

## ANALISIS PERFORMANSI PENGUAT OPTIK *HYBRID* DENGAN ARRAY *WAVEGUIDE* GRATING (AWG) PADA JARINGAN TRANSPORT

Irfan Ardiansyah<sup>1</sup>, Ir. Akhmad Hambali<sup>2</sup>, Afief Dias Pambudi<sup>3</sup>  
<sup>1,2,3</sup> Universitas Telkom, Bandung

Jl. Telekomunikasi Terusan Buah Batu Bandung 40257 Indonesia

E-mail : irfanard@student.telkomuniversity.ac.id<sup>1</sup>, ahambali@telkomuniversity.ac.id<sup>2</sup>,  
afiefdiaspambudi@telkomuniversity.ac.id<sup>3</sup>

### Abstrak

Teknologi komunikasi optik telah berkembang dan menjadi teknologi terdepan dalam mendukung sistem komunikasi yang telah ada sekarang karena kehandalannya dalam segi kapasitas, kualitas, dan kecepatan. Untuk mengoptimalkan segala kelebihan tersebut salah satu pengaplikasiannya adalah pada jaringan transport. Jaringan transport mempunyai peran yang sangat vital di dalam sistem konfigurasi keseluruhan jaringan optik karena fungsinya sebagai jaringan inti yang menggabungkan antar jaringan yang ada. Salah satu kemampuan yang dapat dihadirkan oleh jaringan transport adalah *multiplexing* yang memungkinkan kapasitas bertambah secara signifikan dibandingkan penggunaan *single* kanal. Perangkat *multiplexer* yang dapat digunakan adalah *Array Waveguide Grating* (AWG). Pada jaringan transport dengan *bit rate* besar dan jarak komunikasi yang jauh peran penguat optik sangatlah penting demi menjaga performansi akibat permasalahan yang timbul dan mempengaruhi kualitas sinyal informasi seperti *attenuasi* yang disebabkan pertambahan jarak transmisi. Pada penelitian ini disimulasikan AWG dengan penguat tunggal yaitu *Erbium Doped Fiber Amplifier* (EDFA) dan Raman dan juga diujicobakan penguat *hybrid EDFA-Raman* pada jaringan transport long haul (80 km). Hasil simulasi diperoleh jarak maksimal yang dapat dicapai tanpa menggunakan penguat adalah 50 km sedangkan penggunaan penguat optik signifikan menambah jarak transmisi mencapai 80 km. Selain itu didapatkan penguat EDFA memiliki kinerja paling optimal dibandingkan Raman dan penguat *hybrid* pada jarak 80 km dengan nilai *Q Factor* sebesar 12,23 dan *Bit Error Rate* (BER) sebesar  $2,26 \times 10^{-27}$ .

**Kata Kunci:** Jaringan Transport, AWG, Penguat Optik

### I. PENDAHULUAN

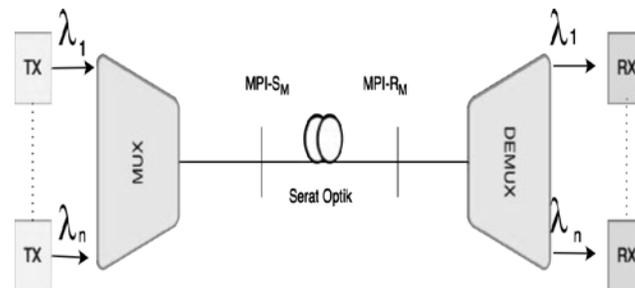
Jaringan transport mempunyai peran khususnya digunakan untuk menghubungkan antar sentral pada jaringan metro atau dalam sistem komunikasi jarak jauh. Kemampuan yang dapat dihadirkan pada jaringan transport antara lain adalah operasi, manajemen, dan *multiplexing* [1]. Teknik *multiplex* di jaringan transport menggunakan panjang gelombang yang berbeda setiap kanal atau yang disebut *Dense Wavelength Division Multiplexing* (DWDM) yang dapat memungkinkan kapasitas akan bertambah secara signifikan dibandingkan penggunaan kanal tunggal. Dalam rangka mendukung teknik *multiplexing* digunakan perangkat *multiplexer* atau *demultiplexer* yang berfungsi menggabungkan atau memisahkan beberapa panjang gelombang tersebut. *Array Waveguide Grating* (AWG) telah banyak digunakan pada teknologi DWDM. Selain menjadi *multiplexer/demultiplexer* AWG dapat berfungsi sebagai *add drop multiplexer* dan *wavelength router* [2]. Permasalahan yang biasa timbul pada jaringan transport dengan *bitrate* besar dengan jarak transmisi jauh adalah pelemahan sinyal dengan solusi yang dapat digunakan adalah penggunaan penguat optik tunggal maupun *hybrid*.

Carlos Bock [3] telah sukses mendemonstrasikan AWG pada jaringan *hybrid* WDM/TDM PON pada jarak 30 km dengan jarak 2,5 Gbps. S. Olonkins [5] telah meneliti perbandingan EDFA dan Raman pada posisi *pre amplifier* menggunakan 8 kanal dan spasi kanal 100 GHz dengan *bit rate* 10 Gbps pada jarak 100 km telah dihasilkan penguat EDFA menghasilkan nilai penguatan yang lebih besar. Simranjit Singh [6] telah meneliti performansi penguat pada jaringan WDM diperoleh penguat EDFA memiliki performansi yang baik pada nonlinearitas tinggi. Di penelitian lain D. Malik [4] melakukan perbandingan antara penguat dan *hybrid* pada jaringan WDM telah diteliti dan menghasilkan pertambahan jarak yang signifikan.

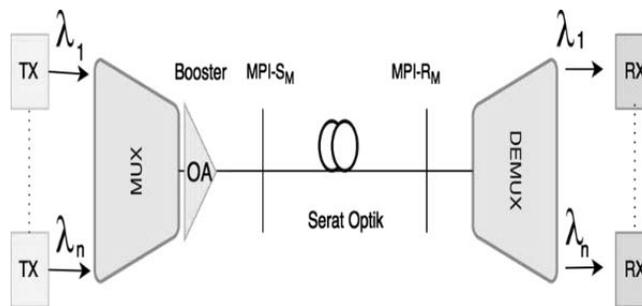
Penelitian ini dilakukan pengujian AWG menggunakan penguat optik tunggal dan *hybrid* pada performansi jaringan transport *long haul*. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui jarak maksimal tanpa penguat optik serta mengetahui penguat kinerja paling optimal antara penguat optik tunggal dan *hybrid* pada jaringan transport *long haul* (80 km) dengan *bitrate* 10 Gbps. Parameter utama yang akan dianalisis untuk menentukan kualitas dan performansi sistem adalah *Bit Error Rate* (BER), *Q Factor*, daya keluaran sesuai standar jaringan transport ITU-T G.959.1

## II. METODOLOGI PENELITIAN

Metodologi yang digunakan dalam penelitian ini adalah menggunakan simulasi dan analisis menggunakan simulator optik. Pemodelan sistem yang digunakan sesuai dengan standar jaringan transport ITU-T G.959.1 dari sisi konfigurasi dan parameter tiap komponen. Skema yang diujikan adalah AWG tanpa penguat optik sesuai pada gambar 1 dan dengan menggunakan penguat optik ditunjukkan pada gambar 2.



Gambar 1. Model Sistem Jaringan Transport Tanpa Menggunakan Penguat Optik



Gambar 2. Model Sistem Jaringan Transport Tanpa Menggunakan Penguat Optik

Komponen sistem dalam jaringan transport terdiri dari: *transmitter*, *receiver*, serat optik, *multiplexer/demultiplexer*, dan penguat optik. *Bit rate* yang digunakan adalah sebesar 10 Gbps dengan jarak target *long haul* (80 km). Pada sisi pengirim terdiri dari 16 kanal dengan rentang frekuensi dari 192,1 – 195,1 Thz dengan jarak antar spasi kanal sebesar 200 Ghz menggunakan sumber cahaya laser dengan daya 0 dBm. Sedangkan di sisi penerima menggunakan komponen *Avalanche Photo Diode* (APD) dengan nilai *sensitivitas* -23 dBm dan *responsitivitas* sebesar 0,75 A/W. Sebagai media transmisi digunakan serat optik tipe single mode G.555C atau *Nonzero-dispersion-shifted fiber* (NZDF) dengan nilai dispersi sebesar 10 ps/nm/km dan atenuasi sebesar 0,24 dB/km. Untuk menghubungkan fiber optik dengan *mux* dan *demux* digunakan *Source Multichannel Multipath Interface* (MPI-S<sub>M</sub>) dan *Receiver Multichannel Multipath Interface* (MPI-R<sub>M</sub>) Pada skema pengujian akan diiterasi jarak mulai 50 km sampai dengan hasil pada jarak maksimal sesuai dengan standar BER sebesar 10<sup>-12</sup>. Di sisi *multiplexer* digunakan AWG dengan parameter ditunjukkan pada Tabel 1. Di sisi penerima digunakan *BER analyzer*, *WDM analyzer*, *Optical Power Meter* (OPM) untuk menampilkan nilai hasil performansi sistem berupa *Q Factor*, BER, dan daya keluaran.

Tabel 1. Parameter AWG

Parameter	Nilai	Satuan
Jumlah Kanal	16	Kanal
Frekuensi	192,1	Thz
<i>Bandwidth</i>	0,43	nm
Spasi Kanal	200	Ghz

<i>Insertion Loss</i>	3,5	dB
Jenis Filter	Gaussian	
Orde Filter	2	

Sedangkan pada pengujian selanjutnya digunakan penguat optik berupa *Erbhium Doped Fiber Amplifier* (EDFA), Raman, dan *hybrid*. Skema yang digunakan adalah *booster* artinya penempatan penguat setelah *multiplexer*. Oleh karena itu keluaran daya pada penguat tidak boleh melebihi 17 dBm sesuai dengan standar jaringan transport ITU-T G.959.1 [sitasi jar transport]. Tabel 3 dan 4 adalah parameter yang digunakan pada Raman dan EDFA.

Tabel 2. Parameter Raman

Parameter	Nilai	Satuan
Panjang fiber	33	km
Atenuasi	0,24	dB/km
<i>Pump wavelength</i>	1440;1450	nm
Daya pompa	700	mW
<i>Effective interaction area</i>	72	$\mu\text{m}^2$
<i>Upper pump reference</i>	1460	nm
<i>Temperature</i>	300	K

Tabel 3. Parameter EDFA

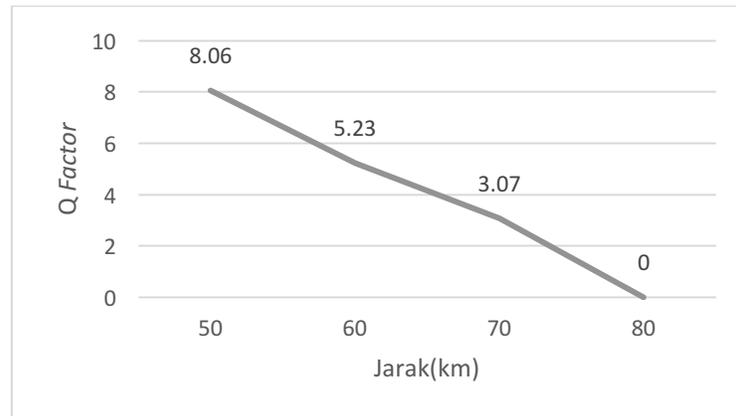
Parameter	Nilai	Satuan
Panjang fiber	1	m
<i>Forward pump power</i>	90	mW
<i>Forward pump wavelength</i>	980	nm
<i>Core radius</i>	2.2	$\mu\text{m}$
<i>Er ion density</i>	$10^{25}$	$\text{m}^{-3}$

Sebagai parameter hasil yang menentukan performansi sistem jaringan transport dilihat nilai *Q Factor* dan BER. *Q Factor* adalah nilai yang menggambarkan kualitas sinyal informasi sedangkan BER adalah banyaknya bit informasi yang rusak pada saat proses transmisi. Standar untuk nilai BER pada jaringan transport sesuai dengan standar ITU-T G.959.1 adalah minimal  $10^{-12}$  sedangkan *Q Factor* sekitar 7. Hubungan *Q Factor* dan BER dapat dirumuskan dengan persamaan 1 [2]:

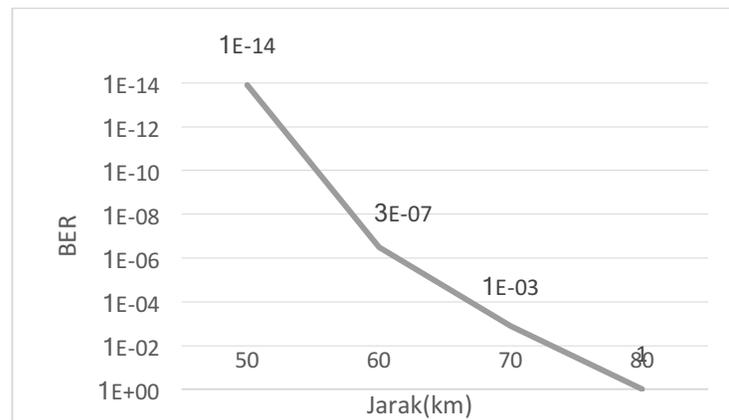
$$\text{BER} = \frac{1}{Q\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{Q^2}{2}} \quad (1)$$

### III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada simulasi yang telah dilakukan pengujian AWG tanpa menggunakan penguat optik diperoleh nilai *Q Factor* dan BER pada gambar 3 dan 4. Jarak maksimal yang dapat dicapai oleh oleh jaringan transport adalah 50 km dengan nilai *Q Factor* sebesar 8,06 dan BER  $1,22 \times 10^{-14}$ . Hasil tersebut masih sesuai dengan standar jaringan transport untuk nilai minimum *Q Factor* sebesar 7 dan BER  $10^{-12}$ . Setelah sinyal informasi mencapai jarak lebih 50 km kualitas sinyal menurun dan mencapai titik terendah pada jarak 80 km dengan nilai *Q Factor* sebesar 0 dan BER 1. Hasil tersebut disebabkan karena faktor atenuasi dan dispersi yang disebabkan oleh nilai redaman dan karakteristik serat optik. Dengan demikian sesuai standar jaringan transport untuk jarak target *long haul* (80 km) dengan *bitrate* 10 Gbps maka diperlukan perangkat tambahan berupa penguat optik untuk meningkatkan kualitas sinyal agar dapat diterima oleh penerima.



Gambar 3. Hasil *Q Factor* AWG Tanpa Menggunakan Penguat Optik



Gambar 4. Hasil BER AWG Tanpa Menggunakan Penguat Optik

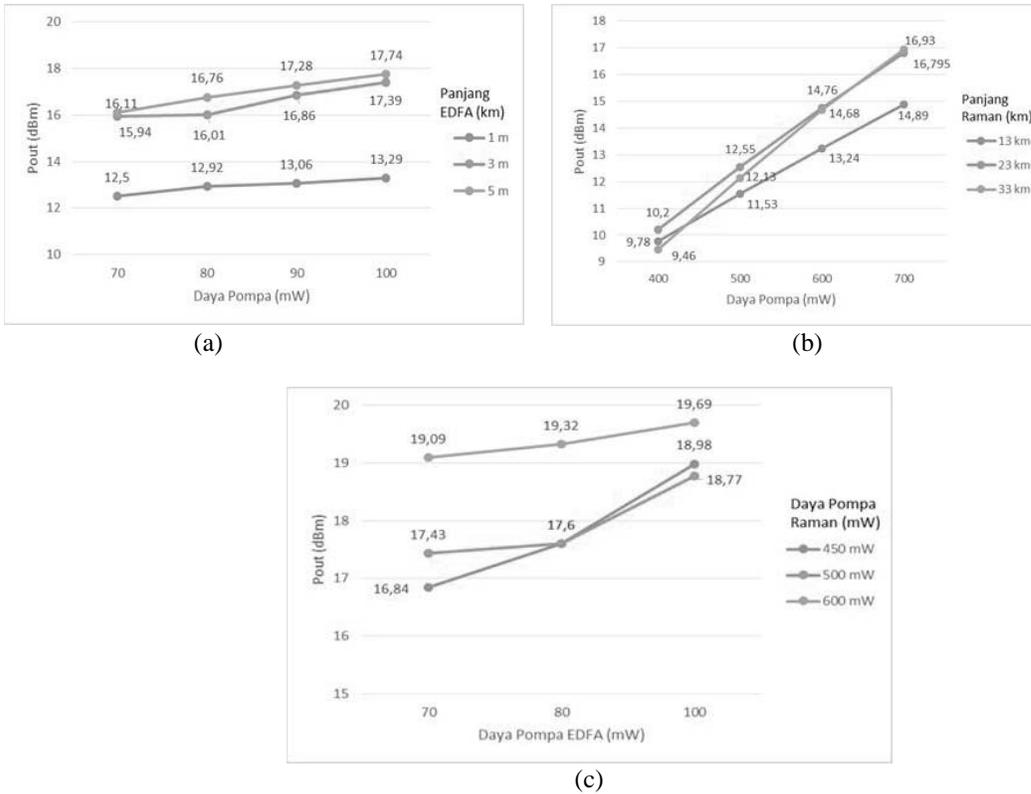
Tabel 4 menunjukkan hasil keluaran daya pada sisi *transmitter*,  $MPI-S_M$ ,  $MPI-R_M$ , dan *receiver*. Sesuai dengan hasil *Q Factor* dan BER, pada jarak 50 km nilai keseluruhan parameter daya sesuai dengan standar akan tetapi pada jarak target 80 km pada sisi *receiver* nilai daya yang dihasilkan -29,22 dBm dibawah standard dan nilai sensitivitas *photodetector* minimal sekitar -23 dBm.

Tabel 4. Daya Keluaran AWG Tanpa Menggunakan Penguat Optik

Parameter	50 km	80 km	Standar (dBm)	
			min	max
<i>Transmitter</i>	0	0	0	5
$MPI-S_M$	5,694	5,694		17
$MPI-R_M$	-6,3	-13,5		6
<i>Receiver</i>	-22,02	-29,22	-23	-6

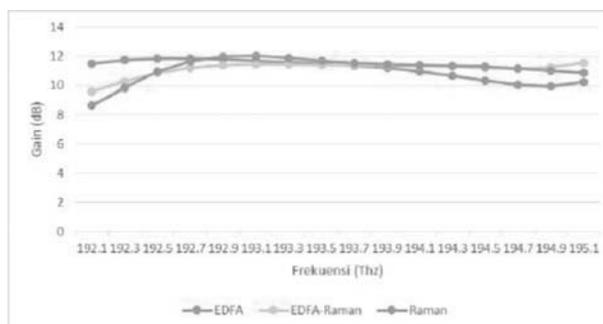
Pada pengujian selanjutnya menggunakan AWG sebagai *multiplexer* dan *demultiplexer* dilakukan simulasi penguat optik tunggal yaitu EDFA dan Raman serta penguat *hybrid* EDFA-Raman dengan skema *booster*. Sebelum diaplikasikan ke sistem dilihat terlebih dahulu nilai daya keluaran yang dihasilkan pada parameter EDFA dan Raman, *gain*, dan *noise figure*. Gambar 5 merupakan hasil daya keluaran pada setiap parameter penguat EDFA dan Raman. Dikarenakan pada skema *booster* daya keluaran merupakan  $MPI-S_M$  maka sesuai standar nilai daya tidak boleh melebihi standar sebesar 17 dBm. Berdasarkan standar, referensi, dan spesifikasi perangkat diperoleh nilai parameter yang sesuai dengan EDFA menggunakan panjang fiber 3 m dan daya pompa 90 mW menghasilkan daya sebesar 16,86

dBm, penguat Raman menggunakan panjang fiber 33 km dan daya pompa 700 mW menghasilkan daya sebesar 16,93 mW, sementara untuk penguat *hybrid* menggunakan panjang fiber EDFA dan Raman sebesar 1 m dan 13 km serta daya pompa EDFA dan Raman sebesar 70 mW dan 450 mW menghasilkan daya sebesar 16,84 dBm.

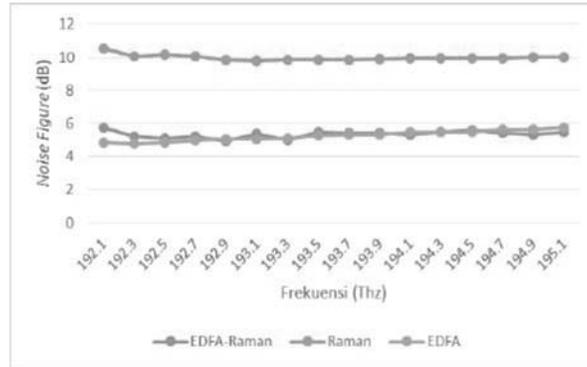


Gambar 5. Perbandingan Daya Keluaran Pada Parameter (a) EDFA, (b) Raman, dan (c) EDFA-Raman

Setelah diperoleh nilai daya keluaran langkah selanjutnya dilihat *gain* dan *noise figure* yang dihasilkan pada setiap penguat. Gambar 6 merupakan hasil *gain* untuk penguat EDFA, Raman, dan EDFA-Raman. Adanya hubungan dengan daya keluaran maka nilai *gain* yang diperoleh pada masing-masing tidak terpaut jauh sekitar 11 dB. Di sisi lain pada hasil *noise figure* menunjukkan hasil yang berbeda dengan penguat Raman menghasilkan nilai paling tinggi sebesar 9,98 dB sedangkan penguat EDFA dan EDFA-Raman menghasilkan 5,25 dan 5,35 dB ditunjukkan pada gambar 7.

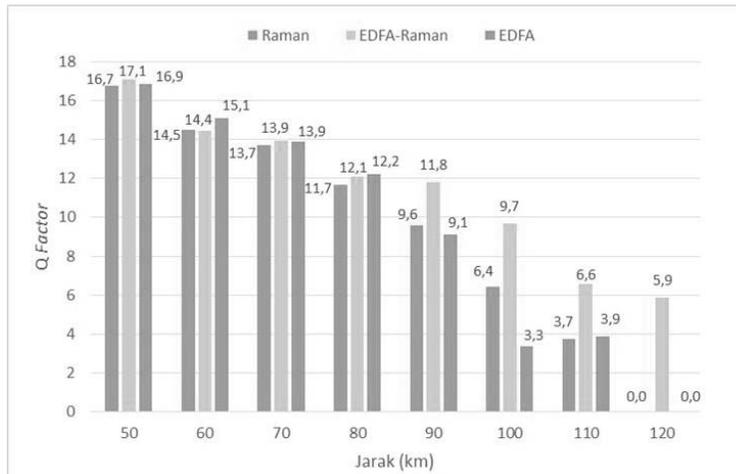


Gambar 6. Hasil *Gain* Pada Penguat EDFA, Raman, dan EDFA-Raman

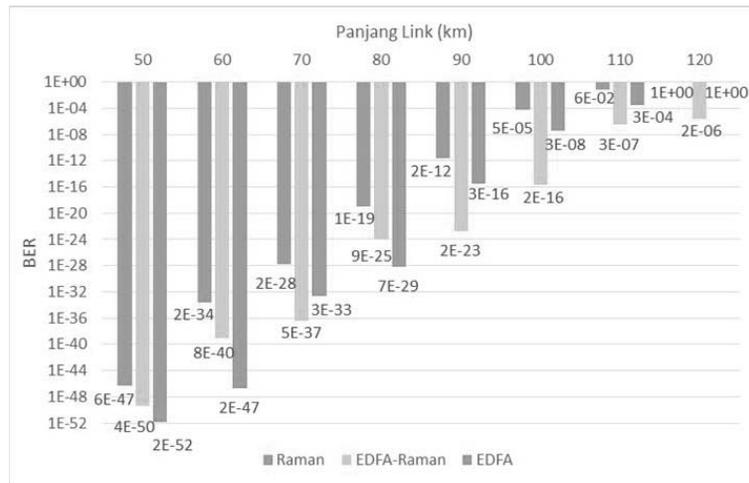


Gambar 7. Hasil *Noise Figure* Pada Penguat EDFA, Raman, dan EDFA-Raman

Gambar 8 dan 9 merupakan hasil *Q Factor* dan BER untuk masing-masing penguat pada jaringan transport. Dihasilkan penguat EDFA memiliki kinerja paling optimal dibandingkan dengan penguat Raman dan *hybrid* EDFA-Raman pada jarak 80 km. Nilai *Q Factor* yang dihasilkan sebesar 12,23 dan BER sebesar  $2,26 \times 10^{-27}$  sedangkan penguat Raman dan EDFA-Raman menghasilkan 11,65 dan 12,06 untuk *Q Factor* serta  $1.01 \times 10^{-19}$  dan  $8.88 \times 10^{-25}$  untuk BER. Faktor dari nilai daya keluaran, *gain*, dan *noise figure* mempengaruhi hasil kualitas informasi. Semakin baik nilai *gain* dan *noise figure* yang dihasilkan rendah maka sinyal informasi yang diterima semakin baik. Akan tetapi setelah mencapai jarak 80 km, penguat *hybrid* menghasilkan performansi paling baik dengan jarak maksimum yang dapat dicapai sebesar 100 km.



Gambar 8. Hasil *Q Factor* Skema AWG Menggunakan Penguat Optik



Gambar Hasil BER Skema AWG Menggunakan Penguat Optik

Ditinjau dari parameter daya menunjukkan penguat tunggal dan hybrid daya yang dihasilkan sesuai standar pada standar jaringan transport ITU-T G.959.1 pada Tabel 5. Sebagai contoh pada penguat hybrid EDFA-Raman dengan daya kirim sebesar 0 dBm dihasilkan daya pada sisi MPI-S<sub>M</sub> -16,841 dBm, MPI-R<sub>M</sub> -2,359 dBm dan diterima di sisi penerima -19,67 dBm. Karena pada jarak 80 km daya masih diatas tingkat sensitivitas *photodetector* sebesar -23 dBm maka sinyal masih bisa diterima dengan kualitas di atas standar sesuai nilai *Q Factor* dan BER. Melihat hasil *Q Factor* dan BER maka pada jaringan transport long haul (80 km) disarankan masih menggunakan penguat tunggal khususnya EDFA karena ditinjau daya penguat yang digunakan dalam penguat EDFA lebih rendah dan efisien dibandingkan penguat *hybrid*.

Tabel 5. Daya Keluaran AWG Menggunakan Penguat Optik

	80 km	EDFA	EDFA-Raman	Raman	Standar (dBm)	
					min	max
<i>Transmitter</i>		0	0	0	0	5
MPI-S <sub>M</sub>		16,932	16,841	16,867		17
MPI-R <sub>M</sub>		-2,267	-2,359	-2,32		6
<i>Receiver</i>		-20,57	-19,67	-17,17	-23	-6

#### IV. KESIMPULAN

Kesimpulan dari penelitian ini didapat bahwa pada skema AWG tanpa menggunakan penguat optik didapat jarak maksimal yang dapat dicapai sebesar 50 km. Sedangkan skema jaringan transport dengan AWG menggunakan penguat tunggal dapat mencapai target jarak 80 km (*long haul*). Adapun diperoleh penguat EDFA yang paling optimal dengan nilai *Q Factor* 12,23 dan BER  $2,26 \times 10^{-27}$ . Sedangkan untuk penguat optik hybrid cocok digunakan pada jarak setelah 80 km dengan jarak maksimum yang dapat dicapai adalah 100 km dengan nilai *Q Factor* 9.66 dan BER sebesar  $1,91 \times 10^{-16}$ . Selain itu faktor yang mempengaruhi penurunan nilai *Q Factor* adalah nilai atenuasi dan dispersi dari fiber optik yang menyebabkan pelemahan sinyal dan terjadinya *Inter Symbol Interference (ISI)*.

#### VI. REFERENSI

- [1] Schubert, A. (2007). G. 709–The optical transport network (OTN). JDSU.
- [2] Keiser, G. (2015). *Optical Fiber Communications*. 5<sup>th</sup> ed. Mc Graw Hill.
- [3] Photonics, A. (2003). *APSS Apollo Application Note on Array Waveguide Grating (AWG)*. Canada
- [4] Bock C, Prat J. (2005). WDM/TDM PON Experiments using the AWG Free Spectral Range Periodicity to transmit Unicast and Multicast Data. *Optical Express*. 2887-2891.
- [5] Malik D, Pahwa K, Wason A. (2016). Performance optimization of SOA, EDFA, Raman and hybrid optical amplifiers in WDM network with reduced channel spacing of 50 GHz. *ELSEVIER*. 127(23): 11131-11137.
- [6] Olonkins S, Bobrovs V, Pilats D, Porins J. 2016. Comparison of EDFA and LRA Preamplifier Performance in WDM Transmission Systems. *Electromagnetic Research Symposium (PIERS)*. 3778-3782.

- [7] Singh S, Amanpreet S, Kaler R S.(2013). Performance evaluation of EDFA, RAMAN and SOA optical amplifier for WDM systems. *Optik-International Journal for Light and Electron Optics*.95-101.