



Analisis Performa Sistem *Dense Wavelength Division Multiplexing* dengan *Hybrid Optical Amplifier* dan *Single Amplifier* Menggunakan Optisystem

Gde Ngurah Agung Adi Saputra^{*1}, Ahmad Firdausi²

¹PT.Lancs Arche Consumma, Jakarta, Indonesia

Jl. Raya Pasar Minggu No.10A, Jakarta 12740, Indonesia

²Teknik Elektro, Universitas Mercu Buana,

Jl. Meruya Selatan, Jakarta 11650, Indonesia

*Email Penulis Koresponden: gdengurah1996@gmail.com

Abstrak:

Kebutuhan akan kapasitas jaringan *backbone* yang besar dan mampu menempuh jarak yang jauh sangat dibutuhkan. Sehingga penggunaan *Dense Wavelength Division Multiplexing* (DWDM) yang merupakan teknik penggabungan panjang gelombang pada transmisi optik mulai diimplementasikan pada jaringan *backbone* untuk dapat memenuhi kebutuhan kapasitas yang besar dengan jarak yang jauh. Teknologi DWDM mengalami penurunan level daya sinyal yang diakibatkan oleh redaman serat optik sepanjang link yang dipakai. Untuk mengatasinya, digunakanlah penguat optik. Penguat optik *single* merupakan suatu teknik yang dapat memberikan penguatan tunggal yang dapat mencapai jarak maksimum hingga kurang dari 165 km. Konfigurasi penguatan lain dibutuhkan guna untuk mengoptimalkan peningkatan gain pada sistem DWDM. Penggunaan penguat *Hybrid-Parallel* (FRA-EDFA) diusulkan pada sistem optik untuk mengoptimalkan penguatan pada sistem DWDM dalam memenuhi kebutuhan gain sehingga mampu menangani jaringan dengan beban yang besar pada jarak yang jauh. Berdasarkan hasil simulasi dan analisis dengan jarak iterasi kelipatan 10 km, penguat *Hybrid-Parallel* (FRA-EDFA) pada sistem DWDM 80 kanal yang dibandingkan dengan *Single* EDFA dan FRA didapatkan bahwa *Hybrid* masih dapat memberikan nilai *Q-factor*, BER, dan *power received* yang baik pada seluruh kanal pada jarak transmisi 221 km dibandingkan dengan *Single* EDFA pada jarak maksimal 164 km dan *Single* FRA dengan jarak maksimal 93 km.

This is an open access article under the [CC BY-NC](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/) license



Kata Kunci:

DWDM;
EDFA;
FRA;
Hybrid Amplifier;

Riwayat Artikel:

Diserahkan 27 Juli 2021

Direvisi 25 April 2022

Diterima 24 Mei 2022

Dipublikasi 18 Agustus 2022

DOI:

10.22441/incomtech.v12i2.12458

1. PENDAHULUAN

Meningkatnya jumlah pengguna sistem komunikasi dan bertambah luasnya daerah jaringan menyebabkan kebutuhan aplikasi broadband semakin meningkat terutama untuk jaringan *backbone* [1]. Sehingga untuk dapat memenuhi kebutuhan tersebut dibutuhkan sistem komunikasi yang mampu menampung kapasitas yang besar dengan performa yang baik untuk menangani beban jaringan pada jarak yang jauh yaitu DWDM [2]. *Dense Wavelength Division Multiplexing (DWDM)* merupakan teknologi transmisi serat optik yang menyediakan kapasitas *bandwidth* yang besar untuk memenuhi kebutuhan aplikasi *broadband* yang semakin meningkat terutama untuk jaringan *backbone* [3]. DWDM sendiri menggunakan teknik *multiplexing* yaitu mentransmisikan beberapa saluran optik dengan panjang gelombang yang berbeda dan jarak kanal yang cukup rapat pada satu serat optik [4][5].

DWDM sebagai sistem komunikasi serat optik sendiri memanfaatkan cahaya sebagai gelombang pembawa informasi yang mengalami pelemahan sinyal sepanjang saluran transmisi optik akibat adanya atenuasi. Atenuasi adalah suatu pelemahan sinyal informasi dari serat optik yang disebabkan oleh faktor utama yaitu absorpsi dan hamburan (*scattering*) [6]. Untuk mengoptimalkan sistem DWDM dalam mengatasi hal tersebut untuk bisa mentransmisikan sinyal dengan kapasitas besar dengan jarak yang jauh, dibutuhkan suatu penguat optik (*optical amplifier*) yang dapat bekerja maksimal dalam melakukan penguatan sepanjang saluran optik [7]. Terdapat tiga jenis penguat optik yaitu *Semiconductor Optical Amplifier (SOA)*, *Erbium Doped Fiber Amplifier (EDFA)*, dan *Fiber Raman Amplifier (FRA)* yang dapat diletakan sebagai *booster*, *in-line*, dan *pre-amp* [8][9]. Terdapat dua metode penguatan optik yang ada pada sistem DWDM yaitu adalah *Single Amplifier* yang merupakan penguatan tunggal dan HOA (*Hybrid Optical Amplifier*) yang merupakan gabungan beberapa jenis penguat optik [10].

Berbagai konfigurasi penguatan masih banyak dilakukan untuk sistem DWDM baik itu secara *single* atau *hybrid* dengan jenis spesifikasi penguat yang berbeda-beda untuk dapat mencukupi kapasitas yang diinginkan pada jarak yang jauh. Peneliti sebelumnya pernah menggunakan *hybrid-seri* (FRA dan EDFA) dengan spesifikasi penguatan khusus secara *in-line* pada sistem DWDM didapatkan jarak maksimum 200 km [11]. Penelitian lainnya pernah mencoba berbagai konfigurasi peletakan penguatan antara lain *booster*, *in-line*, dan *pre-amp* utk jenis penguatan *Single Amplifier* pada DWDM dimana sebagian besar konfigurasi peletakan *Booster* memberikan performa yang paling baik dengan jarak maksimum 165 km [12]. Sehingga pada penelitian ini dilakukan analisa performa sistem DWDM menggunakan *single* dan *hybrid-pararel amplifier* (FRA dan EDFA) dengan spesifikasi yang ditentukan, yang diletakan secara *booster* untuk bisa mengetahui jarak maksimal dan mendapatkan nilai performa sistem DWDM yang sesuai dengan nilai parameter yang baik dari *Q-factor*, *BER*, *power receiver*.

2. METODE

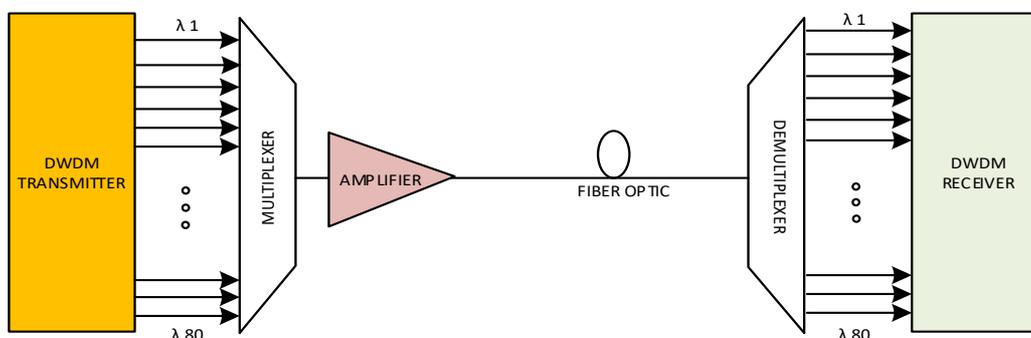
Dalam pengumpulan data dan informasi tulisan ini, metode yang digunakan adalah perancangan simulasi dan analisis. Metode analisis performa sistem DWDM dengan *Single Amplifier* dan HOA (*Hybrid Optical Amplifier*) ini guna untuk mengetahui berapa jarak maksimal yang dapat dicapai dengan nilai performa yang baik menggunakan penguatan *single amplifier* dan *hybrid amplifier* (FRA & EDFA) yang diletakan secara *Booster* pada sistem DWDM.

Parameter performa sistem DWDM yang menyatakan bahwa keseluruhan sistem DWDM yang disimulasikan berhasil atau bekerja dengan baik adalah ketika pada saat menghasilkan nilai *Bit Error Rate* (BER) $\leq 10^{-9}$, serta *Q-factor* ≥ 6 dan juga nilai daya terima oleh *optical receiver* tidak lebih kecil dari -28 dBm, sesuai dengan rekomendasi sistem yang telah distandarkan [13][14].

2.1 Diagram Blok Sistem

Berdasarkan Gambar 1, sistem DWDM merupakan media uji penguat FRA, EDFA dan *hybrid*. Pemodelan sistem DWDM ini dirancang dengan menggunakan 80 kanal dengan rentang panjang gelombang 1540 – 1571 nm dengan spasi kanal 0.4 nm, dan *bit rate* 10 Gbps. Secara umum diagram blok sistem *Dense Wavelength Division Multiplexing* (DWDM) ditunjukkan pada Gambar 1 yang terdiri dari blok pengirim, penguat optik, media transmisi, dan blok penerima. Pada blok pengirim terdiri dari DWDM transmitter, *multiplexer*, dan *amplifier* dengan penempatan sebagai *booster* kemudian media transmisi terdiri dari *optical fiber*, dan pada blok penerima terdapat *demultiplexer* serta DWDM receiver.

DWDM dengan 80 kanal dengan panjang gelombang 1540 – 1571 nm akan dikirimkan oleh DWDM Transmitter dengan masing-masing kanal memiliki *bit rate* 10 Gbps. Kemudian seluruh kanal dengan masing-masing panjang gelombang tersebut akan di-*multiplexing* atau digabungkan oleh DWDM *multiplexer* menuju *booster-amplifier* yang terletak setelah keluaran DWDM *multiplexer* untuk menguatkan sinyal diawal sebelum menuju ke saluran media transmisi *fiber optic*. Setelah melewati sepanjang saluran transmisi optik maka sinyal akan dipecah kembali oleh DWDM *demultiplexer* sesuai dengan panjang gelombang masing-masing menuju *optical receiver*.



Gambar 1. Diagram Blok Sistem

2.2. Parameter dan Skenario Sistem

Pada perancangan perlu dilakukan pengaturan terhadap parameter yang ingin digunakan, nilai-nilai yang digunakan untuk parameter ditentukan berdasarkan studi literatur dan referensi perangkat komersial. Adapun parameter-parameter yang digunakan ditunjukkan pada [Tabel 1](#) sampai [Tabel 4](#) sebagai berikut.

Tabel 1. *Single Mode Fiber NZDSF* [15]

Parameter	Nilai
<i>Reference Wavelength</i>	1550 nm
<i>Attenuation</i>	0.25 dB/km
<i>Dispersion</i>	4 ps/nm/km
<i>Dispersion Slope</i>	0.065 ps/nm ² /km

Tabel 2. Parameter DWDM *Transmitter* [17]

Parameters	Nilai
<i>Number of Output Ports</i>	80 Channels
<i>Bit Rate</i>	10 Gbps
<i>Frequency</i>	1540 - 1571.6 nm
<i>Frequency Spacing</i>	0.4 nm
<i>Transmitter Power</i>	-15 dBm
<i>Modulation Type</i>	NRZ
<i>Bandwidth</i>	25 GHz
<i>Insertion Loss</i>	0.7 dB

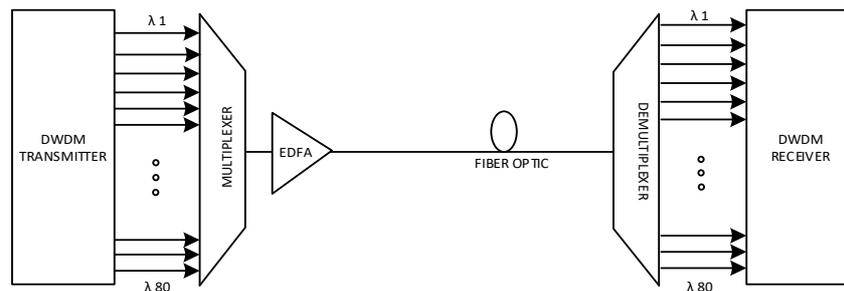
Tabel 3. Parameter Penguat [16]

EDFA	
Parameter	Nilai
<i>Operation Mode</i>	<i>Gain Control</i>
<i>Gain</i>	36 dB
<i>Noise Figure</i>	4 dB
RAMAN	
Parameter	Nilai
<i>Number of Amplifier</i>	1
<i>Attenuation</i>	0.2 dB/km
<i>Gain</i>	19 dB
<i>Effective Interaction Area</i>	72 μm^2
<i>Pump Power</i>	500 mW
<i>Pump Wavelength</i>	1425, 1435, 1455, 1462 nm
<i>Fiber Length</i>	10 km
<i>Temperature</i>	300 K

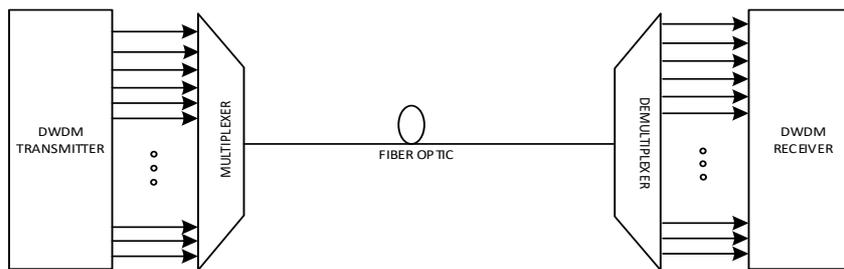
Tabel 4. Parameter Blok *Receiver* [17]

Parameter	Nilai
<i>Number of Output Ports</i>	80 Channels
<i>Frequency</i>	1540 - 1571.6 nm
<i>Frequency Spacing</i>	0.4 nm
<i>Bandwidth</i>	25 GHz
<i>Insertion Loss</i>	0.7 dB
<i>Filter Type</i>	Bessel
<i>Photodetector</i>	APD
<i>Sensitivitas Receiver</i>	-28 dBm
<i>Ionization Ratio</i>	0.9
<i>Avalached Gain</i>	3

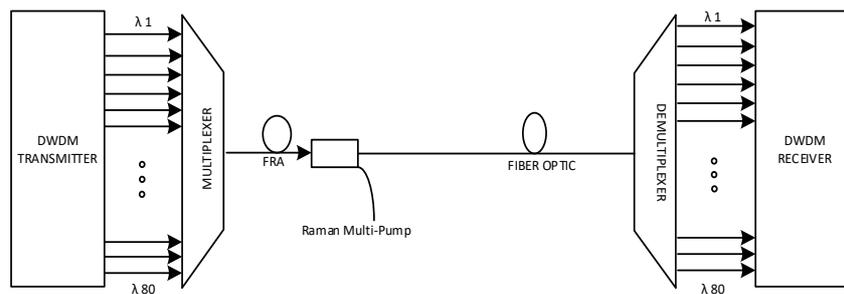
Penelitian ini akan melakukan empat skenario seperti pada [Gambar 2](#) sampai [Gambar 4](#) untuk dapat membandingkan performa sistem DWDM yaitu tanpa penguatan, dengan penguatan *single* FRA, dengan penguatan *single* EDFA, dan terakhir adalah HOA-Parallel (FRA-EDFA). Tidak ada parameter sistem yang diubah hanya saja jarak yang diubah-ubah untuk mengetahui kinerja sistem DWDM. Dengan skenario ini nanti dapat diketahui respon DWDM tanpa menggunakan penguatan dapat menempuh seberapa jauh jarak transmisi dengan kinerja keseluruhan sistem yang baik.



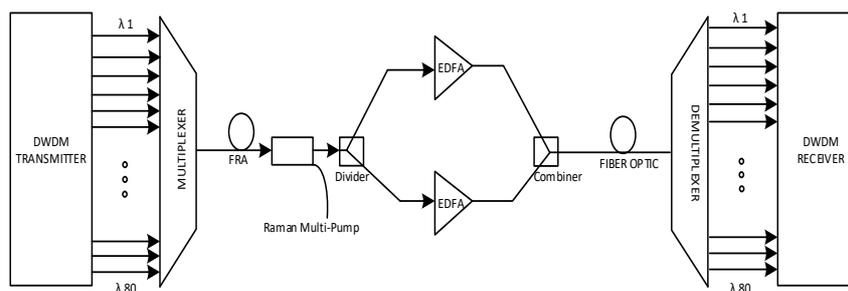
Gambar 2. DWDM Tanpa Penguat



Gambar 2. DWDM Single FRA



Gambar 3. DWDM Single EDFA



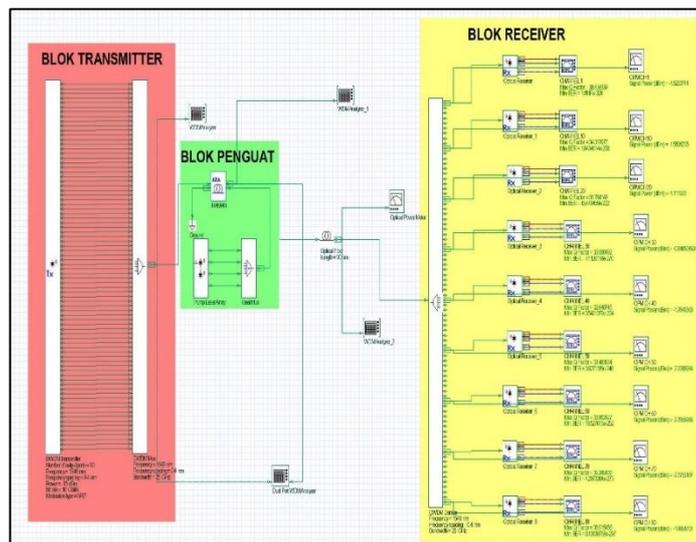
Gambar 5. DWDM Hybrid (FRA-EDFA)

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Untuk memudahkan analisis pada setiap skenario pada penelitian ini maka pengambilan sampel data terhadap 80 *channel* disampelkan pada *channel* 1, 10, 20, 30, 40, 60, 70, dan 80 dalam proses analisis.

- Hasil Simulasi DWDM Tanpa Penguat

Gambar 6 menunjukkan setup simulasi DWDM tanpa penguat. Tabel 5 merupakan nilai performa untuk DWDM tanpa penguat untuk jarak optimal 23 km. Jadi untuk keseluruhan parameter yang dianalisis pada sistem DWDM tanpa penguat maka dari tiga parameter performa yang harus sesuai standar yaitu *Q-factor*, *BER*, dan *power received* dapat dikatakan bahwa sistem DWDM tanpa penguat dapat bekerja dengan baik sampai dengan jarak optimal yaitu 23 km untuk seluruh kanal pada sistem DWDM.



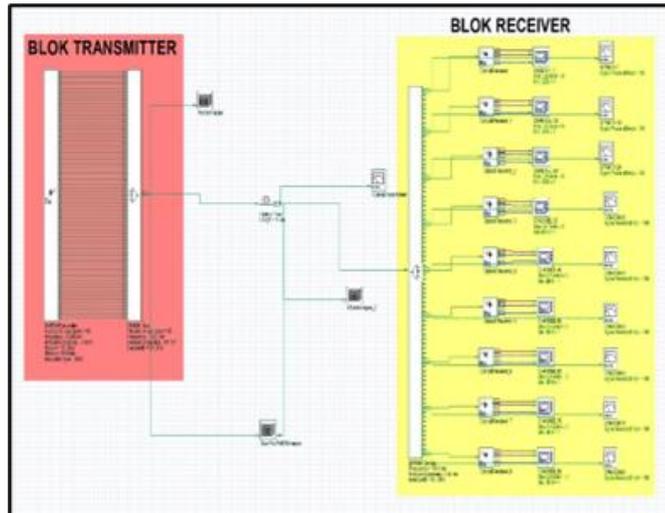
Gambar 6. Setup simulasi DWDM Tanpa Penguat

Tabel 5. Performa DWDM Tanpa Penguat

Kanal	DWDM Tnpa Penguat		
	Jarak 23 km		
	Q-Factor	BER	Power Received (dBm)
1	6,8	10 ⁻¹²	-25,4
10	6,2	10 ⁻¹⁰	-25,3
20	6	10 ⁻¹⁰	-25,4
30	6,5	10 ⁻¹¹	-25,3
40	6,4	10 ⁻¹¹	-25,3
50	6,6	10 ⁻¹¹	-25,3
60	6,7	10 ⁻¹²	-25,3
70	6,4	10 ⁻¹¹	-25,4
80	6,4	10 ⁻¹¹	-25,4

- Hasil Simulasi DWDM *Single-FRA*

Gambar 7 menunjukkan setup simulasi DWDM *Single FRA*. Tabel 6 merupakan nilai performa untuk DWDM *Single FRA* untuk jarak optimal 93 km. Keseluruhan parameter yang dianalisis pada sistem DWDM *Single-FRA* maka dari tiga parameter performa yang harus sesuai standar yaitu *Q-factor*, BER, dan *power received* dapat dikatakan bahwa sistem DWDM *Single-FRA* bekerja dengan baik sampai dengan jarak optimal yaitu 93 km.



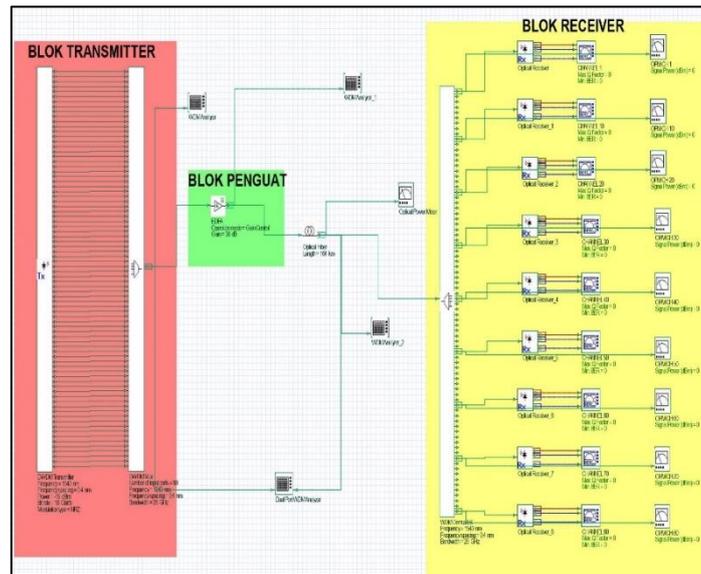
Gambar 7. Setup simulasi DWDM *Single FRA*

Tabel 6. Performa DWDM *Single FRA*

Kanal	DWDM <i>Single FRA</i>		
	Jarak 93 km		
	Q-Factor	BER	Power Received (dBm)
1	8,5	10^{-18}	-24,5
10	8,25	10^{-18}	-24,5
20	8,1	10^{-16}	-24,1
30	8,6	10^{-18}	-23,8
40	8	10^{-16}	-24,7
50	6,2	10^{-10}	-25,2
60	6,1	10^{-10}	-25,7
70	6,4	10^{-11}	-25,3
80	6,6	10^{-11}	-24,6

- Hasil Simulasi DWDM *Single- EDFA*

Gambar 8 menunjukkan setup simulasi DWDM *Single FRA*. Tabel 7 merupakan nilai performa untuk DWDM *Single EDFA* untuk jarak optimal 164 km. Dengan sudah dianalisisnya *Q-factor*, BER, dan *power received* pada sistem DWDM *Single-EDFA* maka Sistem DWDM dengan menggunakan penguatan *Single-EDFA* bekerja dengan baik sampai dengan jarak optimal yaitu 164 km untuk seluruh kanal DWDM. Penguatan *Single EDFA* dapat menjangkau jarak lebih baik dibandingkan penguatan *Single FRA* dengan selisih jarak 71 km.



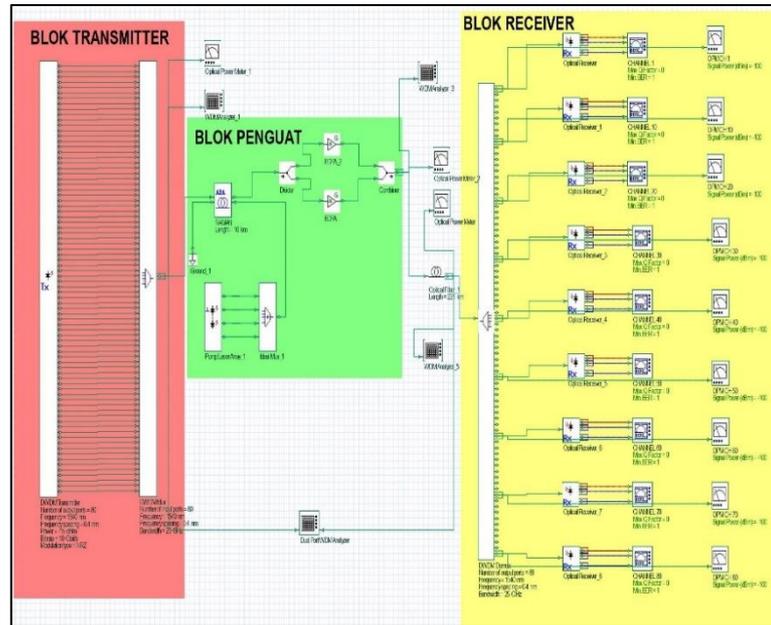
Gambar 8. Setup simulasi DWDM Single EDFA

Tabel 7. Performa DWDM *Single EDFA*

Kanal	DWDM <i>Single EDFA</i>		
	Jarak 164 km		
	Q-Factor	BER	Power Received (dBm)
1	7,3	10^{-14}	-24,6
10	6,4	10^{-11}	-24,6
20	8	10^{-16}	-24,6
30	7,6	10^{-14}	-24,6
40	6,6	10^{-11}	-24,6
50	6,5	10^{-11}	-24,6
60	6,4	10^{-11}	-24,6
70	6,7	10^{-12}	-24,6
80	6,3	10^{-09}	-24,6

• Hasil Simulasi DWDM *Hybrid*

Gambar 9 menunjukkan setup simulasi DWDM *Hybrid* (FRA-EDFA). Tabel 8 merupakan nilai performa untuk DWDM *Hybrid-Parallel* (FRA-EDFA) untuk jarak optimal 221 km. Dengan sudah dianalisanya Q-factor, BER, dan *power received* pada sistem DWDM *Hybrid* (FRA-EDFA) maka sistem DWDM dengan menggunakan penguatan *hybrid* bekerja dengan baik sampai dengan jarak optimal yaitu 221 km untuk seluruh kanal. Simulasi *hybrid* memiliki jarak yang paling jauh dibandingkan dengan skenario lain sebelumnya.



Gambar 9. Setup simulasi DWDM Hybrid (FRA-EDFA)

Tabel 8. Performa DWDM Hybrid (FRA-EDFA)

Kanal	DWDM Hybrid (FRA-EDFA)		
	Jarak 221 km		
	Q-Factor	BER	Power Received (dBm)
1	10,3	10^{-25}	-21,8
10	10,4	10^{-25}	-21,8
20	12	10^{-34}	-21,4
30	9,7	10^{-22}	-21,2
40	8,9	10^{-19}	-22
50	7,7	10^{-15}	-22,7
60	6,7	10^{-12}	-23,2
70	6,5	10^{-11}	-22,8
80	6,4	10^{-11}	-21,9

• **Perbandingan Nilai Performa Penguat**

Berdasarkan **Tabel 9** maka dari itu dapat dilihat nilai performa dari penguat terhadap jarak optimalnya masing-masing dimana nilai performa ini adalah nilai optimal yang masih memenuhi standar untuk parameter yang ditentukan yaitu *Q-Factor* (≥ 6), *BER* ($\leq 10^{-9}$), dan *Power Receiver* (≥ -28 dBm). Diketahui bahwa Sistem DWDM menggunakan penguat *Hybrid* (FRA-EDFA) memberikan jarak yang paling jauh atau optimal yaitu 221 km dengan performa seluruh kanal yang masih memenuhi standar parameter yang ditentukan. Kemudian diikuti dengan penguat *Single* EDFA dengan jarak optimal 164 km dan terakhir adalah *Single* FRA dengan jarak optimal adalah 93 km.

Tabel 9. Perbandingan Nilai Performa DWDM dengan Penguat

Kanal	DWDM Single-FRA			DWDM Single-EDFA			DWDM Hybrid-(FRA-EDFA)		
	Jarak 93 km			Jarak 164 km			Jarak 221 km		
	Q-Factor	BER	Power Received (dBm)	Q-Factor	BER	Power Received (dBm)	Q-Factor	BER	Power Received (dBm)
1	8,5	10^{-18}	-24,5	7,3	10^{-14}	-24,6	10,3	10^{-25}	-21,8
10	8,25	10^{-18}	-24,5	6,4	10^{-11}	-24,6	10,4	10^{-25}	-21,8
20	8,1	10^{-16}	-24,1	8	10^{-16}	-24,6	12	10^{-34}	-21,4
30	8,6	10^{-18}	-23,8	7,6	10^{-14}	-24,6	9,7	10^{-22}	-21,2
40	8	10^{-16}	-24,7	6,6	10^{-11}	-24,6	8,9	10^{-19}	-22
50	6,2	10^{-10}	-25,2	6,5	10^{-11}	-24,6	7,7	10^{-16}	-22,7
60	6,1	10^{-10}	-25,7	6,4	10^{-11}	-24,6	6,7	10^{-13}	-23,2
70	6,4	10^{-11}	-25,3	6,7	10^{-12}	-24,6	6,5	10^{-12}	-22,8
80	6,6	10^{-11}	-24,6	6,3	10^{-09}	-24,6	6,4	10^{-12}	-21,9

4. KESIMPULAN

Single FRA pada sistem DWDM 80 kanal, jarak optimal yang dapat ditempuh dengan performa yang baik pada seluruh kanal yaitu sejauh 93 km dimana mendapatkan nilai *Q-factor* terendah pada kanal 60 dengan nilai 6,1 dan *Q-factor* tertinggi pada kanal 30 dengan nilai 8,6. Begitu juga dengan nilai BER tertinggi pada jarak 93 km pada kanal 50 dengan nilai 10^{-10} dan nilai BER terendah pada kanal 1,2, dan 3 yaitu dengan nilai 10^{-18} . Untuk *power received* seluruh kanal pada jarak 93 km masih berada pada batas baik.

Single EDFA pada sistem DWDM 80 kanal, jarak optimal yang dapat ditempuh dengan performa yang baik pada seluruh kanal yaitu sejauh 164 km dimana mendapatkan nilai *Q-factor* terendah pada kanal 80 dengan nilai 6,3 dan *Q-factor* tertinggi pada kanal 20 dengan nilai 8. Begitu juga dengan nilai BER tertinggi pada jarak 164 km pada kanal 80 dengan nilai 10^{-9} dan nilai BER terendah pada kanal 20 yaitu dengan nilai 10^{-16} . Untuk *power received* seluruh kanal pada jarak 164 km masih berada pada batas baik.

Hybrid (FRA-EDFA) pada sistem DWDM 80 kanal, jarak optimal yang dapat ditempuh dengan performa yang baik pada seluruh kanal yaitu sejauh 221 km dimana mendapatkan nilai *Q-factor* terendah pada kanal 80 dengan nilai 6,4 dan *Q-factor* tertinggi pada kanal 10 dengan nilai 10,4. Begitu juga dengan nilai BER tertinggi pada jarak 221 km pada kanal 70 & 80 dengan nilai 10^{-11} dan nilai BER terendah pada kanal 20 yaitu dengan nilai 10^{-34} . Untuk *power received* seluruh kanal pada jarak 221 km masih berada pada batas baik.

REFERENSI

- [1] R. F. Adiati, "Analisis Parameter Signal to Noise Ratio dan Bit Error Rate dalam Backbone Komunikasi Fiber Optik". Institut Teknologi Sepuluh Nopember, 2017.
- [2] N. Mubarakah, D. D. Fadhillah and Suherman, "Point to Point Communication Link Design by Using Optical DWDM Network," *2020 4rd International Conference on Electrical, Telecommunication and Computer Engineering (ELTICOM)*, 2020, pp. 265-268, doi: 10.1109/ELTICOM50775.2020.9230479.

- [3] A. Agarwal, and S. K. Sharma. "Performance comparison of single & hybrid optical amplifiers for DWDM system using optisystem." *IOSR Journal of Electronics and Communication Engineering IOSR-JECE*, vol. 9, no. 1, pp. 28-33, 2014.
- [4] R. Paliwal. "Enhancing Performance of 10 Gbps DWDM Optical Link for High Speed Optical Communication." *International Journal of Innovative Studies in Sciences and Engineering Technology*, vol. 3, no. 4, pp. 30-36, 2017.
- [5] S. Kakalia, and M. Singh. "Performance analysis of DWDM system having 0.8-Tbps data rate with 80 channels." *Indian Journal of Science and Technology*, vol. 9, no. 47, 2016. doi: 10.17485/ijst/2016/v9i47/106941.
- [6] R. Miglani, G.S. Gaba, M. Masud, and R. Alroobaea. "Gain analysis of high-speed DWDM link with different optical amplification configurations." *International Journal on Smart Sensing and Intelligent Systems*, vol: 13, no. 1, 2020, doi: 10.21307/ijssis-2020-028.
- [7] A. Agarwal, and L. Lodha. "Performance Optimization of Single & Hybrid Optical Amplifiers for 160× 10 Gbps DWDM System." *Compliance Engineering Journal*, vol. 11, no. 7, pp.213-220, 2020.
- [8] M.S. Bhamrah, and A. Atieh. "SOA/EDFA/RAMAN optical amplifier for DWDM systems at the edge of L & U wavelength bands." *Optical Fiber Technology*, vol: 52, no. 101971, doi: 10.1016/j.yofte.2019.101971.
- [9] A. Atieh, A. Kaur and M. Singh Bhamrah, "Simulations and Optimizations of Optical Amplifiers," 2020 Photonics North (PN), 2020, pp. 1-1, doi: 10.1109/PN50013.2020.916693
- [10] T. Raju and N. A. "Multiple Pass Hybrid Optical Amplifier Configuration for DWDM Communication System," *2019 International Conference on Intelligent Computing and Control Systems (ICCS)*, 2019, pp. 392-395, doi: 10.1109/ICCS45141.2019.9065502.
- [11] T. Fadila, A. Hambali, B. Pamukti, "Analysis of Hybrid Optical Amplifier (Fiber Raman Amplifier-Erbium Doped Fiber Amplifier)". *eProceedings of Engineering*, vol.5, no.1, 165-172, 2018, pp. 165-172.
- [12] D. Djamaluddin, A. Achmad, F. Hidayat, and D. Bramatyo. "Analisis Penguat EDFA dan SOA pada Sistem Transmisi DWDM dengan Optisystem 14." *In Prosiding Seminar Nasional Teknik Elektro (FORTEI 2017)*. 2017, pp. 59-64.
- [13] N. Thakral and L. Kumar, "Performance evaluation of different hybrid optical amplifiers for DWDM system," *2016 IEEE Annual India Conference (INDICON)*, 2016, pp. 1-4, doi: 10.1109/INDICON.2016.7838905.
- [14] ITU-T G.989.2. "Specification, 40-Gigabit-Passive Optical Network 2 (NG-PON2): Physical Media Dependent (PMD) Layer". ITU-T, 2014.
- [15] ITU-T.G655."Specification for NZDSF SM Optical Fiber", 2004
- [16] ITU-T.G655. "Spectral Grid for DWDM Application", 2020.
- [17] Coriant, "hiT7300 Technical Description-LABPC-1 & PRC-4. In C. GmbH", 2013.