisystem 17.1. Penelitian ini menggunakan beberapa variasi bit error dan variasi panjang fiber SMF dengan nilai DCF konstan. Tahap selanjutnya yaitu analisis simulasi hasil, berupa Min BER, Q-Factor, SNR, OSNR, Channel Spectrum, dan Optical Power dari parameter yang telah diamati. Proses Analisis dapat diamati dengan membandingkan performansi berupa Min BER, Q-Factor, SNR, OSNR, Channel Spectrum, dan Optical Power dari variasi bit error dan panjang SMF yang beragam. Tahap terakhir dari penelitian ini yaitu kesimpulan dari analisis yang telah dilakukan. Kesimpulan didapatkan dari hasil pengamatan dan perbandingan Min BER, Q-Factor, SNR, OSNR, Channel Spectrum, dan Optical Power dari variasi bit error dan panjang SMF yang beragam.



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

### B. Blok Diagram Sistem

Pada blok diagram sistem ini, dapat dijelaskan tentang sistem optik DWDM dengan tambahan penguat EDFA yang terdiri dari 8 channel transmitter, Mux, fiber optik (SMF), Penguat EDFA, fiber optik (DCF), Penguat EDFA, Demux dan 8 channel receiver seperti yang ada pada gambar 2



Gambar 2. Blok Diagram Sistem

### C. Parameter Simulasi

Dalam pengerjaan simulasi dibutuhkan parameter-parameter yang digunakan dalam melakukan simulasi. Beberapa parameter yang digunakan dapat dilihat dari tabel 1:

Tabel 1 Parameter Simulasi

Parameter	Nilai	Satuan
BitRate	7, 8, 9, & 10	Gbps
Time Window	0.14628, 0.128, 0.113777, & 0.1024	$\mu$ Hz
Sample Rate	224, 256, 288, & 320	GHz
Sequence Length	1024	Bits
Sample per Bit	32	
Number of Samples	32768	
Sensitivity	-100	dBm
Channel Spacing	100	GHz

Sumber optik yang digunakan dalam simulasi ini adalah CW laser. Terdapat parameter CW laser yang digunakan pada simulasi ini dapat dilihat pada tabel 2 sebagai berikut:

Tabel 2 Parameter CW Laser

Parameter	Nilai	Satuan
Frequency	193.1, 193.2, 193.3, 193.4, 193.5, 193.6, 193.7, 193.8	THz
Power	0	dBm
Linewidth	10	MHz

Penggunaan fiber optik yang dilakukan pada simulasi ini adalah fiber optik jenis single mode fiber (SMF) dan Dispersion Compensating Fiber (DCF). Parameter penggunaan fiber optik SMF dapat dilihat dari tabel 3 berikut ini:

Tabel 3 Parameter fiber optik SMF

Parameter	Nilai	Satuan
Reference Wavelength	1550	nm
Length	50, 60, 70, 80, & 90	km
Attenuation	0.2	dB/km
Dispersion	16.75	ps/nm/km
Dispersion Slope	0.075	ps/nm <sup>2</sup> /km

Sedangkan untuk parameter penggunaan fiber optik DCF dapat dilihat dari tabel 4 berikut ini:

Tabel 4 Parameter fiber optik DCF

Parameter	Nilai	Satuan
Reference Wavelength	1550	nm
Length	10	km
Attenuation	0.2	dB/km
Dispersion	16.75	ps/nm/km
Dispersion Slope	0.075	ps/nm <sup>2</sup> /km
Effective Area	80	Um <sup>2</sup>

Pada simulasi ini digunakan penguat optik untuk menjaga kualitas sinyal tetap stabil. Penguat optik yang digunakan adalah Erbium Doped Fiber Amplifier (EDFA). Parameter yang digunakan pada simulasi ini terdapat pada Tabel 5 berikut [5]:

Tabel 5 Parameter EDFA

Parameter	Nilai	Satuan
Gain	20	dB
Power	10	dBm
Noise Figure	4	dB

Penggunaan photodetektor pada simulasi ini adalah jenis photodetektor PIN (P intrinsic N). Parameter yang digunakan pada photodetektor PIN dapat dilihat pada tabel 3.6 berikut ini:

Tabel 6 Parameter EDFA

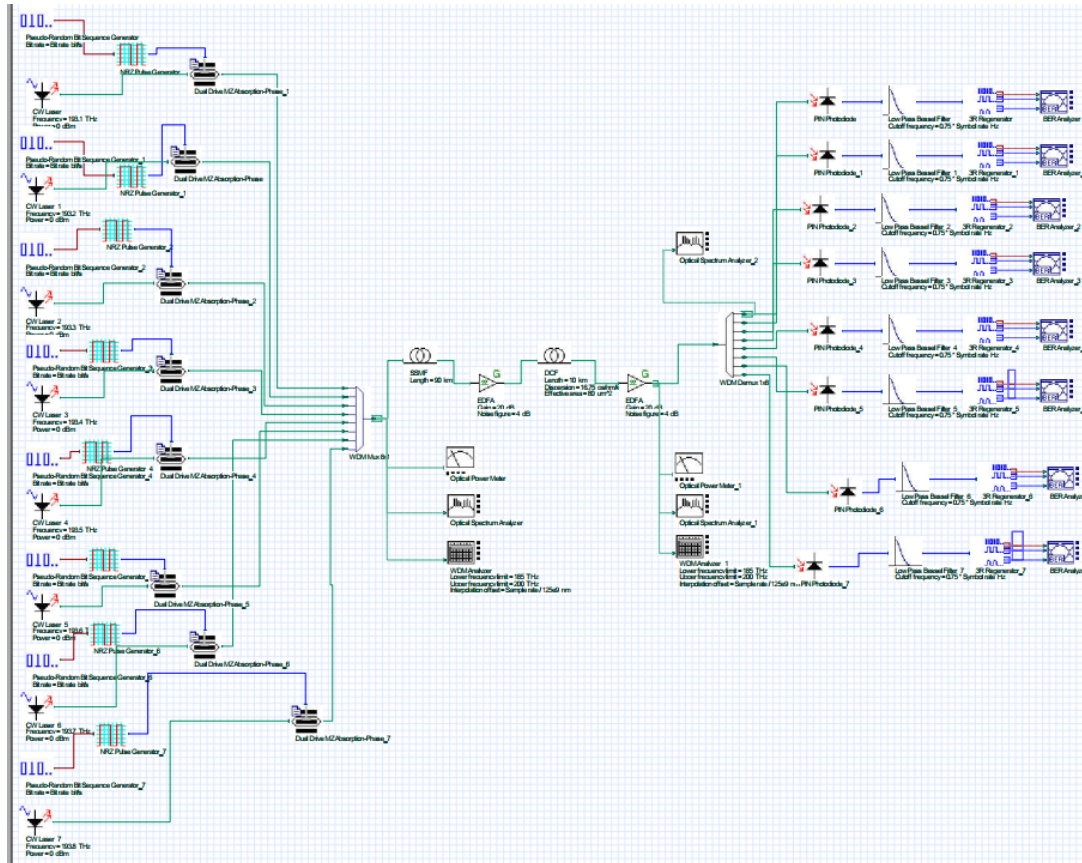
Parameter	Nilai	Satuan
Responsivity	1	A/W
Dark Current	10	nA
Frequency	193.1, 193.2, 193.3, 193.4, 193.5, 193.6, 193.7, 193.8	THz

### III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini menjelaskan tentang hasil simulasi dari sistem yang telah dirancang pada bab sebelumnya. Dalam bab ini dipaparkan tentang pengaruh variasi bit error dan panjang SMF pada sistem optik DWDM dengan penguat EDFA.

### A. Hasil Rancangan Sistem Optik DWDM dengan Penguat EDFA

Perancangan sistem DWDM dengan penguat EDFA dilakukan dengan variasi bit error dan panjang SMF sebagai skenario simulasi. Adapun hasil perancangan sistem optik DWDM dengan Penguat EDFA.



Gambar 3 Hasil Rancangan Sistem Optik DWDM dengan Penguat EDFA

### B. Hasil dan Pembahasan Simulasi

Hasil dari penelitian yang telah dilakukan mencakup nilai *Min BER*, *Q-factor SNR*, *OSNR*, *Channel Spectrum*, dan *Optical Power* dari simulasi sistem optik DWDM dengan penguat EDFA. Ragam variasi bit rate dan variasi panjang fiber SMF dilakukan dengan bit rate sebesar 7 Gbps, 8 Gbps, 9 Gbps 10 Gbps dan panjang fiber SMF 50 km, 60 km, 70 km, 80 km, 90 km. Penelitian ini juga menggunakan 8 *Channel Tx* dan 8 *Channel Rx* dengan frekuensi masing-masing *channel* 193.1 THz, 193.2 THz, 193.3 THz, 193.4 THz, 193.5 THz, 193.6 THz, 193.7 THz, 193.8 THz dengan penguatan EDFA sebesar 20 dB.

Pada tabel 7(a)(b)(c)(d) menunjukkan hasil *Min BER* dari masing-masing *channel* dan tabel 8 menunjukkan nilai rata-rata hasil *Min BER* dari simulasi yang dilakukan dengan variasi Bit rate dan ragam variasi panjang fiber SMF. *Bit error rate* (BER) merupakan laju kesalahan bit yang terjadi dalam mentransmisikan sinyal digital. Sensitivitas merupakan daya optik minimum dari sinyal yang datang pada *bit error rate* yang dibutuhkan. Dalam komunikasi serat optik, dibutuhkan BER yang dicapai minimal  $10^{-9}$  [6].

Tabel 7(a). Hasil *Min* BER pada *Bit rate* 7 Gbps

Frequency (THz)	Bit Rate 7 Gbps				
	Panjang Fiber SMF + DCF (Km)				
	60	70	80	90	100
193.1	1.59E-129	5.97E-132	3.56E-124	2.67E-111	1.68E-89
193.2	1.33E-112	5.83E-127	9.70E-111	1.97E-112	1.61E-93
193.3	1.52E-139	6.54E-135	9.89E-125	3.40E-103	4.96E-97
193.4	2.89E-127	8.98E-141	4.39E-131	1.21E-122	1.74E-93
193.5	3.23E-122	4.82E-116	4.77E-115	3.56E-102	2.68E-91
193.6	1.02E-132	4.41E-125	1.64E-118	7.67E-117	2.67E-93
193.7	7.71E-119	3.60E-134	5.90E-123	7.52E-104	1.42E-94
193.8	4.62E-111	3.17E-106	1.42E-129	6.32E-112	1.38E-101

Tabel 7(b). Hasil *Min* BER pada *Bit rate* 8 Gbps

Frequency (THz)	Bit Rate 8 Gbps				
	Panjang Fiber SMF + DCF (Km)				
	60	70	80	90	100
193.1	1.25E-32	3.98E-32	5.76E-31	2.60E-26	4.90E-19
193.2	2.86E-33	7.15E-32	1.88E-30	3.82E-22	2.59E-23
193.3	6.31E-35	3.72E-33	3.73E-30	3.97E-27	1.65E-24
193.4	1.67E-34	1.42E-34	6.21E-30	1.08E-29	9.61E-23
193.5	3.87E-33	3.56E-32	3.18E-34	3.14E-27	1.25E-19
193.6	2.75E-33	2.02E-33	8.77E-30	1.13E-30	1.56E-23
193.7	5.50E-33	1.77E-32	2.38E-31	2.36E-27	4.93E-24
193.8	8.71E-35	2.67E-34	8.75E-31	2.41E-29	4.51E-21

Tabel 7(c). Hasil *Min* BER pada *Bit rate* 9 Gbps

Frequency (THz)	Bit Rate 9 Gbps				
	Panjang Fiber SMF + DCF (Km)				
	60	70	80	90	100
193.1	7.64E-14	5.94E-13	4.48E-12	6.15E-11	3.22E-09
193.2	1.17E-13	6.30E-13	2.03E-12	1.68E-10	3.57E-09
193.3	7.77E-14	3.20E-13	2.73E-12	6.06E-11	2.73E-09
193.4	6.42E-14	3.10E-13	4.08E-11	9.28E-11	1.98E-09
193.5	6.85E-14	5.36E-13	4.66E-12	1.13E-10	2.26E-09
193.6	4.21E-14	6.29E-13	3.86E-12	5.46E-11	1.94E-09
193.7	9.87E-14	2.21E-13	1.69E-12	8.49E-11	1.35E-09
193.8	4.87E-14	3.01E-13	7.53E-12	2.01E-11	1.87E-09

Tabel 7(d). Hasil *Min* BER pada *Bit rate* 10 Gbps

Frequency (THz)	Bit Rate 10 Gbps				
	Panjang Fiber SMF + DCF (Km)				
	60	70	80	90	100
193.1	3.47E-07	4.12E-07	2.47E-06	1.65E-05	2.01E-02
193.2	1.37E-07	4.56E-07	2.16E-06	1.39E-05	4.37E-02
193.3	1.21E-07	4.29E-07	1.88E-06	1.21E-05	4.13E-02
193.4	6.12E-08	2.31E-07	2.75E-06	1.38E-05	3.99E-02
193.5	1.58E-07	4.81E-07	1.99E-06	8.38E-06	5.55E-05
193.6	1.39E-07	5.05E-07	1.91E-06	8.23E-06	4.09E-05
193.7	1.48E-07	4.56E-07	2.03E-06	7.01E-06	2.63E-02
193.8	1.32E-07	4.68E-07	3.30E-06	9.76E-06	4.42E-05

Tabel 8. Hasil rata – rata *Min* BER

Jumlah Kanal	Bit Rate (Gbps)	Panjang Fiber SMF + DCF (Km)				
		60	70	80	90	100
8	7 Gbps	5.95E-112	3.959E-107	1.21E-111	4.966E-103	2.1352E-90
	8 Gbps	3.4758E-33	2.1343E-32	2.784E-30	4.779E-23	7.7515E-20
	9 Gbps	7.4113E-14	4.4252E-13	8.469E-12	8.1949E-11	2.3648E-09
	10 Gbps	1.55E-07	4.2955E-07	2.311E-06	1.1212E-05	0.02143543

Pada tabel 9(a)(b)(c)(d) menunjukkan hasil Q-Factor dari masing-masing channel dan tabel 10 menunjukkan hasil rata-rata nilai Q-Factor dari simulasi yang dilakukan. Nilai Q-Factor yang bekerja dengan baik dan sesuai standar adalah minimal bernilai 6.

Tabel 9(a). Hasil *Q-Factor* pada *Bit rate* 7 Gbps

Frequency (THz)	Bit Rate 7 Gbps				
	Panjang Fiber SMF + DCF (Km)				
	60	70	80	90	100
193.1	24.171	24.4017	23.6591	22.3749	20.0122
193.2	22.5051	23.9272	22.3171	22.4909	20.4687
193.3	25.1087	24.6796	23.7132	21.5264	20.8584
193.4	23.9575	25.2195	24.322	23.5112	20.4652
193.5	23.4678	22.8561	22.755	21.4162	20.2173
193.6	24.4742	23.7476	23.1024	22.937	20.4435
193.7	23.1325	24.6111	23.5406	21.5958	20.5868
193.8	22.3472	21.845	24.1785	22.4381	21.5342

Tabel 9(b). Hasil *Q-Factor* pada *Bit rate* 8 Gbps

Frequency (THz)	Bit Rate 8 Gbps				
	Panjang Fiber SMF + DCF (Km)				
	60	70	80	90	100
193.1	11.8139	11.717	11.4925	10.5284	8.82696
193.2	11.9378	11.6682	11.3873	9.59601	9.8595
193.3	12.2517	11.9181	11.3297	10.7024	10.1335
193.4	12.1709	12.1857	11.2832	11.2383	9.72678
193.5	11.9129	11.7277	12.1235	10.7257	8.97908
193.6	11.9414	11.9685	11.2536	11.4345	9.90906
193.7	11.8824	11.785	11.5676	10.7509	10.025
193.8	12.2251	12.1349	11.4556	11.1659	9.33745

Tabel 9(c). Hasil *Q-Factor* pada *Bit rate* 9 Gbps

Frequency (THz)	Bit Rate 9 Gbps				
	Panjang Fiber SMF + DCF (Km)				
	60	70	80	90	100
193.1	7.35951	7.08254	6.797	6.41353	5.78335
193.2	7.30061	7.07261	6.91193	6.25768	5.766
193.3	7.35577	7.16553	6.86903	6.41489	5.81125
193.4	7.38192	7.17206	6.48013	6.34788	5.86421
193.5	7.37192	7.09426	6.79248	6.31962	5.84069
193.6	7.43711	7.07299	6.81996	6.43205	5.869
193.7	7.32349	7.21656	6.93773	6.36108	5.92616
193.8	7.4181	7.17476	6.72238	6.58108	5.86897



Tabel 9(d). Hasil *Q-Factor* pada *Bit rate* 10 Gbps

Frequency (THz)	Bit Rate 10 Gbps				
	Panjang Fiber SMF + DCF (Km)				
	60	70	80	90	100
193.1	4.94065	4.90197	4.54123	4.12738	2.02133
193.2	5.11049	4.88186	4.56713	4.16646	1.67735
193.3	5.13368	4.89402	4.59939	4.19665	1.69781
193.4	5.26187	5.01416	4.52142	4.16461	1.72373
193.5	5.08085	4.86807	4.58533	4.28083	3.83962
193.6	5.10911	4.86221	4.59317	4.28488	3.91242
193.7	5.09829	4.88283	4.5793	4.31744	1.90644
193.8	5.11698	4.87464	4.48379	4.24431	3.89487

Tabel 10. Hasil rata-rata *Q-Factor*

Jumlah Kanal	Bit Rate (Gbps)	Panjang Fiber SMF + DCF (Km)				
		60	70	80	90	100
8	7 Gbps	23.6455	23.910975	23.448488	22.2863125	20.5732875
	8 Gbps	12.017013	11.888138	11.486625	10.7677638	9.59966625
	9 Gbps	7.3685538	7.1314138	6.79133	6.39097625	5.84120375
	10 Gbps	5.10649	4.89747	4.558845	4.22282	2.58419625

Pada Tabel 9(a)(b)(c)(d) menunjukkan hasil SNR dari masing-masing channel dan tabel XII menunjukkan nilai rata-rata hasil SNR dari simulasi yang dilakukan. Nilai SNR yang direkomendasikan adalah 25 dB.

Tabel 11(a) Hasil *SNR* pada *Bit rate* 7 Gbps

Frequency (THz)	Bit Rate 7 Gbps				
	Panjang Fiber SMF + DCF (Km)				
	60	70	80	90	100
193.1	37.491173 dB	35.7492 dB	33.819942 dB	31.907267 dB	30.048955 dB
193.2	37.504234 dB	35.706472 dB	33.926011 dB	31.970567 dB	30.06401 dB
193.3	36.797004 dB	35.30558 dB	33.603681 dB	31.737409 dB	29.809102 dB
193.4	36.884697 dB	35.333204 dB	33.556234 dB	31.775054 dB	29.901611 dB
193.5	36.81225 dB	35.27303 dB	33.609453 dB	31.756718 dB	29.86405 dB
193.6	36.8435 dB	35.362793 dB	33.585353 dB	31.80298 dB	29.833355 dB
193.7	37.376179 dB	35.700765 dB	34.013381 dB	31.983457 dB	30.048837 dB
193.8	37.449983 dB	35.701879 dB	33.855636 dB	31.90099 dB	30.005259 dB

Tabel 11(b) Hasil *SNR* pada *Bit rate* 8 Gbps

Frequency (THz)	Bit Rate 8 Gbps				
	Panjang Fiber SMF + DCF (Km)				
	60	70	80	90	100
193.1	38.031055 dB	36.039922 dB	34.042217 dB	32.056546 dB	30.0741 dB
193.2	38.159928 dB	36.150515 dB	33.972793 dB	32.019147 dB	30.102567 dB
193.3	38.061316 dB	36.074814 dB	34.111317 dB	32.013427 dB	30.078452 dB
193.4	38.062939 dB	36.068588 dB	34.055023 dB	32.063871 dB	30.118871 dB
193.5	38.019954 dB	36.039850 dB	33.993078 dB	32.079468 dB	30.064217 dB
193.6	38.030661 dB	36.026009 dB	34.099174 dB	32.094249 dB	29.929939 dB
193.7	38.017577 dB	36.027443 dB	34.060351 dB	32.108545 dB	30.058958 dB
193.8	38.157483 dB	36.171891 dB	34.047985 dB	32.020772 dB	30.09416 dB

Tabel 11(c) Hasil SNR pada Bit rate 9 Gbps

Frequency (THz)	Bit Rate 9 Gbps				
	Panjang Fiber SMF + DCF (Km)				
	60	70	80	90	100
193.1	15.473188 dB	15.514027 dB	15.466574 dB	15.531805 dB	15.458389 dB
193.2	15.4408 dB	15.503277 dB	15.609265 dB	15.675269 dB	15.400048 dB
193.3	15.491026 dB	15.55987 dB	15.497162 dB	15.486149 dB	15.577629 dB
193.4	12.35754 dB	12.421173 dB	12.493016 dB	12.492232 dB	12.416225 dB
193.5	12.267231 dB	12.370508 dB	12.512116 dB	12.508942 dB	12.335531 dB
193.6	15.532503 dB	15.624921 dB	15.50819 dB	15.557208 dB	15.498821 dB
193.7	15.543359 dB	15.60362 dB	15.580528 dB	15.489176 dB	15.592931 dB
193.8	15.521717 dB	15.579472 dB	15.580664 dB	15.519673 dB	15.422649 dB

Tabel 11(d) Hasil SNR pada Bit rate 10 Gbps

Frequency (THz)	Bit Rate 10 Gbps				
	Panjang Fiber SMF + DCF (Km)				
	60	70	80	90	100
193.1	35.358621 dB	34.147089 dB	32.583281 dB	31.010359 dB	29.295164 dB
193.2	35.223698 dB	34.095211 dB	32.670664 dB	31.181863 dB	29.378369 dB
193.3	35.23134 dB	34.151699 dB	32.689556 dB	31.144858 dB	29.401524 dB
193.4	33.57674 dB	32.888699 dB	31.802312 dB	30.335188 dB	28.981562 dB
193.5	33.262205 dB	32.691876 dB	31.825748 dB	30.527894 dB	28.95584 dB
193.6	35.182867 dB	34.23149 dB	32.762965 dB	31.085106 dB	29.355816 dB
193.7	35.138827 dB	34.11527 dB	32.64133 dB	31.096268 dB	29.446835 dB
193.8	35.054836 dB	33.92227 dB	32.699533 dB	31.086968 dB	29.372274 dB

Tabel 12 Hasil rata-rata SNR

Jumlah Kanal	Bit Rate (Gbps)	Panjang Fiber SMF + DCF (Km)				
		60	70	80	90	100
8	7	37.1448775 dB	35.5166154 dB	33.746211 dB	31.8543053 dB	29.9468974 dB
	8	38.0676141 dB	36.074879 dB	34.047742 dB	32.0570031 dB	30.065158 dB
	9	14.7034205 dB	14.7721085 dB	14.780939 dB	14.7825568 dB	14.7127779 dB
	10	37.1448775 dB	35.5166154 dB	33.746211 dB	31.8543053 dB	29.9468974 dB

Pada tabel 13(a)(b)(c)(d) menunjukkan hasil OSNR dari masing-masing channel dan tabel XIV menunjukkan nilai rata-rata hasil OSNR dari simulasi yang dilakukan. Nilai OSNR yang direkomendasikan adalah 25 dB.

Tabel 13(a) Hasil OSNR pada Bit rate 7 Gbps

Frequency (THz)	Bit Rate 7 Gbps				
	Panjang Fiber SMF + DCF (Km)				
	60	70	80	90	100
193.1	39.532372 dB	37.7904 dB	35.861142 dB	33.948467 dB	32.090155 dB
193.2	39.545434 dB	37.74767 dB	35.967211 dB	34.011767 dB	32.10521 dB
193.3	38.838204 dB	37.34678 dB	35.644881 dB	33.778609 dB	31.850302 dB
193.4	38.925897 dB	37.374403 dB	35.597434 dB	33.816254 dB	31.942811 dB
193.5	38.85345 dB	37.31423 dB	35.650653 dB	33.797918 dB	31.90525 dB
193.6	38.8847 dB	37.403992 dB	35.626552 dB	33.84418 dB	31.874554 dB
193.7	39.417379 dB	37.741964 dB	36.054581 dB	34.024657 dB	32.090037 dB
193.8	39.491183 dB	37.743079 dB	35.896836 dB	33.94219 dB	32.046459 dB

Tabel 13(b) Hasil OSNR pada Bit rate 8 Gbps

Frequency (THz)	Bit Rate 8 Gbps				
	Panjang Fiber SMF + DCF (Km)				
	60	70	80	90	100
193.1	40.072255 dB	38.081122 dB	36.083417 dB	34.097746 dB	32.115299 dB
193.2	40.201128 dB	38.191715 dB	36.013993 dB	34.060347 dB	32.143767 dB
193.3	40.102516 dB	38.116014 dB	36.152517 dB	34.054627 dB	32.119652 dB
193.4	40.104138 dB	38.109788 dB	36.096223 dB	34.105071 dB	32.160071 dB
193.5	40.061154 dB	38.08105 dB	36.034278 dB	34.120668 dB	32.105417 dB
193.6	40.071861 dB	38.067209 dB	36.140374 dB	34.135449 dB	31.971138 dB
193.7	40.058777 dB	38.068643 dB	36.101551 dB	34.149745 dB	32.100158 dB
193.8	40.198683 dB	38.213091 dB	36.089185 dB	34.061972 dB	32.13536 dB

Tabel 13(c) Hasil OSNR pada Bit rate 9 Gbps

Frequency (THz)	Bit Rate 9 Gbps				
	Panjang Fiber SMF + DCF (Km)				
	60	70	80	90	100
193.1	17.514388 dB	17.555227 dB	17.507774 dB	17.573005 dB	17.499588 dB
193.2	17.482 dB	17.544476 dB	17.650465 dB	17.716469 dB	17.441248 dB
193.3	17.532226 dB	17.601069 dB	17.538362 dB	17.527349 dB	17.618829 dB
193.4	14.39874 dB	14.462372 dB	14.534216 dB	14.533432 dB	14.457425 dB
193.5	14.308431 dB	14.411707 dB	14.553316 dB	14.550142 dB	14.376731 dB
193.6	17.573703 dB	17.666121 dB	17.54939 dB	17.598408 dB	17.540021 dB
193.7	17.584559 dB	17.64482 dB	17.621728 dB	17.530376 dB	17.634131 dB
193.8	17.562917 dB	17.620671 dB	17.621864 dB	17.560873 dB	17.463849 dB

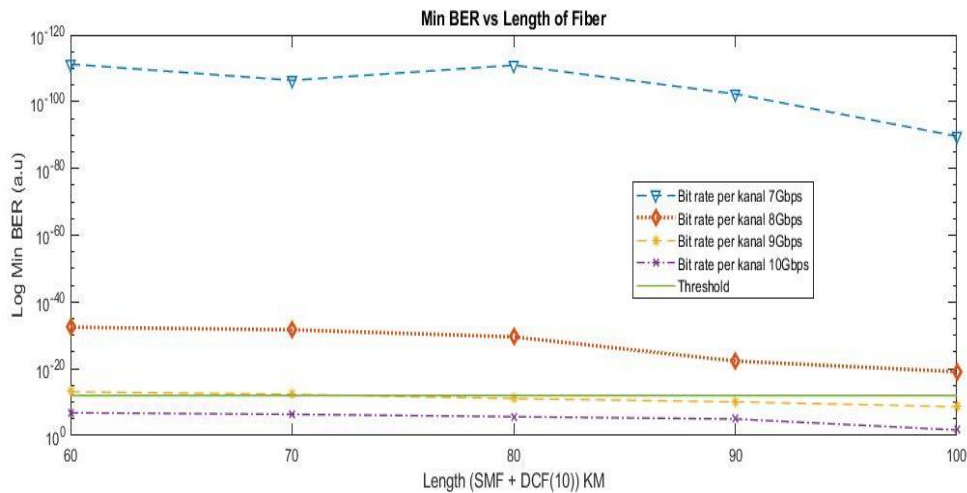
Tabel 13(c) Hasil OSNR pada Bit rate 10 Gbps

Frequency (THz)	Bit Rate 10 Gbps				
	Panjang Fiber SMF + DCF (Km)				
	60	70	80	90	100
193.1	37.399821 dB	36.188289 dB	34.624481 dB	33.051558 dB	31.336364 dB
193.2	37.264898 dB	36.136411 dB	34.711863 dB	33.223063 dB	31.419569 dB
193.3	37.27254 dB	36.192899 dB	34.730756 dB	33.186058 dB	31.442724 dB
193.4	35.61794 dB	34.929899 dB	33.843512 dB	32.376388 dB	31.022761 dB
193.5	35.303405 dB	34.733076 dB	33.866948 dB	32.569094 dB	30.997039 dB
193.6	37.224067 dB	36.27269 dB	34.804165 dB	33.126306 dB	31.397016 dB
193.7	37.180027 dB	36.15647 dB	34.68253 dB	33.137468 dB	31.488035 dB
193.8	37.096036 dB	35.96347 dB	34.740733 dB	33.128168 dB	31.413474 dB

Tabel 14 Hasil rata-rata OSNR

Jumlah Kanal	Bit Rate (Gbps)	Panjang Fiber SMF + DCF (Km)				
		60	70	80	90	100
8	7	39.1860774 dB	37.557815 dB	35.787411 dB	33.8955053 dB	31.9880973 dB
	8	40.108814 dB	38.116079 dB	36.088942 dB	34.0982031 dB	32.1063578 dB
	9	16.7446205 dB	16.8133079 dB	16.822139 dB	16.8237568 dB	16.7539778 dB
	10	36.7948418 dB	35.8216505 dB	34.500624 dB	32.9747629 dB	31.3146228 dB

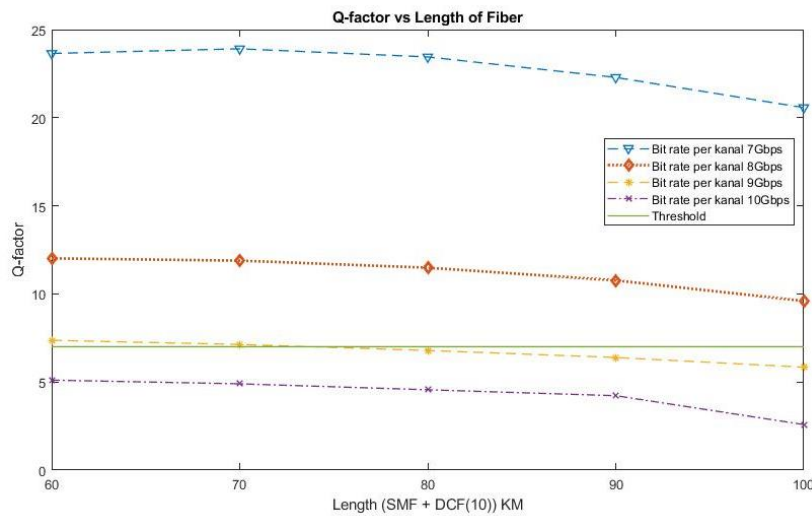
Pada gambar 4 menunjukkan nilai *Min BER* yang dihasilkan dengan ragam variasi *Bit rate* dan ragam variasi panjang fiber SMF. *Min BER* dianggap baik apabila nilainya semakin kecil. Pada penelitian ini minimum *threshold* yang digunakan untuk menilai performance *Min BER* adalah  $10^{-12}$



Gambar 4. Grafik Log Min BER sistem optik DWDM dengan penguat EDFA dengan variasi Bit rate & panjang fiber SMF

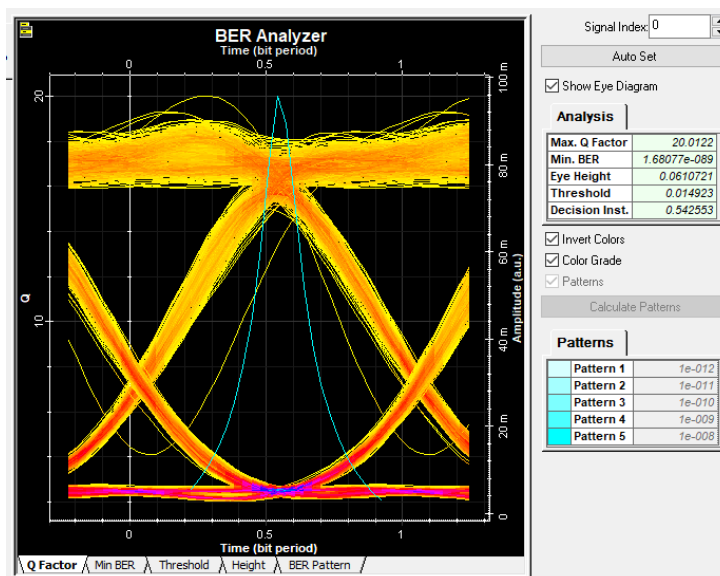
Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem optik DWDM dengan penguat EDFA dengan variasi Bit rate 7 Gbps, 8 Gbps, 9 Gbps, 10 Gbps dan variasi panjang fiber SMF 50 km, 60 km, 70 km, 80 km, 90 km dengan panjang fiber DCF konstan 10 km. Dapat dilihat bahwa nilai BER yang belum memenuhi standar adalah *Bit rate* 9 Gbps pada panjang fiber 90 km dengan nilai BER yang diperoleh adalah  $8.1949E-11$ . Hal ini juga berlaku pada *Bit rate* 10 Gbps dengan variasi panjang fiber 60 km, 70 km, 80 km, 90 km dan 100 km masing-masing BER yaitu  $10^{-7}$ ,  $10^{-6}$ ,  $10^{-5}$  dan 0.01243543. Akan tetapi untuk *Bit rate* 7 Gbps dan 8 Gbps dengan variasi panjang fiber 60 km, 70 km, 80 km, 90 km dan 100 km telah memenuhi standar nilai minimum BER.

Berdasarkan gambar 5 menunjukkan nilai *Q-Factor* yang dihasilkan dengan ragam variasi *Bit rate* dan ragam variasi panjang fiber SMF serta panjang fiber DCF yang konstan. Semakin besar nilai *Q-Factor*, semakin baik pula kinerja sistem. Pada penelitian ini standar *threshold* untuk *Q-Factor* adalah bernilai 7. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem optik DWDM dengan penguat EDFA dengan variasi *Bit rate* 7 Gbps, 8 Gbps, 9 Gbps, 10 Gbps dan variasi panjang fiber SMF 50 km, 60 km, 70 km, 80 km, 90 km dan panjang fiber DCF konstan 10 km. Dapat dilihat bahwa nilai *Q-Factor* yang belum memenuhi standar *threshold* adalah *Bit rate* 9 Gbps pada panjang fiber 80 km dengan nilai *Q-Factor* yang diperoleh adalah 6.79133. Hal ini juga berlaku pada *Bit rate* 10 Gbps dengan variasi panjang fiber 60 km, 70 km, 80 km, 90 km dan 100 km masing-masing nilai *Q-Factor* tidak memenuhi standar minimal *Q-Factor*. Sedangkan pada variasi *Bit rate* 7 Gbps dan 8 Gbps dengan variasi panjang fiber telah memenuhi standar *Q-Factor* minimum.



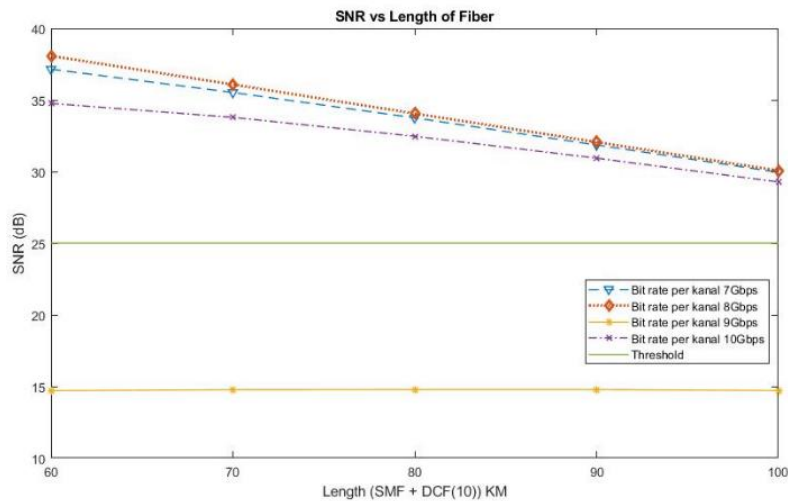
Gambar 5. Grafik *Q-Factor* sistem optik DWDM dengan penguat EDFA dengan variasi Bit rate & panjang fiber SMF

Berdasarkan gambar 6 berikut menunjukkan bahwa hasil simulasi sistem optik DWDM dengan penguat EDFA dengan variasi *Bit rate* 7 Gbps dan variasi panjang fiber optik sepanjang 100 km dapat dilihat bahwa penelitian yang telah dilakukan sesuai dengan standar yang ditentukan dengan performa kerja BER yang diperoleh secara rata-rata dari 8 channel sangat baik yaitu  $2.1352E-90$  dengan nilai *Q-Factor* sebesar 20.5732875.



Gambar 6. Eye Diagram Bit rate 7 Gbps jarak 100 km

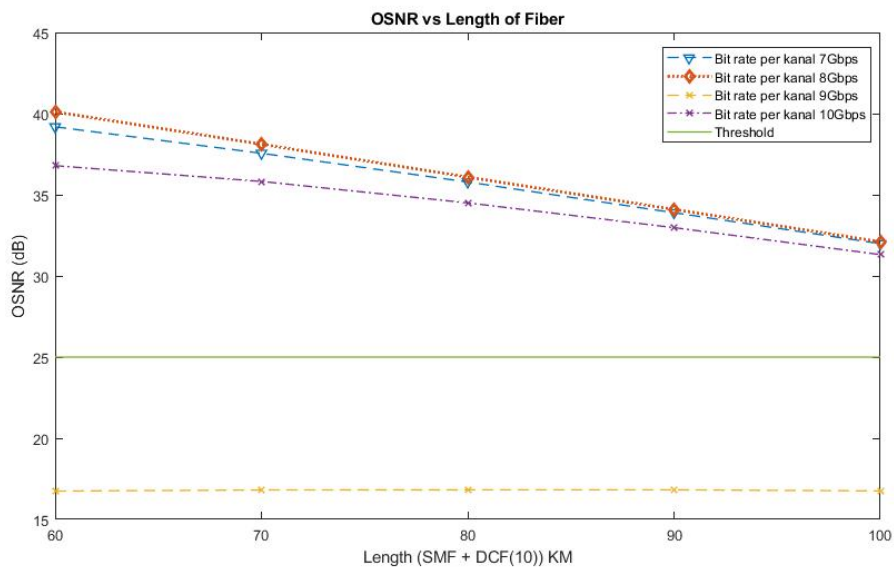
Berdasarkan gambar 7 menunjukkan nilai SNR yang dihasilkan dengan ragam variasi Bit rate dan ragam panjang fiber SMF serta panjang fiber DCF yang konstan. SNR dianggap paling baik jika nilai SNR lebih dari 25 dB



Gambar 7. Grafik SNR DWDM dengan penguat EDFA dengan variasi *Bit rate* & variasi panjang fiber SMF

Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem optik DWDM dengan penguat EDFA dengan variasi Bit rate 7 Gbps, 8 Gbps, 9 Gbps, 10 Gbps dan variasi panjang fiber SMF 50 km, 60 km, 70 km, 80 km, 90 km dan panjang fiber DCF konstan 10 km. Dari gambar 4.4 dapat dilihat bahwa nilai SNR yang tidak memenuhi standar adalah Bit rate 9 Gbps dengan variasi panjang fiber 60 km, 70 km, 80 km, 90 dan 100 km dengan nilai SNR masing-masing kurang dari 25 dB. Hal ini disebabkan oleh sistem DWDM yang memiliki banyak panjang gelombang atau frekuensi yang digunakan. Disisi lain, komponen dalam sistem komunikasi mulai transmitter hingga receiver memiliki rentang kerja yang berbeda hingga memiliki respon berbeda terhadap panjang gelombang tertentu sehingga menyebabkan nilai SNR kurang dari 25 dB. Akan tetapi untuk variasi Bit rate 7 Gbps, 8 Gbps dan 10 Gbps dengan variasi panjang fiber 60 km, 70 km, 80 km, 90 dan 100 km telah memenuhi standar rekomendasi SNR yaitu lebih dari 25 dB.

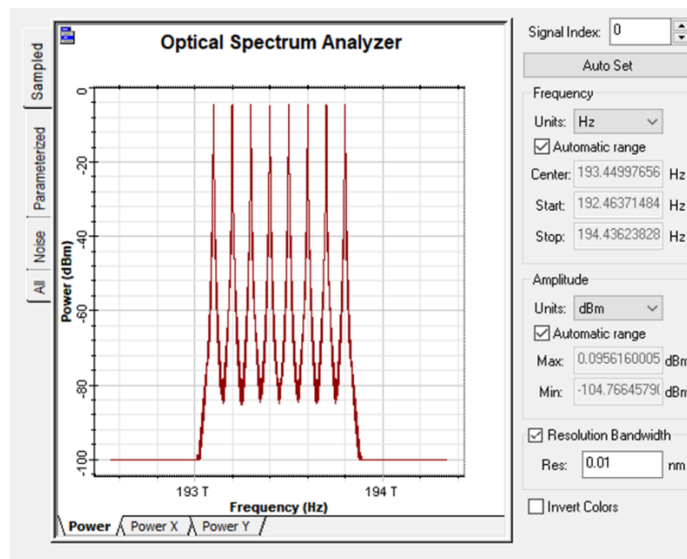
Berdasarkan gambar 8 menunjukkan nilai OSNR yang dihasilkan dengan ragam variasi Bit rate dan ragam panjang fiber SMF serta panjang fiber DCF yang konstan. OSNR dianggap paling baik jika nilainya lebih dari 25 dB.



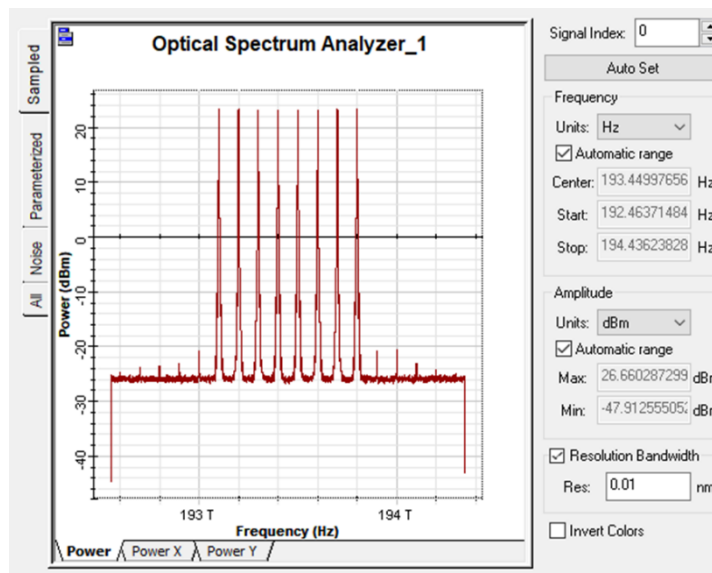
Gambar 8 Grafik OSNR DWDM dengan penguat EDFA dengan variasi *Bit rate* & variasi panjang fiber SMF

Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem optik DWDM dengan penguat EDFA dengan variasi *Bit rate* 7 Gbps, 8 Gbps, 9 Gbps, 10 Gbps dan variasi panjang fiber SMF 50 km, 60 km, 70 km, 80 km, 90 km dan panjang fiber DCF konstan 10 km. Dari gambar 4.5 dapat dilihat bahwa nilai OSNR yang tidak memenuhi standar adalah *Bit rate* 9 Gbps dengan variasi panjang fiber 60 km, 70 km, 80 km, 90 dan 100 km dengan nilai SNR masing-masing kurang dari 25 dB. Akan tetapi untuk variasi *Bit rate* 7 Gbps, 8 Gbps dan 10 Gbps dengan variasi panjang fiber 60 km, 70 km, 80 km, 90 dan 100 km telah memenuhi standar rekomendasi SNR yaitu lebih dari 25 dB.

Pada gambar 9(a)(b) menunjukkan nilai perubahan *Optical Spectrum* yang dihasilkan sebelum EDFA dan setelah EDFA.



Gambar 9(a) Grafik *Optical Spectrum* sebelum penguat EDFA



Gambar 9(b) Grafik *Optical Spectrum* setelah penguat EDFA

Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem optik DWDM dengan penguat EDFA dengan variasi *Bit rate* 7 Gbps, 8 Gbps, 9 Gbps, 10 Gbps dan variasi panjang fiber SMF 50 km, 60 km, 70 km, 80 km, 90 km dan panjang fiber DCF konstan 10 km. Telah dengan standar yang ditentukan serta memenuhi

ekspektasi racangan karena *Power input* laser dari masing-masing *channel* adalah 0 dBm mengalami penguatan sebesar 26.660 dBm setelah penggunaan penguat EDFA. Hal ini dapat dilihat pada gambar 4.6(a) memiliki *Max Power Spectrum* masing-masing *channel* yakni 0.0956160005 dBm sedangkan pada gambar 4.6(b) memiliki *Max Power Spectrum* masing-masing *channel* yakni 26.660 dBm.

#### IV. KESIMPULAN

Penggunaan penguat EDFA sangat berpengaruh pada kelayakan BER dan *Q-Factor* khususnya pada *Bit rate* 7 Gbps dan 8 Gbps dengan maksimal panjang fiber 100 km. Pada *Bit rate* 9 Gbps dan 10 Gbps untuk semua variasi panjang fiber optik terdapat nilai BER dan *Q-Factor* yang tidak memenuhi standar kelayakan. Dari semua skema penelitian terdapat nilai SNR dan OSNR yang tidak sesuai standar pada *Bit rate* 9 Gbps untuk semua variasi panjang fiber. Hal ini disebabkan oleh karakteristik dari DWDM yang memiliki banyak frekuensi yang digunakan serta komponen pada transmitter dan receiver yang memiliki respon yang berbeda pada rentang frekuensi dan *Bit rate* tertentu. Hasil pengujian ini juga membuktikan bahwa semakin panjang fiber optik maka nilai BER dan *Q-Factor* akan semakin berkurang.

#### REFERENSI

- [1] Keiser, Gerard, 1991, "Optical Fiber Communication 3rd Edition", Mc Graw-Hill Inc.
- [2] Dewiani D<sup>1</sup>, Andani A<sup>2</sup>, Fiqri H<sup>3</sup>, Dhanang B<sup>4</sup>, 2017, "Analisis Penguat EDFA dan SOA pada Sistem Transmisi DWDM dengan Optisystem 14," Universitas Hasanudin, Jurnal, Gowa, Sulawesi Selatan, Indonesia.
- [3] Sri Danaryani<sup>1</sup>, Syamsul El Yumin<sup>2</sup>, Iwan Krisnadi<sup>3</sup>, 2015, "Studi Perancangan Jaringan Komunikasi Serat Optik Dwdm L Band dengan Penguat Optik EDFA," Politeknik Negeri Jakarta, Jurnal, Jakarta, Indonesia.
- [4] Jovi Brema Barus<sup>1</sup>, Fauza Khair<sup>2</sup>, Eko Fajar C<sup>3</sup>, 2018 "Analisis Pengaruh Penguat Edfa (Erbium Doped Fiber Amplifier) Pada Sistem Radio Over Fiber (Rof) dengan Mekanisme Optical Interleaver," ITT Purwokerto, Jurnal, Purwokerto, Jawa Tengah, Indonesia.
- [5] Lazuardi Ramadeanto<sup>1</sup>, Akhmad Hambali<sup>2</sup>, Brian Pramukti<sup>3</sup>, 2018, "PERFORMANSI EDFA DI SETIAP BIT RATE YANG DIKIRIMKAN DARI TRANSMITTER KE RECEIVER PADA JARAK 50 KM PADA SISTEM," Universitas Telkom, Jurnal, Bandung, Jawa Barat, Indonesia.
- [6] "Konsep Dasar Serat Optik dan Dense Wavelength Division Multiplexing" Universitas Sumatera Utara