

Perancangan Jaringan *Backbone* Fiber Optik Menggunakan EDFA (*Erbium Doped Fiber Amplifier*) Di Kabupaten Sleman

Hasbian Ikbal Reza HS¹, Tito Yuwono²

Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Indonesia
Jl Kafiurang KM 14.5 Yogyakarta, Indonesia

¹14524059@students.uui.ac.id

²tito@uui.ac.id



Abstrak

EDFA (*Erbium Doped Fiber Amplifier*) adalah sebuah *amplifier* dimana bahan EDFA terdiri dari bahan gelas seperti Er, SiO₂, maupun GeO₂. Erbium (Er) termasuk golongan lantanida dimana bagian ini cocok sebagai bahan aktif dalam *laser solid state*. Pada penelitian ini, kami melakukan perancangan jaringan *backbone* fiber optik menggunakan EDFA di Kabupaten Sleman. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui berapa jumlah EDFA yang dibutuhkan agar dapat menjangkau jarak transmisi 146,25 km. Selain itu, tujuan lain penelitian ini adalah untuk mengetahui perancangan yang dilakukan sudah memenuhi kebutuhan jaringan fiber optik, berdasar data jarak transmisi dan parameter kinerja seperti *Power Received* sebesar -7 sampai dengan -30 dBm, *Q Factor* minimum 6, BER (*Bit Error Rate*) $\leq 10^{-9}$, dan OSNR (*Optical Signal to Noise Ratio*) minimum 13,5 dB. Metode yang digunakan yakni melakukan perhitungan jarak maksimal transmisi sebelum dan sesudah menggunakan *amplifier*. Kemudian melakukan perhitungan parameter kinerja sebelum dan sesudah penambahan EDFA. Sebelum menggunakan EDFA berbagai parameter kinerja belum memenuhi standar, namun setelah pengaplikasian EDFA sebagai *Booster Amplifier* untuk transmisi *downstream* dan *Pre-Amplifier* untuk transmisi *upstream*, parameter kinerja sudah memenuhi standar. Setelah melakukan perhitungan, dibutuhkan 1 set EDFA dengan jangkauan maksimal 152 km. Ini berarti sudah mampu memenuhi kebutuhan jaringan fiber optik Kabupaten Sleman berdasar data jarak transmisi. Dalam perancangan ini juga membutuhkan EDFA untuk memenuhi standar kinerja.

Kata Kunci: Fiber optik, EDFA, *Booster Amplifier*, *Pre-Amplifier*

I. PENDAHULUAN

Dalam era globalisasi ini, komunikasi sudah menjadi kebutuhan yang sangat vital dalam kehidupan sehari-hari. Pada awalnya, masyarakat hanya mengenal fasilitas komunikasi suara saja, namun perlahan masyarakat mulai

menikmati fasilitas pesan singkat, kemudian internet kendati kecepatan akses masih sangat lambat jika membandingkan seperti saat ini.

Peningkatan jumlah pengguna internet di Indonesia setiap tahun terus mengalami peningkatan, menurut data APJII (Asosiasi Penyelenggara Jasa Internet Indonesia) semenjak tahun 1998 tercatat hanya 0,5 juta jiwa meningkat drastis mulai tahun 2001 menjadi 4,2 juta jiwa [1], terus meningkat setiap tahun, dan pada tahun 2016 tercatat meningkat menjadi 132,7 juta jiwa [2].

Seiring dengan kemajuan teknologi mendorong pengguna internet yang semakin tinggi setiap tahun, hal ini yang memotivasi operator-operator internet untuk meningkatkan kecepatan maupun luas jangkauan. Salah satunya dengan beralih teknologi kabel yang dahulu menggunakan kabel tembaga kini menggunakan kabel fiber optik.

Serupa dengan jaringan internet terdahulu yang menggunakan kabel tembaga, kemudian melakukan pengembangan teknologi optik. Namun karena jarak transmisi yang jauh dan menghindari pelemahan, maka membutuhkan *amplifier* dalam implementasi jaringan fiber optik. Pada serat optik dapat menggunakan EDFA (*Erbium Doped Fiber Amplifier*). Penguat EDFA ini berfungsi untuk menguatkan sinyal optik kisaran 1570-1605 nm [3], pada kabel optik EDFA ini terdapat ion Erbium (Er³⁺) dimasukkan ke dalam inti ketika kabel serat optik ini dirakit. Jenis serat ini dikenal dengan nama *Erbium Doped* menjadi kunci penguatan dalam kabel serat optik pada EDFA [4].

Penelitian ini melakukan perancangan jaringan fiber optik dengan penambahan EDFA, untuk mengetahui jumlah EDFA yang dibutuhkan untuk memenuhi jarak transmisi Kabupaten Sleman. Selain itu untuk menentukan apakah perancangan ini dapat memenuhi kebutuhan jaringan fiber optik berdasar data jarak transmisi dan parameter kinerja, seperti *Power Received* sebesar -7 sampai dengan -30 dBm, *Q Factor* minimum 6, BER (*Bit Error Rate*) $\leq 10^{-9}$, dan OSNR (*Optical Signal to Noise Ratio*) minimum 13,5 dB.

II. TINJAUAN PUSTAKA

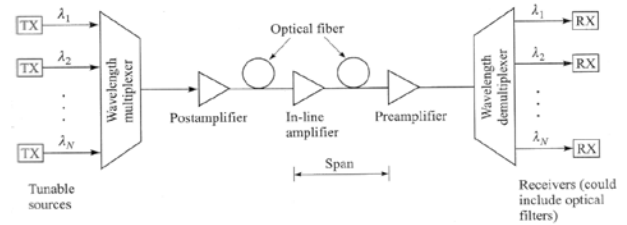
Penelitian mengenai EDFA (*Erbium Doped Fiber Amplifier*) telah banyak terlaksana diantaranya:

Penelitian mengenai Pengaruh EDFA pada Sistem 160 G TWDM-PON Berbasis NG-PON2 oleh Rizky Maulana Arpan membahas mengenai perancangan dan simulasi dengan jaringan *bidirectional* NG-PON2 dengan teknik TWDM yang memiliki total *bitrate* 160 Gbps untuk *downstream* dan 80 Gbps untuk *upstream*. Langkah pertama dengan merancang sistem dengan enam belas kanal TWDM dengan kanal *downstream* memiliki *bitrate* 10 Gbps, sedangkan 2,5 Gbps untuk *upstream* dengan jarak transmisi 40 km dengan tiga titik pembagi daya, serta total *split ratio* 1:128. Selain itu sistem ini menggunakan penambahan EDFA sebagai *booster amplifier* dan *pre-amplifier* dengan panjang 1 sampai dengan 5 meter juga *Pump Laser* sebesar 100 mW sampai 1000 mW. Berdasarkan hasil simulasi diperoleh kinerja terbaik transmisi *downstream* dengan panjang EDFA 2 meter dan daya pompa 700 mW, parameter *Q Factor* 18,59, BER $1,9 \times 10^{-77}$, *Power Received* -18,61 dBm, *Gain* 10,86 dBm, serta OSNR 54,29 dB. Sedangkan kinerja terbaik transmisi *upstream* dengan panjang EDFA 2 meter dan daya pompa 800 mW, *Q Factor* 19,67, BER (*Bit Error Rate*) $5,6 \times 10^{-85}$, *Power Received* -15,16 dBm, *Gain* 14,18 dB, serta OSNR (*Optical Signal to Noise Ratio*) 25,69 dB [3].

Penelitian lainnya mengenai *Performance Optimization of SOA, EDFA, Raman and Hybrid Optical Amplifiers in WDM Network with Reduced Channel Spacing of 50 GHz*, oleh Deepak Malik, Kuldip Pahwa, dan Amit Wason membahas perbandingan kinerja optimasi antara penguat SOA (*Semiconductor Optical Amplifier*), EDFA, Raman, dan gabungan (SOA-EDFA, EDFA-EDFA, Raman-EDFA) di jaringan WDM (*Wavelength Division Multiplexing*) dengan mereduksi jarak *channel* 50 GHz. Dalam sistem ini, 8 sinyal dengan panjang gelombang yang berbeda kemudian melakukan transmisi pada 10 Gbps dengan reduksi jarak *channel* sebesar 50 GHz. Setiap sinyal akan termodulasi dengan format NRZ (*Non Return Zero*), pemancar optik terdiri dari sumber laser, sumber data, modulator amplitudo dan penggerak elektrik. Sumber laser menghasilkan 8 sinar laser pada 192,85 THz – 193,20 THz dengan jarak kanal 50 GHz. Hasil dari simulasi menunjukkan bahwa Raman-EDFA memberikan hasil yang lebih baik berbanding dengan SOA-EDFA hingga jarak transmisi 100 km. SOA-EDFA memberikan daya output tertinggi 13,086 dBm, *Q Factor* 25,91, sedangkan Raman Amplifier menunjukkan daya output rendah berbanding dengan SOA-EDFA [5].

A. TWDM-PON (*Time Wavelength Division Multiplexing-Passive Optical Network*)

TWDM-PON adalah teknik *multiplexing* yang menggabungkan antara TDM (*Time Division Multiplexing*) dengan WDM (*Wavelength Division Multiplexing*), dimana TDM bertugas untuk mengirimkan informasi pada sisi *upstream* dan WDM berfungsi pada sisi *downstream*. Skema dari TWDM-PON dapat dilihat pada Gambar 1:



Gambar 1 Skema WDM [3]

Aspek yang dapat memperkuat komunikasi serat optik adalah dalam satu serat optik dapat dikirim dengan banyak panjang gelombang dalam waktu yang bersamaan pada pita spektral 1300 – 1600 nm. Teknologi semacam ini dikenal dengan WDM. Secara konseptual WDM memiliki kesamaan dengan FDM (*Frequency Division Multiplexing*). Sama seperti FDM, panjang gelombang FDM harus memiliki *channel spacing* untuk menghindari *interchannel interference*. Contohnya, *output* dari modulasi laser DFB (*Distributed Feedback Laser*), memiliki spektrum frekuensi 10-15 MHz, setara dengan *linewidth* 10^{-3} nm. Ketika menggunakan sumber pada contoh, menggunakan *guard band* 50 GHz (0,4 nm), 100 GHz (0,8 nm) dan 200 GHz (1,6 nm). Dari setiap panjang gelombang berbeda, kemudian terjadi proses multipleks pada saluran transmisi dan diterima oleh *user* untuk proses demultipleksi agar dapat menerima sesuai dengan panjang gelombang tertentu [3].

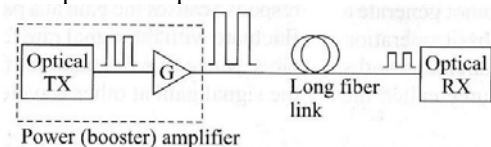
B. Penguat Optik

Pada sistem komunikasi fiber optik ada 3 jenis penguat optik, yakni SOA (*Semiconductor Optical Amplifier*), EDFA (*Erbium Doped Fiber Amplifier*), dan Raman Amplifier. Namun penelitian ini hanya membahas EDFA, yang berkegunaan untuk komunikasi optik pada C-Band dan L-Band.

Berdasarkan pengaplikasian ada beberapa jenis penempatan penguat optik yaitu *power/booster amplifier*, *in-line amplifier*, dan *pre-amplifier*.

a. Booster Amplifier

Booster Amplifier adalah penguat yang penempatan posisi setelah komponen *transmitter*, berfungsi untuk menambah level daya yang akan dikirimkan sehingga memungkinkan keberlanjutan sinyal hingga akhirnya sampai ke penerima. *Booster Amplifier* berfungsi untuk meningkatkan daya transmisi untuk jarak 10-100 km tergantung dari *gain amplifier* dan *fiber loss*. Skema *Booster Amplifier* dapat dilihat pada Gambar 2:

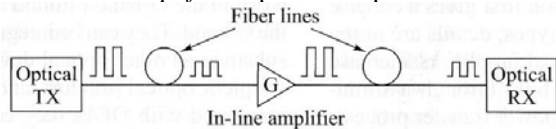


Gambar 2 *Booster Amplifier* [3]

b. In-Line Amplifier

In-Line Amplifier adalah penguat yang penempatan posisi dengan jarak tertentu diantara pengirim dan penerima, yang berfungsi untuk menambah *range* jarak transmisi dan

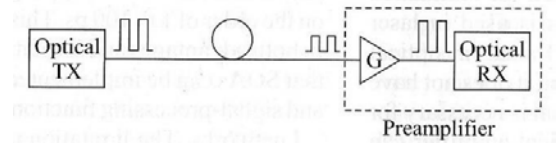
menggantikan fungsi *repeater* untuk meregenerasi sinyal. Skema *In-Line Amplifier* dapat dilihat pada Gambar 3:



Gambar 3 *In-Line Amplifier* [3]

c. *Pre-Amplifier*

Pre-Amplifier adalah penguat yang penempatan posisi sebelum penerima yang berfungsi untuk menambah nilai kepekaan dari *photodetector* sebelum terproses ke penerima [3]. Skema *Pre-Amplifier* dapat dilihat pada Gambar 4:



Gambar 4 *Pre-Amplifier* [3]

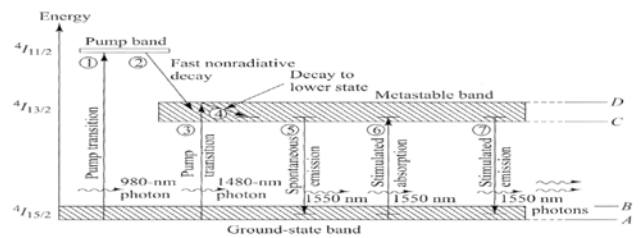
C. EDFA (Erbium Doped Fiber Amplifier)

Dalam sistem jaringan komunikasi optik diperlukan penguat salah satunya adalah EDFA (*Erbium Doped Fiber Amplifier*), yakni bahan dari penguat ini terdiri dari bahan gelas seperti SiO dan GeO, ada juga ion langka seperti Er. Erbium (Er) sendiri mampu menguatkan sinyal yang melewati Erbium, termasuk golongan lantanida dimana bagiannya cocok sebagai bahan aktif dalam *laser solid-state*. Awal pengoperasian EDFA dengan sendiri terbatas pada *C-band* (1530- sampai 1605 nm), karena koefisien *gain* untuk erbium atom tinggi untuk suatu kondisi. Fakta ini sebenarnya adalah *band* konvensional atau *C-band*. Di luar kawasan ini puncak erbium meningkat lebih cepat, dan di *L-band* itu hanya 20 % dari yang di *C-band*.

Namun perbaikan dalam desain serat *erbium-doped* dan penggunaan laser pompa berdaya tinggi yang beroperasi pada panjang gelombang berbeda dari yang ada mempergunakan laser pompa *C-band* telah memungkinkan perpanjangan EDFA ke dalam *L-band* [8].

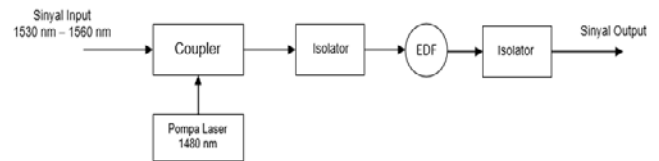
Pada EDFA (*Erbium Doped Fiber Amplifier*) menggunakan injeksi arus luar untuk meningkatkan energi elektron ke tingkat yang lebih tinggi, proses ini menggunakan proses pemompaan yakni, foton secara langsung untuk menaikkan sebuah elektron yang dalam keadaan tereksitasi. Proses pemompaan ini menggunakan tiga tingkatan energi, yaitu tingkat paling atas dimana elektron mengalami peningkatan energi yang paling tinggi, selanjutnya tingkat penguatan yakni beberapa energi elektron harus menurunkan energi ke tingkat penguat yang sesuai keinginan.

Pada level ini sebuah sinyal foton yang dapat memicu elektron mengalami proses eksitasi ke emisi terstimulasi dimana elektron melepaskan energi yang tersisa dalam bentuk foton baru dengan panjang gelombang identik sebagai foton sinyal. Karena pemompaan foton harus memiliki energi yang lebih tinggi daripada sinyal foton, panjang gelombang yang terpompa lebih pendek dari panjang gelombang sinyal [8]. Skema penguatan EDFA dapat dilihat pada Gambar 5:



Gambar 5 Diagram Level Energi Erbium [5]

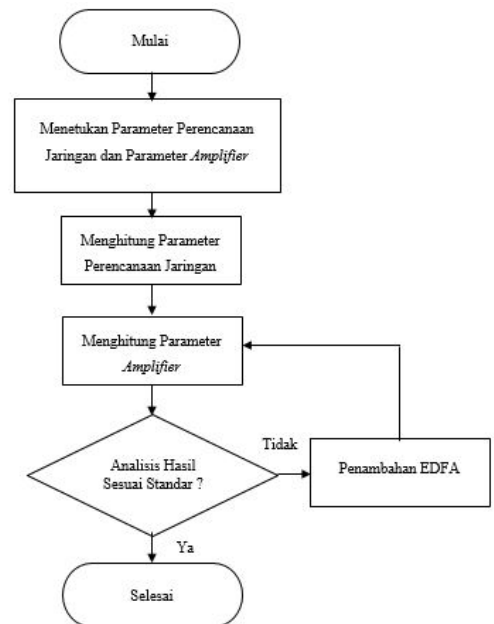
EDFA terdiri dari serat *erbium doped*, satu atau lebih pompa laser, panjang gelombang dari komponen pasif *coupler*, isolator optik, dan *tap coupler*. WSC (*Wavelength-Selective Coupler*) dapat menangani 980/1550-nm atau kombinasi panjang gelombang 1480/1550 nm baik pompa maupun sinyal. *Tap Coupler* memiliki panjang gelombang yang tidak peka dengan *splitting ratio* berkisar 99:1 sampai 95:5, umumnya mempergunakan kedua sisi *amplifier* untuk membandingkan sinyal yang masuk dengan output yang menguat. Isolator optik mencegah sinyal yang menguat dari refleksi ke perangkat, dimana bisa meningkatkan kebisingan penguat dan menurunkan efisiensinya [8]. Diagram konfigurasinya dapat dilihat pada Gambar 6:



Gambar 6 Diagram Konfigurasi EDFA [5]

III. METODE PENELITIAN

Pada penelitian kali ini dilakukan melalui tahapan-tahapan yang ditampilkan melalui diagram alir pada gambar Gambar 7 berikut:



Gambar 7 Diagram Alir Analisa Pengaruh EDFA di Kabupaten Sleman

Langkah pertama menentukan parameter perencanaan yang meliputi topologi jaringan dengan bentuk *ring*, adalah konfigurasi yang dipilih pada analisis ini. Pertimbangannya yakni kemampuan dalam memenuhi layanan, sambungan kabel atau *splice*, jenis kabel serat optik, dan jumlah *power transmit*, dan diperlukan atau tidaknya *amplifier*. Dilanjutkan Pilihan sumber optik untuk jarak dekat adalah LED. Sedangkan untuk jarak jauh umumnya digunakan *Laser Diode* (LD).

Langkah selanjutnya perlu menentukan detektor optik yaitu pemilihan detektor optik diutamakan, dibanding komponen lainnya karena dengan mengetahui detektor optik yang digunakan terlebih dahulu, kita dapat memastikan bahwa sinyal yang sampai ke bagian penerima masih dapat dideteksi dengan baik oleh detektor optik. Pilihan detektor optik ada dua: *PIN photodiode* dan *Avalanche photodiode*. *Laser diode* dipilih karena mempunyai karakteristik yang handal yaitu dapat memancarkan cahaya dengan intensitas tinggi, stabil, terfokus dan merambat dengan kecepatan sangat tinggi, sehingga dapat menempuh jarak sangat jauh. Pada detektor *Avalanche photodiode* dipilih karena dapat meningkatkan *sensitivitas receiver* hingga 10 dB dan mempunyai sensitifitas tinggi [6].

Dilanjutkan pemilihan jenis dan panjang gelombang Perangkat yang digunakan terdiri dari STM-16 dan STM-64 yang diintegrasikan dengan teknologi TWDM-PON, tetap membutuhkan satu pasang *core* optik untuk menghubungkan *transmitter* dan *receiver*. Perencanaan ini dipilih STM-64 karena memiliki struktur tertinggi didalam jaringan SDH, serta mampu memberikan kecepatan hingga 9.953,280 Mbps (10 Gbps) itu artinya sudah dapat untuk memenuhi standar kecepatan teknologi *backbone* dengan transmisi dalam jumlah besar pula. Untuk pemenuhan kebutuhan kapasitas kanal pada perangkat terminal STM-64 dibutuhkan sebanyak 7 buah perangkat.

Kemudian selanjutnya menentukan pemilihan mode kabel yang akan digunakan. Pada perencanaan ini *single mode* dipilih karena dapat membawa data dengan *bandwidth* yang lebih besar dibandingkan dengan *multi mode*, dapat membawa data dengan lebih cepat dan 50 kali lebih jauh dibandingkan dengan *multi mode*.

Langkah kedua dan ketiga dilanjutkan dengan menghitung parameter perencanaan jaringan meliputi *Rise Time Budget*, jumlah *splice* dan konektor, perhitungan jarak transmisi. Sedangkan parameter *amplifier* meliputi *Gain*, *SNR* (*Signal Noise Ratio*), *Q Factor*, *BER* (*Bit Error Rate*), dan *OSNR* (*Optical Signal to Noise Ratio*).

Langkah terakhir adalah melihat hasil hitungan sudah sesuai standar, perhitungan dikatakan sudah memenuhi standar apabila *Q factor* minimum 6, $BER \leq 10^{-9}$, *Power Received* sebesar -30 sampai dengan -7 dBm, dan *OSNR* minimum 13,5 dB. Bila belum memnuhi standar maka perlu penambahan EDFA, dan parameter *Gain* perlu dalam perhitungan berfungsi mengetahui penguatan yang dibutuhkan oleh sistem agar memenuhi standar paramteter kinerja.

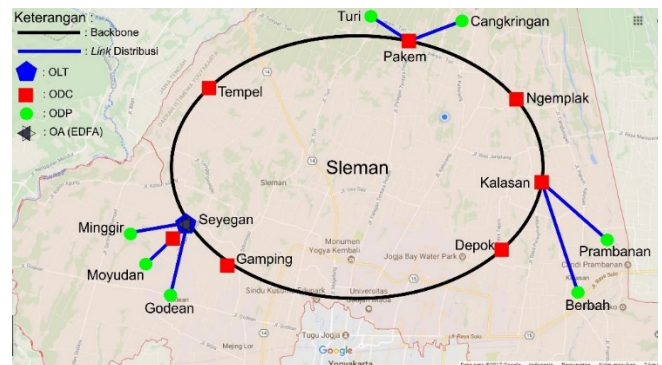
A. Parameter Perencanaan

Perancangan yang ingin tercapai dalam penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 1 berikut:

Tabel 1 Target perancangan

Parameter	Unit	Nilai
<i>Rise Time Total Plan</i>	ps	≤ 70
<i>Power Received</i>	dBm	-7 sampai -30
<i>Q Factor</i>	-	≥ 6
<i>BER (Bit Error Rate)</i>	-	$\leq 10^{-9}$
<i>OSNR (Optical Signal to Noise Ratio)</i>	dB	13,5

1. Rute dan Distribusi Jaringan Fiber Optik



Gambar 8 Rute *Backbone* dan Distribusi Kab. Sleman [7]

2. Parameter Jarak Transmisi

- Perhitungan Jarak Transmisi Maksimum Tanpa *Amplifier*

$$L_{sist} = \frac{P_{tx} - P_{rx} - (\alpha c \times Nc) - (\alpha s \times Ns) - M_s}{\alpha f} \quad (1)$$

- Perhitungan Jarak Transmisi Maksimum dengan *Amplifier*

- Daya Keluaran EDFA

$$P_{out-amplifier} = P_{in-amplifier} + G \quad (2)$$

- Daya Pancar Jaringan TWDM setelah menambahkan EDFA

$$P_{tx'} = P_{out} + P_{tx} \quad (3)$$

- Jarak Transmisi Maksimum dengan 1 EDFA atau lebih

$$L_{sist} = \frac{P_{tx'} - P_{rx} - (\alpha c \times Nc) - (\alpha s \times Ns) - M_s}{\alpha f} \quad (4)$$

- Jarak antar Penguat

$$P_{in-1} + G - \alpha_{seg} - M_s = P_{in-2} \quad (5)$$

$$\alpha_{seg} = G - M_s$$

$$L_{seg} = \frac{\alpha_{seg} m - (\alpha c \times Nc) - (\alpha s \times Ns) - M_s}{\alpha f} \quad (6)$$

Keterangan:

Pt = Daya keluaran sumber optik (dBm)

Pr = Daya yang diterima pada *device* (dBm)

α_T = Total loss (dB)
 L = Panjang serat optik (km)
 α_c = Redaman konektor (dB)
 α_s = Redaman sambungan (dB)
 α_{serat} = Redaman serat optik (dB/Km)
 Ns = Jumlah sambungan
 Nc = Jumlah konektor
 Sp = Redaman splitter (dB)

3. Perhitungan Rise Time Budget

$$t_{\text{sis}} \leq 0,7/\text{BR} \text{ untuk format pengkodean NRZ} \quad (7)$$

$$t_{\text{sis}} \leq 0,35/\text{BR} \text{ untuk format pengkodean RZ} \quad (8)$$

$$t_f = D \times \sigma_\lambda \times L \quad (9)$$

$$t_r = \sqrt{t_{\text{tx}}^2 + t_{\text{rx}}^2 + t_f^2} \quad (10)$$

Keterangan:

t_r = Rise time total plan (ps)
 t_{tx} = Rise time sumber optik (ns)
 t_{rx} = Rise time detektor optik (ns)
 t_f = Dispersi total serat (ns)
 D = Dispersi kromatik (ps/nm.km)
 L = Panjang link (km)
 σ_λ = Lebar spektral (nm)
 t_{sis} = Rise time sistem (ps)
 BR = Bit Rate

Untuk menjamin sistem dapat dilalui *bitrate* yang tertransmisikan maka $t_r \leq t_{\text{sis}}$.

4 Perhitungan Jumlah Splice dan Konektor

$$N_s = \frac{L_{\text{link}}}{L_{\text{kabel}}} + 2 \quad (11)$$

Keterangan :

L_{link} = Jarak link transmisi (km)
 L_{kabel} = Panjang maksimum kabel per gulungnya (3km/roll)

Dengan anggapan memerlukan satu *splice* setiap jarak 3 km serta penambahan dua buah *splice* dan dua buah konektor untuk terhubung dengan masing-masing terminal [7].

B. Parameter Amplifier

1. Parameter Gain

Gain adalah perbandingan antara sinyal output dengan sinyal input dalam bilangan logaritma dengan satuan dB (desibel), dengan persamaan berikut [3]:

$$G \text{ min} \leq \left\{ \exp(\rho \sigma_e L); 1 + \frac{\lambda_p P_{p,\text{in}}}{\lambda_p P_{s,\text{in}}} \right\} \quad (12)$$

Keterangan:

ρ = Konsentrasi *erbium* dalam *fiber* ($1e^{25} \text{ m}^{-3}$)
 σ_e = Cross-section emission ($3,5e^{-25} \text{ m}^2$)
 L = Panjang serat EDFA (m)
 λ_p = Panjang gelombang pompa (nm)
 λ_s = Panjang gelombang sinyal (nm)
 $P_{p,\text{in}}$ = Daya input pompa (mW)
 $P_{s,\text{in}}$ = Sinyal input (dBm)

2. Parameter Power Received

Power Received adalah nilai yang diterima dari sinyal *input* yang mengalami degradasi sinyal atau *attenuation*. Bagian ini melakukan perhitungan *power received* sebagai *booster amplifier* maupun sebagai *pre-amplifier* dengan *pump laser* 980 nm dengan persamaan berikut [3]:

$$\text{Power Received} = P_{s,\text{in}} - \alpha_{\text{total}} \quad (13)$$

Keterangan :

$P_{s,\text{in}}$ = Sinyal input (dBm)
 α_{total} = Attenuation total sistem (dBm)

3. Parameter Q Factor

Q Factor adalah SNR (*Signal-to-Noise Ratio*) yang dinyatakan dengan hubungan antara tegangan arus melalui persamaan berikut [3]:

$$\text{SNR} = \frac{(P_{\text{in}} R M)^2}{2 q P_{\text{in}} R M^2 F(M) B_e + \frac{4 K_B T B_e}{R_L}} \quad (14)$$

$$Q = \frac{10^{\frac{\text{SNR}}{20}}}{2} \quad (15)$$

Keterangan:

P_{in} = Daya yang diterima APD (watt)
 R = Responsivity (A/W)
 M = Avalanche Photodiode Gain
 q = Electron Charge ($1,69 \times 10^{-19}$) (C)
 F(M) = Noise Figure
 B_e = Receiver Electrical Bandwidth (Hz)
 K_B = Konstanta Boltzman ($1,38 \times 10^{-23}$) (J/K)
 T = Suhu ruangan (K)
 R = Resistansi (Ohm)

4. Parameter BER (Bit Error Rate)

BER adalah rasio perbandingan *bit error* dengan bit yang dikirim secara keseluruhan. Sedangkan, BER *test* adalah pengujian yang bertujuan menguji seberapa banyak kesalahan pembacaan yang diterima setiap detiknya, melalui persamaan berikut [3]:

$$\text{BER} = \frac{1}{Q \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{Q^2}{2}} \quad (16)$$

Keterangan:

Q = Q Factor

5. Parameter OSNR (Optical Signal to Noise Ratio)

OSNR adalah perbandingan antara tingkat daya sinyal dengan daya *noise* dalam bentuk dB (desibel), melalui persamaan berikut [3]:

$$\text{OSNR} = \frac{1}{2} Q (Q + \sqrt{2}) \quad (17)$$

Keterangan:

Q = Q Factor

IV. HASIL DAN ANALISIS

A. Hasil Perhitungan Jarak Transmisi

Hasil dari perhitungan jarak transmisi dapat dilihat pada Tabel 2:

Tabel 2 Hasil perhitungan jarak transmisi

Penghitungan	Jumlah EDFA	Unit	Hasil
Jarak Transmisi tanpa <i>Amplifier</i>	-	km	105
Jarak Transmisi Maksimum dengan <i>Amplifier</i>	1	km	152
	2		198
Jarak Antar Penguat		km	80

B. Hasil Perhitungan Rise Time Budget

Hasil dari perhitungan *rise time budget* dapat dilihat pada Tabel 3:

Tabel 3 Hasil perhitungan Rise Time Budget

Link End To End	Rise Time Plan Total
Seyegan-Tempel	69,552
Tempel-Pakem	69,773
Pakem-Ngemplak	69,541
Ngemplak-Kalasan	69,524
Kalasan-Depok	69,606
Depok-Gamping	69,625
Gamping-Seyegan	69,582

Berdasarkan nilai *rise time* perangkat dari data perencanaan di atas, maka dapat diperoleh nilai *rise time* sistem. *Rise Time* sistem untuk 10 Gbps dengan format NRZ adalah 70 ps. Dari hasil perhitungan yang telah dilaksanakan sudah dapat diimplementasikan di lapangan, karena setiap *link* yang dihitung masih berada di bawah 70 ps. Ini berarti bahwa sinyal yang sampai ke detektor optik dapat diterima dengan baik karena tidak terjadi distorsi yang mengganggu proses pembacaan sinyal. Oleh karena itu komponen tambahan yakni DCM (*Dispersion Compensator Module*) tidak diperlukan.

C. Hasil Perhitungan Jumlah Splice dan Konektor

Hasil dari perhitungan jumlah *splice* dan konektor dapat dilihat pada Tabel 4:

Tabel 4 Hasil perhitungan jumlah splice dan konektor

Link End To End	Jumlah Splice dan Konektor
Seyegan-Tempel	6
Tempel-Pakem	9
Pakem-Ngemplak	6
Ngemplak-Kalasan	6
Kalasan-Depok	7
Depok-Gamping	7
Gamping-Seyegan	6

D. Hasil Perhitungan Parameter Amplifier

Berikut pada Tabel 5 hasil perhitungan parameter *amplifier* tanpa menggunakan *amplifier* baik dengan transmisi *downstream* maupun *upstream*:

Tabel 5 Hasil perhitungan tanpa EDFA

Link Distribusi	PR (dBm)	SNR (dB)	Q Factor	BER	OSNR (dB)
Seyegan-Minggir	-33,05	5,88	0,98	3,E-01	0,71
Seyegan-Moyudan	-33,05	6,57	1,07	2,E-01	1,21

Link Distribusi	PR (dBm)	SNR (dB)	Q Factor	BER	OSNR (dB)
Seyegan-Godean	-33,05	7,19	1,14	2,E-01	1,65
Pakem-Turi	-33,05	8,84	1,38	1,E-01	2,86
Pakem-Cangkring	-33,05	8,07	1,27	1,E-01	2,30
Kalasan-Berbah	-33,05	7,57	1,20	2,E-01	1,93
Kalasan-Prambanan	-33,05	8,23	1,29	1,E-01	2,42

Sedangkan hasil perhitungan parameter *amplifier* dengan menggunakan *amplifier* baik dengan transmisi *downstream* posisi EDFA sebagai *booster amplifier* maupun transmisi *upstream* posisi EDFA *pre-amplifier*. Spesifikasi EDFA dengan *wavelength band* 1596,34 nm, *length* EDFA 1 meter, *pump laser* 980 nm, dan *pump power* 400 mW dapat dilihat pada Tabel 6-Tabel 7:

Tabel 6 Hasil perhitungan dengan EDFA transmisi Downstream

Link Distribusi	Gain	PR (dBm)	SNR (dB)	Q Factor	BER	OSNR (dB)
Seyegan-Minggir	15,20	-17,85	29,08	14,22	3,E-46	20,46
Seyegan-Moyudan	15,20	-17,47	29,51	14,95	8,E-51	20,88
Seyegan-Godean	15,20	-17,14	29,89	15,62	3,E-55	21,24
Pakem-Turi	15,20	-16,24	30,91	17,56	2,E-69	22,22
Pakem-Cangkring	15,20	-16,66	30,44	16,63	2,E-62	21,76
Kalasan-Berbah	15,20	-16,93	30,13	16,06	3,E-58	21,47
Kalasan-Prambanan	15,20	-16,57	30,54	16,83	8,E-64	21,86

Tabel 7 Hasil perhitungan dengan EDFA transmisi Upstream

Link Distribusi	Gain	PR (dBm)	SNR (dB)	Q Factor	BER	OSNR (dB)
Seyegan-Minggir	20,95	-12,10	35,39	29,41	2,E-190	26,56
Seyegan-Moyudan	20,95	-11,72	35,78	30,77	3,E-208	26,95
Seyegan-Godean	20,95	-11,39	36,13	32,02	3,E-225	27,29
Pakem-Turi	20,95	-10,49	37,06	35,66	9,E-279	28,20
Pakem-Cangkring	20,95	-10,91	36,63	33,91	2,E-252	27,77
Kalasan-Berbah	20,95	-11,18	36,35	32,83	1,E-236	27,50
Kalasan-Prambanan	20,95	-10,82	36,72	34,28	8,E-258	27,87

Setelah melakukan perhitungan pada *link* distribusi tanpa EDFA dapat dilihat pada Tabel 5 semua parameter kinerja belum memenuhi standar, bisa mengambil contoh *power received*, hasil perhitungan menunjukkan -33,05 dBm,

hal ini berarti telah melewati standar yakni -7 dBm sampai -30 dBm. Yang lain juga seperti Q Factor, BER, dan OSNR baik untuk transmisi *downstream* maupun *upstream*. Tetapi setelah dilakukan penambahan EDFA semua parameter kinerja yang tidak memenuhi standar, menjadi memenuhi standar kinerja pada Tabel 1 baik untuk transmisi *downstream* maupun *upstream* seperti pada Tabel 6 dan Tabel 7.

V. KESIMPULAN

Dari penelitian ini didapat beberapa kesimpulan yaitu :

Berdasarkan hasil perhitungan jumlah EDFA yang dibutuhkan adalah 1 set EDFA, karena jarak transmisi maksimal dengan 1 set EDFA yakni 152 km sedangkan total jarak transmisi Kabupaten Sleman yaitu 146,25 km. Penempatan perangkat pendukung berdasar arsitektur standar G-PON.

Hasil *Power Received* setelah adanya EDFA dapat memenuhi kebutuhan jaringan fiber optik di Kabupaten Sleman berdasar data jarak *link* transmisi yang ada dan parameter kinerja seperti *Power Received* sebesar -7 sampai -30 dBm, sedangkan untuk Q Factor minimum 6, $BER \leq 10^{-9}$, dan OSNR minimum 13,5 dB. Sedangkan parameter *Gain* dalam perhitungan berguna untuk mengetahui penguatan yang dibutuhkan oleh sistem agar memenuhi standar parameter kinerja.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] S. Ariyanti, "Studi Perencanaan Jaringan Long Term Evolution Area Jabodetabek Studi Kasus PT . Telkomsel," *Bul. Pos dan Telekomun.*, vol. 12, no. 4, pp. 255–268, 2014.
- [2] A. P. J. I. Indonesia, "Penetrasi dan Perilaku Pengguna Internet Indonesia," Indonesia, 2016.
- [3] Rizky Maulana Arpan, "Pengaruh EDFA Pada Sistem 160 G TWDM-PON Berbasis NG-PON2," vol. 4, no. 3, pp. 3798–3813, 2017.
- [4] Amonics, *Erbium-Doped Fiber Amplifier Education Kit Manual*. 2004.
- [5] D. Malik, K. Pahwa, and A. Wason, "Performance Optimization of SOA, EDFA, Raman and Hybrid Optical Amplifiers in WDM Network with Reduced Channel Spacing of 50 GHz," *Opt. - Int. J. Light Electron Opt.*, vol. 127, no. 23, pp. 11131–11137, 2016.
- [6] M. M. Ismail, M. A. Othman, Z. Zakaria, M. H. Misran, M. A. Meor Said, H. A. Sulaiman, M. N. Shah Zainudin, and M. A. Mutalib, "EDFA-WDM Optical Network Design System," *Procedia Eng.*, vol. 53, pp. 294–302, 2013.
- [7] R. A. I. Asyari, "Perancangan Jaringan Optik Untuk Distribusi 4G Long Term Evolution Di Kabupaten Sleman," Universitas Islam Indonesia, 2016.
- [8] G. Keiser, *Optical Amplifiers*. The McGraw-Hill Companies, 2004.
- [9] Sunarto, "Pengenalan Optical Amplifier Di Dalam Sistem Komunikasi Optik," vol. 4, pp. 17–24, 2005.
- [10] Y. M. Leza, "Analisis Perencanaan Sistem Transmisi Serat Optik DWDM PT. Telkom Indonesia,Tbk Link Jakarta-Banten," Universitas Indonesia, 2011.
- [11] ITU-T, "40-Gigabit-capable passive optical networks 2 (NG-PON2): Physical media dependent (PMD) layer specification," 2014.
- [12] ITU-T, "40-Gigabit-capable passive optical networks 2 (NG-PON2): Physical media dependent (PMD) layer specification Amendments 1," 2016.
- [13] 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 Simulative And Analisis EDFA Effect Of 80 G TWDM-PON System Based," vol. 4, no. 2, pp. 1780–1787, 2017.

Menyetujui

Pembimbing

Tito Yuwono, S.T., M.Sc.
NIK: 005240102