

PERBANDINGAN PERFORMANSI EDFA – ROA PADA SISTEM TWDM-PON BERBASIS NEXT GENERATION PASSIVE OPTICAL NETWORK STAGE 2

PERFORMANCE COMPARISON EDFA-ROA IN TWDM-PON SYSTEM BASED ON NEXT GENERATION PASSIVE OPTICAL NETWORK STAGE 2

Ahmad Hidayat¹, Akhmad Hambali², Brian Pamukti³

^{1,2,3}Prodi S1 Teknik Telekomunikasi, Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom

¹ahmadhidayat2696@gmail.com, ²ahambali@telkomuniversity.ac.id,

³brianp@telkomuniversity.ac.id

Abstrak

Next Generation Passive Optical Network stage 2 (NG-PON2) menjadi perkembangan terbaru dari teknologi PON yang dapat mengirimkan informasi dengan kecepatan ≥ 40 Gbps untuk *downstream* dan 10 Gbps untuk *upstream*. Penelitian ini membandingkan penguat *erbium doped fiber amplifier* (EDFA) dan *Raman Optical Amplifier* (ROA) pada sistem NG-PON2 menggunakan perangkat lunak. Simulasi menggunakan empat kanal TWDM dengan total *bit rate* 40 Gbps pada sisi *downstream* dan 10 Gbps untuk *upstream*. Simulasi jaringan menggunakan *splitting ratio* 1:256 dengan jarak transmisi terjauh adalah 60 km. Simulasi skenario pertama dilakukan pada transmisi *downstream* dengan menambahkan *optical amplifier* sebagai *booster amplifier*. Skenario kedua dilakukan simulasi pada transmisi *upstream* dengan menambahkan *optical amplifier* sebagai *pre-amplifier*.

Berdasarkan dari hasil simulasi, didapatkan jenis *optical amplifier* terbaik pada transmisi *downstream* yaitu EDFA dengan nilai *received power* yaitu -23,99 dBm, SNR = 27,46 dB, *Q Factor* = 14,58, dan BER = $2,85 \times 10^{-47}$. Pada transmisi *upstream*, EDFA juga menghasilkan performansi yang lebih baik dengan nilai *received power* yaitu -24,16 dBm, SNR = 23,90 dB, *Q Factor* = 10,75, dan BER = $2,76 \times 10^{-27}$. Berdasarkan nilai tersebut, penguat EDFA lebih unggul apabila diimplementasikan pada sistem NG-PON2 berbasis TWDM – PON..

Kata kunci : *Optical amplifier*, PON, NG-PON2, TWDM, EDFA, ROA

Abstract

Next Generation Passive Optical Network stage 2 (NG-PON2) is becoming the latest development of PON technology that can transmit information at speeds of ≥ 40 Gbps for *downstream* and 10 Gbps for *upstream*. This research compared the *erbium doped fiber amplifier* (EDFA) and *Raman Optical Amplifier* (ROA) on the NG-PON2 system using the software. The simulation uses four TWDM channels with a total *bit rate* of 40 Gbps on the *downstream* and 10 Gbps for *upstream*. The network simulation uses 1:256 *splitting ratio* with the farthest transmission distance is 60 km. The first scenario simulation is performed on the *downstream* transmission by adding an *optical amplifier* as a *booster amplifier*. The second scenario is simulated on the *upstream* transmission by adding the *optical amplifier* as a *pre-amplifier*.

Based on the simulation results, the best *optical amplifiers* in *downstream* transmission are EDFA with *received power* value is -23.99 dBm, SNR = 27.46 dB, *Q Factor* = 14.58, and BER = 2.85×10^{-47} . In *upstream* transmission, EDFA also produces better performance with *received power* value is -24.16 dBm, SNR = 23.90 dB, *Q Factor* = 10.75, and BER = 2.76×10^{-27} . Based on these values, EDFA amplifier is superior when implemented on NG-PON2 system based TWDM – PON.

Keywords: *Optical amplifier*, PON, NG-PON2, TWDM, EDFA, ROA

1. Pendahuluan

Perkembangan teknologi informasi dan komunikasi yang semakin pesat menjadi salah satu faktor meningkatnya kebutuhan masyarakat akan layanan *broadband* yang cepat dan efisien. Pada April 2012, *Time and Wavelength Division Multiplexing* PON (TWDM-PON) direkomendasikan sebagai solusi utama untuk perancangan *multiplexing* NG-PON2 [1]. Skema *multiplexing* untuk transmisi *downstream* menggunakan *Wavelength Division Multiplexing* (WDM) dan *Time Division Multiplexing* (TDM) untuk transmisi *upstream*. NG-PON2 dianggap sebagai *long-term next generation* dan telah diusulkan oleh FSAN untuk *downstream* minimum 40 Gbps dan untuk *upstream* minimum 10 Gbps serta tetap kompatibel dengan teknologi sebelumnya [2]. Selain pengembangan pada *bit rate*, NG-PON2 juga mampu diimplementasikan pada jarak maksimal 60 km dengan melakukan rekayasa pada *Optical Distribution Network* (ODN) [2]. Penggunaan jarak yang semakin

panjang akan berdampak pada kualitas suatu jaringan, terutama pada komunikasi serat optik sehingga diperlukan perangkat tambahan untuk mengatasi pelemahan sinyal yang terjadi disepanjang serat optik. Salah satu solusinya yaitu dengan menggunakan perangkat *optical amplifier* [3]. Terdapat tiga jenis *Optical Amplifier* yang sering digunakan, yaitu *Erbium Doped Fiber Amplifier* (EDFA), *Semiconductor Optical Amplifier* (SOA), dan *Raman Optical Amplifier* (ROA) [3].

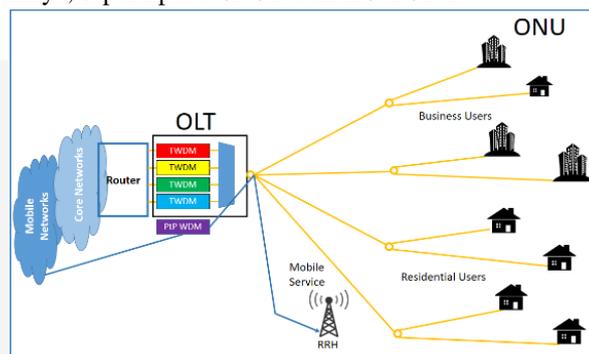
Pada Tugas Akhir, ini dilakukan analisis pengaruh jenis *optical amplifier* terhadap performansi jaringan NG-PON2. Dilakukan dua skenario simulasi, skenario pertama dilakukan pada transmisi *downstream* dengan menambahkan *optical amplifier* di sisi OLT sebagai *booster amplifier*. Skenario kedua sama halnya dengan skenario pertama, tetapi simulasi dilakukan pada transmisi *upstream* sebagai *pre – amplifier*.

Pada penelitian yang telah dilakukan oleh Muhammad Yasyir [4] mengenai pengaruh karakteristik EDFA terhadap sistem NG-PON2 diperoleh panjang gelombang *pump laser* terbaik pada EDFA berada di 1480 nm. Pada penelitian lainnya oleh Irfan Ardiansyah [5] mengenai analisis performansi penguat *hybrid* (EDFA dan ROA) pada sistem DWDM diperoleh penguat EDFA memberikan performansi yang lebih baik. Maka dari itu, penelitian ini akan membandingkan pengaruh *optical amplifier* tersebut terhadap performansi jaringan NG-PON2 seperti *received power*, *Signal to Noise Ratio* (SNR), *Q-Factor*, dan *Bit Error Rate* (BER). NG-PON2 dapat dikategorikan layak apabila nilai *Q-Factor* ≥ 6 dan nilai BER maksimal adalah 10^{-9} . Dengan menggunakan beberapa skenario, hasil penelitian ini diharapkan mampu memberikan perbaikan performansi pada NG-PON2 sehingga dapat dipertimbangkan untuk diimplementasikan pada kondisi nyata.

2. Dasar Teori

2.1. Next Generation Passive Optical Network 2 (NG-PON2)

NG-PON2 merupakan evolusi dari teknologi PON yang terus dikembangkan sampai saat ini. Salah satu keunggulan NG-PON2 adalah kecepatan data minimum 40 Gbps untuk *downstream* dan 10 Gbps untuk *upstream*. Penyedia layanan dimudahkan dalam menyiapkan penerapan NG-PON2 karena dapat menggunakan sistem yang telah diimplementasikan sebelumnya, seperti pada GPON dan XG-PON1.



Gambar 2. 1 Arsitektur NG-PON2 [6]

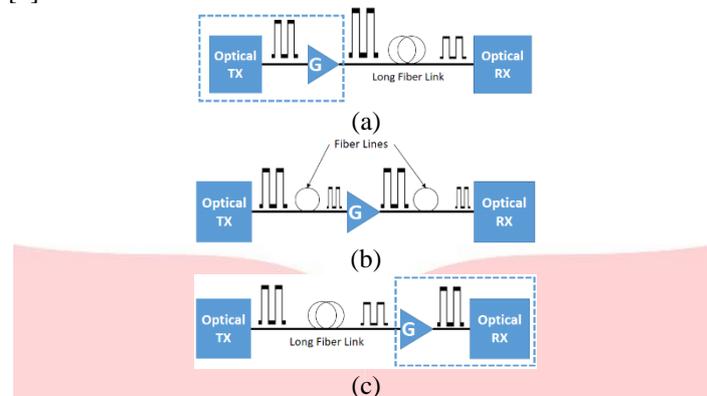
Arsitektur sistem NG-PON2 ditunjukkan pada Gambar 2.1. Meskipun sistem PON sebelumnya menawarkan layanan broadband hanya untuk pengguna perumahan, sistem NG-PON2 diharapkan dapat mengakomodasi pengguna bisnis. Sebagai pengembangan riset, NG-PON2 juga mendukung Point to Point (PtP) overlay WDM, yang diharapkan cocok untuk layanan seluler yang memerlukan latency rendah [6]. Berikut ini adalah pengembangan dari sistem NG-PON2 yang mendukung [2]:

- *Multiple wavelength channel* dengan arsitektur TWDM
- Empat hingga delapan TWDM *channel*, dapat dikonfigurasi untuk pengembangan setiap *channel*-nya, sebagai contoh: “*pay as you grow*” yang bisa dilakukan dengan menambahkan *channel* yang berada di OLT.
- *Bit rate* dari setiap *channel downstream* dan *upstream*
 - 10 Gbps *downstream* dan 10 Gbps *upstream*
 - 10 Gbps *downstream* dan 2.5 Gbps *upstream*
 - 2.5 Gbps *downstream* dan 2.5 Gbps *upstream*
- Jangkauan *link* minimal 20 km dengan jarak pengembangan yang dapat dikonfigurasi maksimal 60 km.
- Kompatibel dengan teknologi PON sebelumnya.

FSAN menetapkan teknik *multiplexing hybrid* TDM dan WDM (TWDM) sebagai solusi untuk NG-PON2. TDM berperan penting dalam mentransmisikan informasi pada transmisi *upstream*, sedangkan WDM berperan pada transmisi *downstream* [4]. TWDM-PON menggabungkan keuntungan kapasitas yang disediakan oleh TDM dan sejumlah panjang gelombang yang disediakan oleh WDM menjadi satu arsitektur oleh transmisi *frame* TDM ke beberapa pengguna melalui beberapa panjang gelombang. Struktur dasar TWDM-PON terdiri dari empat s.d delapan XG-PON1. Setiap XG-PON1 masing – masing menyediakan *bit rate* 10 Gbps untuk *downstream* dan 2.5 Gbps untuk *upstream*. Dengan demikian, penggunaan teknik TWDM pada jaringan PON dapat meningkatkan *bit rate* hingga 40 Gbps untuk transmisi *downstream* dan 10 Gbps untuk transmisi *upstream* [6].

2.2. Optical Amplifier

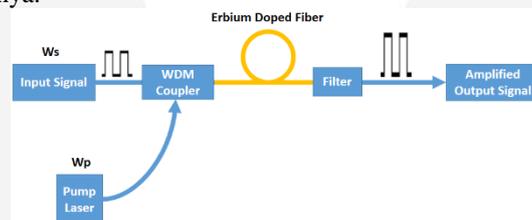
Terdapat tiga jenis Optical Amplifier yang sering digunakan, yaitu Erbium Doped Fiber Amplifier (EDFA), Semiconductor Optical Amplifier (SOA), dan Raman Optical Amplifier (ROA) [3]. Penelitian Tugas Akhir ini membahas mengenai penguat EDFA dan ROA yang memungkinkan digunakan untuk komunikasi optik pada C-Band dan L-Band [7]. Dalam pengaplikasiannya ada beberapa jenis penempatan *Optical Amplifier* yang dapat digunakan diantaranya [3]:



Gambar 2. 2 Pengaplikasian *Optical Amplifier*
(a) *Booster Amplifier* (b) *In line Amplifier* (c) *Pre – Amplifier*

2.3. Erbium Doped Fiber Amplifier (EDFA)

EDFA merupakan jenis *Optical Amplifier* yang menggunakan susunan elemen *erbium* yang didoping ke serat optik silika. Elemen *erbium* berfungsi sebagai penginisiasi atau perangsang agar nantinya level daya dari sinyal optik dapat meningkat. Inti dari EDFA adalah *Erbium Doped Fiber* (EDF) dimana sebuah serat optik dengan panjang tertentu yang inti (*core*) seratnya dikotori dengan *ion erbium* Er^{3+} sehingga dapat memberikan penguatan terhadap sinyal yang melewatinya.

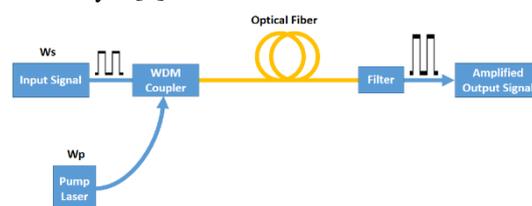


Gambar 2. 3 Konfigurasi EDFA

Prinsip kerjanya yaitu dengan menggunakan *pump laser* dengan panjang gelombang 980 atau 1480 nm yang dipompakan ke dalam EDF sehingga muatan-muatan pada EDF akan mengalami perpindahan/eksitasi dari pita energi rendah (*ground state*) ke level pita energi yang lebih tinggi (*excited state*). Sinyal optik yang melewati serat optik terdoping *erbium* tersebut dengan energi fotonnya akan berfungsi sebagai perangsang sehingga muatan-muatan pada EDF akan melepaskan energinya dan saat itu dihasilkan *stimulated emission* sehingga terjadi penguatan secara optik.

2.4. Raman Optical Amplifier (ROA)

Berbeda dengan EDFA yang membutuhkan serat optik khusus untuk beroperasi, ROA menggunakan serat transmisi sebagai media amplifikasinya [3]. ROA bekerja berdasarkan pada efek yang disebut *Stimulated Raman Scattering* (SRS) untuk menguatkan sinyal [3].



Gambar 2. 4 Konfigurasi ROA

Seperti pada EDFA, ROA menggunakan *pump laser* yang dipompa ke dalam serat optik yang menimbulkan efek *Raman Scattering*. *Raman scattering* adalah sebuah proses dimana cahaya tersebar oleh molekul dari panjang gelombang yang lebih rendah ke panjang gelombang yang lebih tinggi. *Raman scattering* yang terjadi akibat injeksi laser akan menguatkan sinyal yang dikirimkan, peristiwa ini yang disebut *Stimulated Raman Scattering*.

Penguatan maksimal pada ROA diperoleh jika panjang gelombang pompa lebih kecil 80 – 100 nm dengan panjang gelombang sinyal [3].

2.5. Parameter Performansi

Parameter performansi yang digunakan yaitu *received power*, *Signal to Noise Ratio*, *Q factor* dan *Bit Error Rate*.

A. Received power

Received power digunakan untuk mengkalkulasi nilai daya pada proses transmisi dari penerima ke pengirim. Adapun perhitungan untuk menghitung *received power* adalah [3].

$$atot = L.af + Nc. ac + Ns. as + Sp + Ms \quad (1)$$

Kemudian untuk menghitung nilai daya yang diterima oleh *photodetector*, dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$Prx = Ptx - atot \quad (2)$$

Dalam suatu link serat optik, dibutuhkan suatu penguat untuk meningkatkan level daya sinyal yang menurun akibat dispersi atau redaman yang disebabkan oleh serat optik, maka untuk perhitungan LPB dengan faktor *gain* adalah :

$$Prx = Ptx - atot + G \quad (3)$$

B. Signal to Noise Ratio (SNR)

SNR adalah perbandingan antara nilai daya sinyal yang ditransmisikan terhadap daya *noise* yang terjadi pada sistem. Nilai SNR dapat dihitung menggunakan persamaan sebagai berikut [3].

$$SNR = \frac{(P_{rx}.R.M)^2}{2.q.P_{rx}.R.M^2.F(M).Be + 4.K_B.T.Be/R_L} \quad (4)$$

untuk penguat EDFA, menggunakan persamaan:

$$SNR = \frac{R.P_{S,in}}{2.q.Be} \chi \frac{G}{1+2\eta_{sp}(G-1)} \quad (5)$$

C. Q Factor

Q-Factor adalah parameter kualitas yang menentukan bagus atau tidaknya suatu link optik. Perhitungan *Q Factor* menggunakan persamaan berikut [3].

$$Q = \frac{SNR}{2} \quad (6)$$

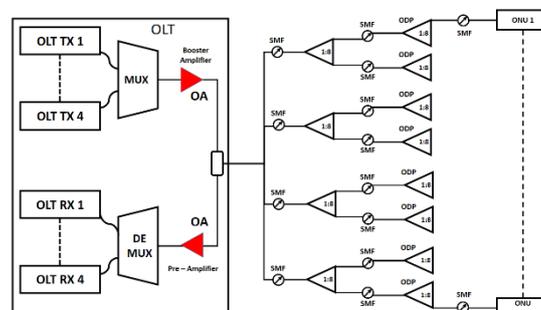
D. Bit Error Rate (BER)

$$BER = \frac{\exp(-\frac{Q^2}{2})}{Q\sqrt{2\pi}} \quad (7)$$

3. Pembahasan

3.1. Perancangan Sistem NG-PON2

Pada penelitian Tugas Akhir ini, dilakukan simulasi dan pengujian jenis *optical amplifier* terhadap sistem jaringan TWDM-PON yang diimplementasikan pada jaringan NG-PON2 seperti yang ditunjukkan pada gambar 3.1.



Gambar 3. 1 Model Sistem NG-PON2 [8]

Model sistem NG-PON2 terdiri dari tiga blok penyusun utama, yaitu blok pengirim berupa *Optical Line Terminal* (OLT), blok media transmisi berupa *Optical Distribution Network* (ODN), dan blok penerima berupa *Optical Network Unit* (ONU). Pada OLT menggunakan empat *channel* dengan panjang gelombang yang berbeda dan *bit rate* tiap *channel* yang sebesar 10 Gbps pada transmisi *downstream* dan 2,5 Gbps pada transmisi

upstream. Pada bagian ODN menggunakan tiga titik *splitting* dengan total *split ratio* 1:256 dengan jarak transmisi terjauh yaitu 60 km. Pada perancangan ini menggunakan tambahan *optical amplifier* yang bertujuan untuk meningkatkan daya terima sinyal. Jenis *optical amplifier* yang digunakan yaitu EDFA dan ROA dengan nilai gain 12 dB.

A. Parameter Transmitter

Tabel 3. 1 Spesifikasi *Optical Line Terminal*

No.	Parameter	Nilai
1.	<i>Bit Rate per Channel (downstream)</i>	10 Gbps
2.	<i>Bit Rate per Channel (upstream)</i>	2,5 Gbps
3.	<i>Minimum Transmit power OLT</i>	2 dBm
4.	<i>Maximum Transmit power OLT</i>	6 dBm
5.	<i>Sensitivity</i>	-27,5 s.d -7 dBm
6.	<i>Channel spacing</i>	100 GHz
7.	<i>Bandwidth</i>	1.25 GHz
8.	<i>Maximum transmission distance</i>	20 km
9.	<i>Number of channel</i>	4

Optical Transmitter merupakan bagian utama yang berfungsi sebagai pengirim dari sentral ke pelanggan. Pada tabel 3.1 ditunjukkan spesifikasi *transmitter* yang digunakan sesuai rekomendasi ITU-T G.989.2 dan disesuaikan dengan spesifikasi perangkat OLT yang digunakan.

B. Parameter Media Transmisi

Media transmisi merupakan penghubung jaringan antara sentral ke pelanggan. Pada sistem komunikasi optik, media transmisi disebut *Optical Distribution Network (ODN)*. Pada penelitian ini menggunakan jenis kabel SMF tipe G.625 C dengan kemampuan *bidirectional* dengan rasio *splitter* 1:256. Spesifikasi SMF G.652 C ditunjukkan pada tabel 3.2.

Tabel 3. 2 Spesifikasi SMF G.652 C

No.	Parameter	Nilai
1.	Atenuasi	0,3 dB/km
2.	Dispersi	17,46 ps/nm.km
3.	<i>Dispersion Slope</i>	0,056 ps/nm ² .km)

Mengacu pada rekomendasi arsitektur jaringan akses serat optik oleh PT. Telkom Indonesia yang menggunakan teknik *two stage*, Tugas Akhir ini menggunakan dua tingkat titik pembagi, titik pembagi pertama 1:4 sebagai *Optical Distribution Cabinet (ODC)*, serta titik pembagi kedua 1:8 sebagai *Optical Distribution Point (ODP)*, ditambah satu *splitter feeder* di sisi OLT. Karakteristik komponen-komponen penyusun blok distribusi ditunjukkan pada tabel 3.3.

Tabel 3. 3 Spesifikasi Komponen Distribusi

No.	Komponen	Satuan	Standar Redaman (dB)
1.	Konektor SC/UPC	buah	0,25
2.	Konektor SC APC/UPC	buah	0,35
3.	Sambungan	buah	0,10
4.	<i>Splitter</i> 1:2	buah	3,6
5.	<i>Splitter</i> 1:4	buah	7,0
6.	<i>Splitter</i> 1:8	buah	10,3
7.	Kabel/haspel	km	4

C. Parameter Receiver

Tabel 3. 4 Spesifikasi *Optical Network Terminal*

No.	Parameter	Nilai
1.	<i>Photodetector</i>	<i>APD</i>
2.	<i>Bandwidth</i>	5 GHz
3.	<i>Temperature</i>	298 °K
4.	<i>Responsivity</i>	0.85 A/W
5.	<i>Avalanched gain</i>	10
6.	<i>Ionization ratio</i>	0,45
7.	<i>Resistance</i>	50 ohm
8.	<i>Min. Transmit power ONT</i>	0,5 dBm
9.	<i>Max. Transmit power ONT</i>	5 dBm
10.	<i>Sensitivity</i>	-28 s.d -8 dBm

Perangkat *receiver* pada NG-PON2 disebut *Optical Network Terminal* (ONT) atau *Optical Network Unit* (ONU). Perangkat utama pada ONT adalah *photodiode* yang berfungsi mendeteksi cahaya yang dipancarkan dari *transmitter* dan mengubah cahaya tersebut menjadi arus listrik. Spesifikasi *receiver* ONT sesuai rekomendasi ITU.T dan spesifikasi perangkat yang digunakan seperti pada Tabel 3.4.

D. Parameter *Optical Amplifier* (OA)

Pada Tugas Akhir ini dipilih *Optical Amplifier* EDFA dan ROA karena panjang gelombang operasi kedua penguat ini dapat digunakan pada sistem NG-PON2 yang menggunakan teknik TWDM-PON.

Tabel 3. 5 Spesifikasi EDFA

No.	Parameter	Nilai	Satuan
1.	<i>Length</i>	<i>Downstream</i> = 10 <i>Upstream</i> = 5	m
2.	<i>Core Radius</i>	2,2	µm
3.	<i>Er ion Density</i>	10 ²⁵	m ⁻³
4.	<i>Operating Temperature</i>	-20 to +50	°C

Tabel 3. 6 Spesifikasi ROA

No.	Parameter	Nilai	Satuan
1.	<i>Fiber Length</i>	10	km
2.	<i>Attenuation</i>	0,3	dB/km
3.	<i>Effective Interaction Area</i>	72	µm ²
4.	<i>Operating Temperature</i>	-5 to +55	°C

Tabel 3. 7 Optimasi Parameter *Amplifier* Terhadap Nilai *Gain*

Jenis <i>Amplifier</i>	<i>Gain</i> (dB)	<i>Pump Power</i> (mW)		<i>Pump Wavelength</i> (nm)	
		<i>Downstream</i>	<i>Upstream</i>	<i>Downstream</i>	<i>Upstream</i>
EDFA	12	78	7,21	1480	1480
ROA	12	581	498	1496 & 1498	1432 & 1434

Tabel 3.5 dan 3.6 masing – masing menunjukkan spesifikasi *Optical Amplifier* yang digunakan. Nilai parameter tersebut didapatkan dari nilai *default* pada *software* dan spesifikasi perangkat yang digunakan.

Sedangkan Tabel 3.7 menunjukkan hasil optimasi agar didapatkan nilai *gain* yang diinginkan. Beberapa parameter utama yang digunakan pada EDFA dan ROA yaitu *length*, *pump power*, *pump wavelength*, *attenuation* dan *temperature*.

4. Analisis Hasil Simulasi Sistem

4.1. Analisis Simulasi dengan Penguat EDFA dan ROA

Pada bab ini, akan dijelaskan tentang hasil uji coba dari skenario – skenario yang telah dilakukan perencanaan dengan simulasi menggunakan perangkat lunak. Hasil dari simulasi tersebut memperlihatkan pengaruh penggunaan *optical amplifier* pada jaringan NG-PON2 terhadap nilai *received power*, SNR, *Q Factor*, dan BER.

A. Analisis Received Power



Gambar 4. 1 Hasil Simulasi dan Perhitungan *Received Power* (a) Transmisi *Downstream* (b) Transmisi *Upstream*

Pada gambar 4.1, dapat dilihat bahwa nilai *received power* yang dihasilkan oleh penguat EDFA dan ROA hampir sama, hal ini dikarenakan nilai *gain* yang digunakan sama. Nilai *received power* dipengaruhi oleh redaman yang ada pada komponen distribusi seperti redaman serat optik, redaman konektor, dan redaman *splitter*.

B. Analisis Signal to Noise Ratio



Gambar 4. 2 Hasil Simulasi dan Perhitungan SNR (a) Transmisi *Downstream* (b) Transmisi *Upstream*

Mengacu pada standar, nilai SNR tidak boleh kurang dari 10,79 dB. Pada transmisi *downstream*, hasil simulasi dan perhitungan SNR tertinggi yaitu masing – masing 27,46 dB dan 29,27 dB pada penguat EDFA, sedangkan hasil terendah yaitu masing–masing 4,07 dB dan 4,54 dB pada jaringan tanpa *optical amplifier*. Pada transmisi *upstream*, hasil simulasi dan perhitungan SNR tertinggi yaitu masing–masing 23,90 dB dan 22,56 dB pada penguat EDFA, sedangkan hasil terendah yaitu masing–masing 3,02 dB dan 8,66 dB pada jaringan tanpa *optical amplifier*. Dapat dilihat bahwa penggunaan *optical amplifier* meningkatkan nilai SNR yang dihasilkan. Hal ini disebabkan karena adanya hubungan nilai SNR terhadap *received power*, dimana semakin besar nilai *received power* maka semakin besar pula nilai SNR.

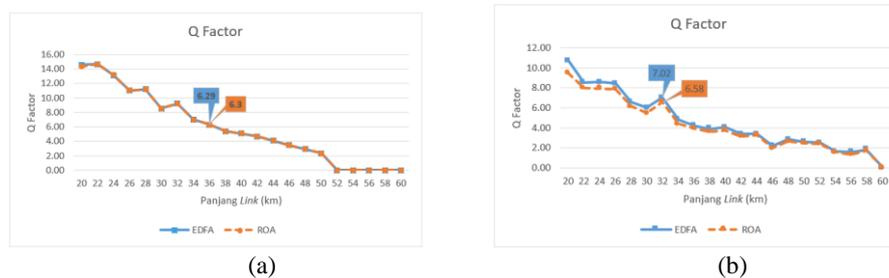
C. Analisis Q Factor



Gambar 4. 3 Hasil Simulasi dan Perhitungan *Q Factor* (a) Transmisi *Downstream* (b) Transmisi *Upstream*

Pada transmisi *downstream*, nilai *Q Factor* tanpa *optical amplifier* yaitu 0, penguat EDFA yaitu 14,58, dan penguat ROA yaitu 14,36. Pada transmisi *upstream* didapatkan nilai *Q Factor* tanpa *optical amplifier* yaitu 0,

penguat EDFA yaitu 10,75, dan penguat ROA yaitu 9,49. Nilai Q Factor dipengaruhi oleh nilai SNR. Semakin besar nilai SNR, maka semakin besar pula nilai Q Factor yang didapatkan. Nilai Q Factor yang semakin kecil menandakan semakin buruk pula kualitas suatu jaringan, begitupun sebaliknya. Dalam hal ini, *optical amplifier* dapat meningkatkan kualitas jaringan NG-PON2 seiring dengan penguatan yang dihasilkan.



Gambar 4. 4 Perbandingan Kualitas Jaringan Terhadap Panjang *Link* (a) Transmisi *Downstream* (b) Transmisi *Upstream*

Gambar 4.4 merupakan nilai Q Factor hasil simulasi terhadap panjang *link*. Grafik tersebut menunjukkan kemampuan jarak maksimum pada jaringan yang dirancang. Dapat dilihat bahwa penggunaan EDFA dan ROA pada jaringan NG-PON2 dengan *user* 256 untuk transmisi *downstream* mampu digunakan pada jarak maksimum 36 km. Nilai Q Factor pada EDFA dan ROA masing – masing yaitu 6,29 dan 6,3. Sedangkan pada transmisi *upstream*, jarak maksimum untuk kedua penguat mampu digunakan pada jarak 32 km dengan nilai Q Factor yaitu 7,02 untuk EDFA dan 6,58 untuk ROA, sehingga dapat disimpulkan bahwa penggunaan *optical amplifier* dapat memberikan peningkatan pada panjang *link* yang digunakan.

5. Kesimpulan

Berdasarkan penelitian Tugas Akhir ini, dapat disimpulkan bahwa penggunaan *Optical Amplifier* pada sistem NG-PON2 dapat memberikan peningkatan pada kualitas jaringan. Pada transmisi *downstream* dan *upstream* penguat EDFA memberikan performansi yang lebih baik dibandingkan penguat ROA. Faktor yang mempengaruhi performansi jaringan yaitu nilai *gain* dan noise yang dihasilkan oleh *optical amplifier*. Secara umum, penguat EDFA dan ROA dapat digunakan pada sistem NG-PON2 karena menghasilkan nilai performansi lebih dari nilai yang distandarkan.

DAFTAR REFERENSI

- [1] M. A. Elaydi, "Next Generation Passive Optical Network Stage Two NG-PON2," 2014.
- [2] ITU-T, "ITU-T Recommendation G.989.1 40-Gigabit-capable passive optical networks (NG-PON2): General requirements," *ITU-T G-Series Recomm.*, 2013.
- [3] G. Keiser, *Optical Fiber Communication*, 5th ed. Singapore, 2015.
- [4] M. Yasyir, A. Hambali, A. D. Pambudi, and F. T. Elektro, "Simulasi Dan Analisis Pengaruh EDFA Pada Sistem 80 G TWDM-PON Berbasis Next Generation Passive Optical Network Stage 2," vol. 4, no. 2, 2017.
- [5] I. Ardiansyah, A. Hambali, and A. D. Pambudi, "Analisis Performansi Penguat Optik Hybrid dengan Array Waveguide Grating (AWG) Pada Jaringan Transport," 2017.
- [6] K. Asaka and J. I. Kani, "Standardization trends for next-generation passive optical network stage 2 (NG-PON2)," *NTT Tech. Rev.*, vol. 13, no. 3, 2015.
- [7] P. A. Praja, A. D. Pambudi, F. T. Elektro, and U. T. Bandung, "Aanalisis Performansi Hybrid Optical Aamplifier pada Sistem Long Haul Ultra-Dense Wavelength Division Multiplexing," 2017.
- [8] G. N. Karadzhova, "Master thesis 'Analysis of performances and tolerances of the second generation passive optical networks (NG-PON2) for FTTH systems,'" *Mycotoxin Res.*, vol. 6, no. 2, 2014.