

**PERANCANGAN JARINGAN *BACKBONE* FIBER OPTIK  
MENGUNAKAN EDFA (*ERBIUM DOPED FIBER AMPLIFIER*)  
DI KABUPATEN SLEMAN**

**SKRIPSI**

untuk memenuhi salah satu persyaratan  
mencapai derajat Sarjana S1



**Disusun oleh:**

**Hasbian Ikbal Reza HS**

**NIM: 14524059**

**Jurusan Teknik Elektro  
Fakultas Teknologi Industri  
Universitas Islam Indonesia  
Yogyakarta**

**2018**

**LEMBAR PENGESAHAN**

**PERANCANGAN JARINGAN *BACKBONE* FIBER OPTIK**

**MENGGUNAKAN EDFA (*ERBIUM DOPED FIBER AMPLIFIER*)**

**DI KABUPATEN SLEMAN**



Yogyakarta, 8 Maret 2018

**Menyetujui**

**Pembimbing**

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

**LEMBAR PENGESAHAN PENGUJI**

**PERANCANGAN JARINGAN *BACKBONE* FIBER OPTIK**

**MENGGUNAKAN EDFA (*ERBIUM DOPED FIBER AMPLIFIER*)**

**DI KABUPATEN SLEMAN**



**SKRIPSI**

**ISLAM**

Telah dipertahankan di depan Dewan Penguji

Pada Tanggal: 27 April 2018

Susunan Dewan Penguji

Penguji 1: Dzata Farahiyah, S.T., M.Sc.

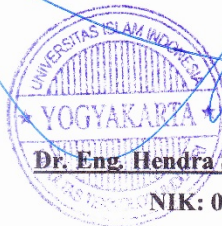
Penguji 2: Ida Nurcahyani, S.T., M.Eng.

Penguji 3: Tito Yuwono, S.T., M.Sc.

**Skripsi ini telah diterima sebagai salah satu persyaratan  
untuk memperoleh gelar Sarjana**

**Tanggal: 27 April 2018**

**Ketua Program Studi Teknik Elektro**



**Dr. Eng. Hendra Setiawan, S.T., M.T.**

**NIK: 025200526**

## LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN

Dengan ini Saya menyatakan bahwa:

1. Skripsi ini tidak mengandung karya yang diajukan untuk memperoleh gelar kesarjanaan di suatu Perguruan Tinggi, dan sepanjang pengetahuan Saya juga tidak mengandung karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis diacu dalam naskah ini dan disebutkan dalam daftar pustaka.
2. Informasi dan materi Skripsi yang terkait hak milik, hak intelektual, dan paten merupakan milik bersama antara tiga pihak yaitu penulis, dosen pembimbing, dan Universitas Islam Indonesia. Dalam hal penggunaan informasi dan materi Skripsi terkait paten maka akan diskusikan lebih lanjut untuk mendapatkan persetujuan dari ketiga pihak tersebut diatas.

Yogyakarta, 5 Maret 2018



Hasbian Ikbal Reza HS

## **HALAMAN PERSEMBAHAN**

*Alhamdulillahirobbilalamin, Puji dan Syukur saya kepada Allah SWT yang Maha Rahman dan Rahim yang selalu memberikan pertolongan dan kemudahan kepada saya dalam menyelesaikan Skripsi ini, dan tak lupa pula Shalawat beserta Salam selalu tercurah kepada Nabi Muhammad SAW dan pada sahabat yang mulia.*

*Atas izin Allah SWT, Skripsi ini saya persembahkan kepada:*

*Bapak dan Ibu yang tercinta M. Hasyim, S.Pd. dan Siti Hadijah, S.Pd.*

*Kakak dan Adik saya Herlina Novita Hasyim, S.K.M., M.K.K.K. dan Annisa*

*Tri Rahayu Ningsih*

*Dan semua orang yang selalu mendukung dan memotivasi saya untuk menyelesaikan Skripsi ini.*

*Untuk Agama, Bangsa, Negara, Keluarga, Guru, serta Ilmu Pengetahuan.*

## HALAMAN MOTTO

Karena sesungguhnya sesudah kesulitan ada kemudahan

Sesungguhnya sesudah kesulitan ada kemudahan ...

Maka apabila kamu telah selesai (dari suatu urusan), kerjakanlah dengan sungguh-sungguh (urusan) yang lain ...

(QS. Al-Insyirah : 5-7)

Dan Dia mendapatimu sebagai seorang yang bingung lalu Dia memberikan petunjuk

(QS. Ad-Duha : 7)

... dan dijadikan-Nya kamu kuat dengan pertolongan-Nya dan diberi-Nya kamu rezeki dari yang baik-baik

(QS. Al-Anfal : 26)

Barang siapa yang menempuh suatu jalan untuk menuntut ilmu, Allah akan memudahkan baginya jalan ke Surga

(HR. Muslim)

... sesungguhnya malaikat membentangkan sayapnya bagi orang yang mencari ilmu, karena senang terhadap apa yang dicarinya ...

(HR. Tirmidzi)

## KATA PENGANTAR



*Assalamu'alaykum Warahmatullahi Wabarakatuh.*

Alhamdulillahirabbil'alamin, puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT yang Maha Pengasih dan Maha Penyayang, yang telah memberikan rahmat serta karunia-NYA sehingga Skripsi yang berjudul: **“PERANCANGAN JARINGAN *BACKBONE* FIBER OPTIK MENGGUNAKAN EDFA (*ERBIUM DOPED FIBER AMPLIFIER*) DI KABUPATEN SLEMAN”** ini dapat diselesaikan dengan baik dan lancar. Tak lupa pula Shalawat dan Salam tercurahkan kepada Rasulullah Muhammad SAW. Yang menjadi teladan bagi kita.

Penelitian ini melakukan perancangan jaringan fiber optik di wilayah Kabupaten, Sleman, Yogyakarta. Tujuan penulisan laporan skripsi ini sebagai salah satu syarat kelulusan pada Pendidikan Strata Satu (S1) Fakultas Teknologi Industri Jurusan Teknik Elektro Universitas Islam Indonesia selain itu agar dapat bermanfaat bagi para pembaca.

Dalam penulisan laporan skripsi ini penulis mendapatkan bantuan dari berbagai pihak untuk itu penulis mengucapkan banyak terima kasih atas bantuan dan dukungannya. Penulis mengucapkan terima kasih antara lain kepada:

1. Kedua orang tua penulis atas semua dukungan, semangat, serta doa yang telah mereka berikan.
2. Bapak Dr. Eng. Hendra Setiawan, S.T., M.T. selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Indonesia.
3. Bapak Tito Yuwono, S.T., M.Sc. selaku Dosen Pembimbing Skripsi yang telah mendampingi dan memberikan berbagai masukan dalam penulisan laporan ini.
4. Segenap Dosen Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Indonesia yang telah membimbing dan memberikan ilmunya selama penulis duduk di bangku kuliah.
5. Kakak dan Adik penulis yang selalu memberikan semangat untuk mengerjakan Skripsi ini.
6. Bang Rei, Bang Tio, Bang Jodis, Bang Aulio, Mba Farah, Bang Rian, dan Hanif yang menjadi teman diskusi dalam penyelesaian Skripsi ini.

7. Personil ABD. Corp Hanif, Dicky, Avgan, Faiz, Fathullah, dan Hardi yang juga memberikan semangat, dukungan, dan sentilan dalam pengerjaan Skripsi ini. Semoga kalian juga segera menyusul dan sukses.
8. Teman-teman seperjuangan di Konsentrasi Telekomunikasi yang telah banyak memberikan semangat, motivasi dan membantu saya dalam mengerjakan Skripsi ini.
9. Teman – teman Teknik Elektro UII pada umumnya dan khususnya angkatan 2014 atas doa dan dukungannya.
10. Teman-teman KKN Unit 172 Aan, Atika, Elsa, Gandes, Herman, Nita, Mba Natasha, dan Rizal terima kasih ilmu, pengalaman, kerja sama, dll selama melaksanakan KKN di Loano semoga kalian sukses kedepannya.
11. Teman-teman Kost Al Mukmin yang memberikan semangat dan motivasi dalam mengerjakan Skripsi ini.
12. Pihak – pihak lain yang tidak dapat disebutkan satu persatu, baik secara langsung maupun tidak langsung telah membantu penulis dalam penyelesaian laporan ini yang telah membantu dalam penyelesaian Skripsi ini.

Dalam penulisan laporan ini penulis menyadari masih terdapat kekurangan untuk itu penulis memohon maaf dikarenakan keterbatasan yang dimiliki penulis baik dalam segi pengalaman maupun segi pengetahuan, sehingga penulisan laporan skripsi ini masih jauh dari kata sempurna. Semoga skripsi ini bisa bermanfaat bagi pembaca dan penggunanya.

***Wassalamu'alaykum Warahmatullahi Wabarakatuh.***

**Yogyakarta, 5 Maret 2018**

**Hasbian Ikbal Reza HS**



## ARTI LAMBANG DAN SINGKATAN

|  |   |
|--|---|
| ITU-T = <i>International Telecommunication Union</i> | ODN = <i>Optical Distribution Network</i>     |
| TDM = <i>Time Division Multiplexing</i>              | ODC = <i>Optical Distribution Cabinet</i>     |
| WDM = <i>Wavelength Division Multiplexing</i>        | ODP = <i>Optical Distribution Point</i>       |
| FDM = <i>Frequency Division Multiplexing</i>         | ONU = <i>Optical Network Unit</i>             |
| TWDM = <i>Time Wavelength Division Multiplexing</i>  | BER = <i>Bit Error Rate</i>                   |
| RX = <i>Receiver</i>                                 | OSNR = <i>Optical Signal to Noise Ratio</i>   |
| TX = <i>Transmitter</i>                              | DCM = <i>Dispersion Compensator Module</i>    |
| PON = <i>Passive Optical Network</i>                 | NRZ = <i>Non Return Zero</i>                  |
| EDFA = <i>Erbium Doped Fiber Amplifier</i>           | RZ = <i>Return Zero</i>                       |
| SDH = <i>Synchronous Digital Hierarchy</i>           | WSC = <i>Wavelength-Selective Coupler</i>     |
| STM-N = <i>Synchronous Transport Module N Level</i>  | DFB = <i>Distributed Feedback Laser</i>       |
| OLT = <i>Optical Line Termination</i>                | GPON = <i>Gigabit Passive Optical Network</i> |
| OA = <i>Optical Amplifier</i>                        |   |

## ABSTRAK

EDFA (*Erbium Doped Fiber Amplifier*) adalah sebuah *amplifier* dimana bahan EDFA terdiri dari bahan gelas seperti Er, SiO, maupun GeO. 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*

# DAFTAR ISI

|  |     |
|--|-----|
| LEMBAR PENGESAHAN.....                                   | ii  |
| LEMBAR PENGESAHAN PENGUJI .....                          | iii |
| LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN .....                         | iv  |
| HALAMAN PERSEMBAHAN.....                                 | v   |
| HALAMAN MOTTO .....                                      | vi  |
| KATA PENGANTAR.....                                      | vii |
| ARTI LAMBANG DAN SINGKATAN .....                         | ix  |
| ABSTRAK .....  | x   |
| DAFTAR ISI.....  | xi  |
| DAFTAR GAMBAR .....                                      | xiv |
| DAFTAR TABEL .....                                       | xv  |
| BAB 1 PENDAHULUAN .....                                  | 1   |
| 1.1 Latar Belakang Masalah .....                         | 1   |
| 1.2 Rumusan Masalah.....                                 | 1   |
| 1.3 Batasan Masalah .....                                | 2   |
| 1.4 Tujuan Penelitian .....                              | 2   |
| 1.5 Manfaat Penelitian .....                             | 2   |
| BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA .....                             | 3   |
| 2.1 Studi Literatur .....                                | 3   |
| 2.2 Tinjauan Teori.....                                  | 4   |
| 2.2.1 Sistem Komunikasi Fiber Optik .....                | 5   |
| 2.2.2 Jenis Topologi.....                                | 6   |
| 2.2.3 SDH ( <i>Synchoronous Digital Hierarcy</i> ) ..... | 6   |
| 2.2.4 TWDM-PON .....                                     | 7   |
| 2.2.5 Penguat Optik .....                                | 7   |
| 2.2.6 EDFA ( <i>Erbium Doped Fiber Amplifier</i> ).....  | 8   |

|  |           |
|--|-----------|
| 2.3 Parameter Perencanaan .....                                      | 11        |
| 2.3.1 Pehitungan Jarak Transmisi .....                               | 11        |
| 2.3.2 Perhitungan <i>Rise Time Budget</i> .....                      | 12        |
| 2.3.3 Perhitungan Jumlah <i>Splice</i> dan Konektor .....            | 13        |
| 2.4 Parameter <i>Amplifier</i> .....                                 | 13        |
| 2.4.1 Perhitungan <i>Gain</i> .....                                  | 13        |
| 2.4.2 Perhitungan <i>Power Received</i> .....                        | 14        |
| 2.4.3 Perhitungan <i>Q Factor</i> .....                              | 14        |
| 2.4.4 Perhitungan BER ( <i>Bit Error Rate</i> ) .....                | 15        |
| 2.4.5 Perhitungan OSNR ( <i>Optical Signal to Noise Ratio</i> )..... | 15        |
| <b>BAB 3 METODOLOGI</b> .....  | <b>16</b> |
| 3.1 Metode Penelitian .....  | 16        |
| 3.2 Parameter Perencanaan .....                                      | 16        |
| 3.2.1 Topologi Jaringan .....  | 17        |
| 3.2.2 Penentuan Sumber Optik dan Detektor Optik .....                | 17        |
| 3.2.3 Penentuan Jenis dan Panjang Gelombang .....                    | 18        |
| 3.2.4 Penentuan Rute dan Distribusi Jaringan Fiber Optik .....       | 18        |
| 3.2.5 Parameter Jarak Transmisi.....                                 | 19        |
| 3.2.6 Perhitungan <i>Rise Time Budget</i> .....                      | 20        |
| 3.2.7 Perhitungan Jumlah <i>Splice</i> dan Konektor .....            | 20        |
| 3.3 Parameter <i>Amplifier</i> .....                                 | 21        |
| 3.3.1 Parameter <i>Gain</i> .....                                    | 21        |
| 3.3.2 Parameter <i>Power Received</i> .....                          | 21        |
| 3.3.3 Perhitungan <i>Q Factor</i> .....                              | 22        |
| 3.3.4 Perhitungan BER ( <i>Bit Error Rate</i> ) .....                | 23        |
| 3.3.5 Perhitungan OSNR ( <i>Optical Signal to Noise Ratio</i> )..... | 23        |
| <b>BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN</b> .....                              | <b>24</b> |
| 4.1 Hasil Perhitungan Parameter Perencanaan .....                    | 24        |

|  |           |
|--|-----------|
| 4.1.1 Hasil Perhitungan Jarak Transmisi .....              | 24        |
| 4.1.2 Hasil Perhitungan <i>Rise Time Budget</i> .....      | 24        |
| 4.1.3 Perhitungan Jumlah <i>Splice</i> dan Konektor .....  | 25        |
| 4.2 Hasil Perhitungan Parameter <i>Amplifier</i> .....     | 25        |
| 4.2.1 Hasil Perhitungan Tanpa <i>Amplifier</i> .....       | 25        |
| 4.2.2 Hasil Perhitungan Menggunakan <i>Amplifier</i> ..... | 26        |
| <b>BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN</b> .....                    | <b>28</b> |
| 5.1 Kesimpulan .....                                       | 28        |
| 5.2 Saran .....  | 28        |
| <b>DAFTAR PUSTAKA</b> .....                                | <b>29</b> |
| <b>LAMPIRAN</b> .....                                      | <b>30</b> |

## DAFTAR GAMBAR

|  |    |
|--|----|
| Gambar 2.1 Skema WDM .....   | 7  |
| Gambar 2.2 <i>Booster Amplifier</i> .....                                      | 8  |
| Gambar 2.3 <i>In-Line Amplifier</i> .....                                      | 8  |
| Gambar 2.4 <i>Pre-Amplifier</i> .....  | 8  |
| Gambar 2.5 <i>Pump Laser 980 nm</i> .....                                      | 9  |
| Gambar 2.6 <i>The 980 nm WDM</i> .....   | 9  |
| Gambar 2.7 <i>EDFA Module</i> .....  | 9  |
| Gambar 2.8 <i>Isolator Module</i> .....  | 9  |
| Gambar 2.9 <i>FC/APC Adapters</i> .....  | 9  |
| Gambar 2.10 <i>DFB Laser</i> .....   | 9  |
| Gambar 2.11 <i>Optical Filter</i> .....  | 9  |
| Gambar 2.12 <i>Diagram Level Energi Erbium</i> .....                           | 10 |
| Gambar 2.13 <i>Diagram Konfigurasi EDFA</i> .....                              | 10 |
| Gambar 2.14 <i>Codirectional Pumping</i> .....                                 | 11 |
| Gambar 2.15 <i>Counterdirectional Pumping</i> .....                            | 11 |
| Gambar 2.16 <i>Dual Pumping</i> .....  | 11 |
| Gambar 3.1 <i>Diagram Alir Analisa Pengaruh EDFA di Kabupaten Sleman</i> ..... | 16 |
| Gambar 3.2 <i>Ilustrasi Topologi Ring</i> .....                                | 17 |
| Gambar 3.3 <i>Konfigurasi Perangkat STM-64</i> .....                           | 18 |
| Gambar 3.4 <i>Rute Backbone dan Distribusi Kab. Sleman</i> .....               | 19 |

## DAFTAR TABEL

|   |    |
|---|----|
| Tabel 3.1 Target Perancangan .....  | 16 |
| Tabel 4.1 Hasil Perhitungan Jarak Transmisi.....                          | 24 |
| Tabel 4.2 Hasil Perhitungan <i>Rise Time Budget</i> .....                 | 24 |
| Tabel 4.3 Hasil Perhitungan Jumlah <i>Splice</i> dan Konektor.....        | 25 |
| Tabel 4.4 Hasil Perhitungan tanpa EDFA.....                               | 25 |
| Tabel 4.5 Hasil Perhitungan dengan EDFA Transmisi <i>Downstream</i> ..... | 26 |
| Tabel 4.6 Hasil Perhitungan dengan EDFA Transmisi <i>Upstream</i> .....   | 26 |

# BAB 1

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang Masalah

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 dibandingkan 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 ( $\text{Er}^{3+}$ ) 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].

### 1.2 Rumusan Masalah

1. Bagaimana penentuan jumlah dan penempatan EDFA (*Erbium Doped Fiber Amplifier*) dalam suatu jaringan fiber optik ?
2. Bagaimana menganalisis *power* yang sampai ke *receiver* ?
3. Bagaimana menganalisis sebuah jaringan optik dengan menggunakan EDFA (*Erbium Doped Fiber Amplifier*) untuk memenuhi kebutuhan dalam suatu jaringan ?



### **1.3 Batasan Masalah**

Batasan masalah dalam penelitian ini meliputi:

1. Penelitian ini hanya membahas analisa pengaruh EDFA (*Erbium Doped Fiber Amplifier*) di Kabupaten Sleman.
2. Tidak membahas penggunaan secara detail perangkat dan merek dalam perancangan jaringan fiber optik dengan EDFA (*Erbium Doped Fiber Amplifier*).
3. Pembahasan mencakup jumlah penempatan dan parameter perancangan yang sesuai dari EDFA (*Erbium Doped Fiber Amplifier*) untuk jaringan fiber optik.

### **1.4 Tujuan Penelitian**

1. Mengetahui jumlah dan penempatan EDFA (*Erbium Doped Fiber Amplifier*) untuk jaringan fiber optik di Kabupaten Sleman.
2. Menganalisis *power* yang sampai ke *receiver* di Kabupaten Sleman dengan menggunakan EDFA (*Erbium Doped Fiber Amplifier*).
3. Menganalisis dan memahami penggunaan EDFA (*Erbium Doped Fiber Amplifier*) dalam memenuhi kebutuhan di Kabupaten Sleman.

### **1.5 Manfaat Penelitian**

Manfaat dari penelitian ini adalah:

1. Menjadi acuan dalam melakukan pengembangan penelitian dibidang penguat jaringan fiber optik EDFA (*Erbium Doped Fiber Amplifier*).
2. Dapat menganalisis dengan jelas penggunaan EDFA (*Erbium Doped Fiber Amplifier*) dalam implementasi jaringan fiber optik.

## BAB 2

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Studi Literatur

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 [3] 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 [5] 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].

M.M. Ismail, M.A.Othmana, Z. Zakaria, M.H. Misrana, M.A. Meor Said, H.A. Sulaiman, M.N. Shah Zainudin, dan M.A. Mutaliba [6] meneliti tentang EDFA-WDM *Optical Network Design System*, Penelitian ini membahas mengenai desain sistem jaringan fiber optik dengan menggunakan jenis *amplifier* EDFA dengan sistem jaringan WDM. Langkah pertama yakni melakukan analisa desain dan sistem yang akan terimplementasikan, pada penelitian ini menggunakan sistem WDM (*Wavelength Division Multiplexing*) dengan menggunakan penguat EDFA (*Erbium Doped Fiber Amplifier*) menggunakan metode simulasi dan dapat merancang jaringan yang optimal serta efisien sebelum melakukan penerapan.

Langkah selanjutnya pengoptimalan EDFA untuk desain jaringan optik sistem WDM terdiri dari *transmitter* WDM, yang memiliki 16 masukan sinyal, multiplekser ideal, dua isolator ideal, pompa laser EDF (*Erbium Doped Fiber*), demultiplekser, PIN *photodetector*, *Low Pass Filter Bessel*, dan 3R generator. Rancangan sistem diharapkan dapat meningkatkan *gain* hingga 30 dB serta daya keluaran lebih dari 5 dBm dan kurang dari 25 dBm, dan menggunakan metode simulasi dengan *software Optisystem*. Hasil dari simulasi menunjukkan BER memiliki rasio minimum 10-14 dan rasio maksimum 10-20, sedangkan *pump power* menghasilkan 288,603 mW atau 24,6 dBm, dan *noise figure* rata-rata 7,544 dB untuk 150mW, serta 6,757 dB untuk 500mW dengan menggunakan panjang serat EDFA 8 meter [6].

Penelitian lainnya mengenai Perancangan Jaringan Optik Untuk Distribusi 4G *Long Term Evolution* Di Kabupaten Sleman oleh Rifa Atul Izza Asyari [7] membahas mengenai perancangan jaringan fiber optik dengan jalur *backbone* untuk distribusi 4G LTE. Kemudian melakukan simulasi untuk distribusi 4G LTE dengan *Optisystem 10.0*. Perancangan *link* distribusi untuk jaringan distribusi 4G LTE di Sleman, menggunakan teknologi GPON (*Gigabit Passive Optical Network*) dan kabel optik tipe G.984 sepanjang 61,35 km. Hasilnya nilai *power* yang sampai pada *end-point* (ONU) -25,010 dBm pada simulasi *optisystem* dan -26,626 dBm melalui hasil perhitungan *real*, nilai tersebut masih bagus sesuai dengan nilai minimum *power receiver sensitivity* -28 dBm yang mengacu pada standar parameter ITU-T G.984.2 untuk *link* distribusi GPON [7].

## 2.2 Tinjauan Teori

Pada bagian ini membahas teori-teori yang berkaitan dengan penelitian seperti sistem komunikasi fiber optik, topologi, jenis SDH (*Synchronous Digital Hierarchy*), sistem transmisi, jenis penempatan penguat, dan EDFA. Untuk lebih jelas dapat dilihat pada subbab 2.2.1-2.2.6:

## 2.2.1 Sistem Komunikasi Fiber Optik

Suatu sistem komunikasi fiber optik biasanya terdiri dari sebuah *transmitter*, sebuah *receiver*, dan sebuah *information channel*. Pada bagian *Information channel* dapat terbagi 2 yaitu *Unguided channel* dan *Guided channel*. *Unguided channel*, yaitu sistem yang menggunakan *atmospheric channel* seperti radio, televisi dan *microwave relay links*. *Guided channel*, yaitu sistem yang terdapat variasi struktur transmisi seperti *two-wire line*, *coaxial cable*, *twisted-pair*, dan *fiber optic cable*. Sedangkan untuk sistem komunikasi *fiber optic* sendiri sedikit berbeda dengan sistem komunikasi pada umumnya, karena informasi yang dikirimkan dalam bentuk cahaya sehingga diperlukan proses pengubahan informasi menjadi cahaya melalui media transmisi kawat konvensional.

Serat optik menggunakan media transmisi sinyal digital. Pemilihan serat optik memiliki pilihan antara *single-mode* atau *multi-mode* dan *step index* atau *graded index*. Pemilihan ini tergantung jenis sumber cahaya dan besarnya dispersi maksimum yang diizinkan. Untuk sumber cahaya LED (*Light Emitting Diode*), biasanya menggunakan serat *multi-mode*, meskipun LED jenis *edge emitting* bisa menggunakan serat *single-mode* dengan laju sampai 560 Mbps sepanjang beberapa kilometer. Untuk Laser dioda, bisa menggunakan *single-mode* atau *multimode*. Serat *single-mode* mampu menyediakan produk laju data dengan sangat bagus (mampu mencapai 30 Gbps/km) [7].

Berikut adalah beberapa macam komponen fiber optik:

- *Optical Transmitter*

*Optical Transmitter* merupakan komponen yang bertugas untuk mengirimkan sinyal-sinyal cahaya ke dalam media pembawanya. Di dalam komponen ini terjadi proses mengubah sinyal-sinyal elektronik analog maupun digital menjadi sebuah bentuk sinyal-sinyal cahaya. Menggunakan sumber cahaya *Light Emitting Diode* (LED) atau *Solid State Laser Diode*.

- *Fiber Optic Cable*

Komponen inilah yang merupakan pemeran utama dalam sistem ini. Kabel fiber optik biasanya terdiri dari satu atau lebih serat fiber yang akan bertugas untuk memandu cahaya-cahaya dari lokasi awal hingga sampai ke tujuan.

- *Optical Receiver*

*Optical Receiver* yaitu komponen yang berfungsi menangkap semua cahaya yang dikirimkan oleh *optical transmitter*. Setelah cahaya ditangkap dari media fiber optik, maka sinyal ini akan di *decode* menjadi sinyal-sinyal digital yang tidak lain adalah informasi yang dikirimkan. Biasanya *optical receiver* ini adalah berupa sensor cahaya seperti *photocell* atau *photodiode* yang sangat peka dan sensitif terhadap perubahan cahaya.

- *Optical Repeater*

*Optical Repeater* atau dalam bahasa Indonesia penguat sinyal cahaya, sebenarnya merupakan komponen yang tidak perlu ada ketika menggunakan media fiber optik dalam jarak dekat. Sinyal cahaya yang dikirimkan baru akan mengalami degradasi dalam jarak kurang lebih 1 km [7].

### 2.2.2 Jenis Topologi

Topologi merupakan struktur jaringan fisik yang menghubungkan beberapa perangkat yang saling terkoneksi, terbagi menjadi beberapa macam topologi:

a. Topologi *Bus*

Topologi *Bus* adalah topologi yang pertama kali dan memiliki fungsi menghubungkan komputer satu dengan lainnya, dalam topologi ini tiap komputer akan terhubung dalam satu kabel panjang dengan beberapa terminal, dan berakhir dengan satu terminator.

b. Topologi *Ring*

Topologi *Ring* adalah topologi yang biasanya berfungsi dalam jaringan yang memiliki kinerja tinggi, jaringan yang membutuhkan *bandwidth* untuk fitur yang *time-sensitive* seperti video dan audio, atau ketika kinerja yang dibutuhkan saat komputer yang terhubung ke jaringan dalam jumlah yang banyak.

c. Topologi *Star*

Topologi *Star* adalah salah satu bentuk topologi jaringan yang biasanya menggunakan *switch/hub* untuk menghubungkan *client* satu dengan *client* yang lain.

d. Topologi *Mesh*

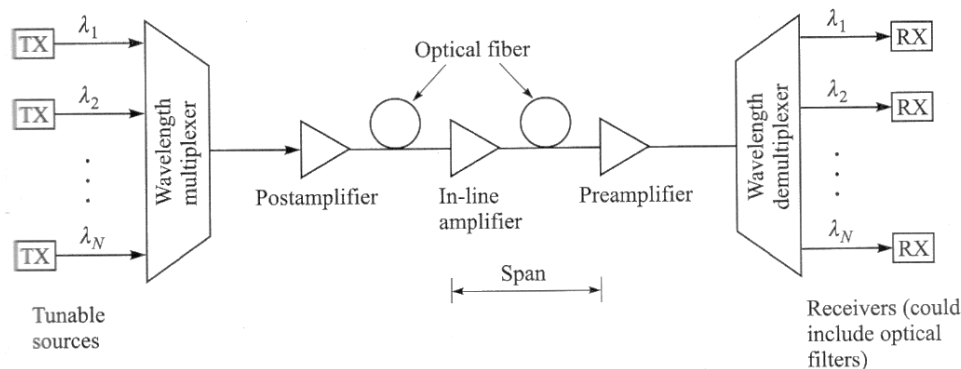
Topologi *Mesh* adalah topologi gabungan antara topologi *star* dan topologi *ring*, topologi ini memiliki tingkat restorasi dengan berbagai alternatif rute yang biasanya disediakan dengan dukungan perangkat lunak.

### 2.2.3 SDH (*Synchronous Digital Hierarchy*)

SDH (*Synchronous Digital Hierarchy*) dalam rekomendasi ITU-T G.707, adalah suatu teknologi yang mempunyai struktur *transport* secara hierarki dan disediakan untuk mengangkut informasi dengan pengaturan yang tepat dalam sebuah jaringan transmisi. Dalam ITU-T G.707, 708, 709 ditetapkan *bit rate* dasar sistem SDH yaitu 155,52 Mbps. Kecepatan bit untuk tingkatan multipleks yang lebih tinggi merupakan kelipatan kecepatan dasar yaitu  $155,52 \text{ Mbps} \times N$  yang memiliki definisi sebagai kecepatan transmisi STM-N (*Synchronous Transfer Mode-N*).

## 2.2.4 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 2.1.



Gambar 2.1 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].

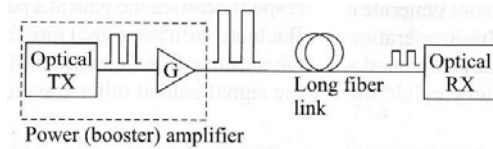
## 2.2.5 Penguat Optik

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*

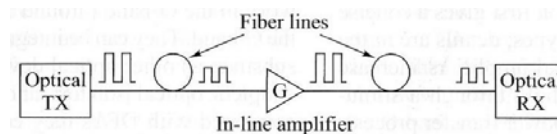
*Booster Amplifier* adalah penguat yang penempatan posisi setelah komponen *transmitter*, berfungsi untuk menambah level daya yang akan dikirimkan sehingga memungkinkan keberlanjutan sinyal hingga akhirnya sampai ke penerima. *Booster Amplifier* berfungsi untuk meningkatkan daya transmisi untuk jarak 10-100 km tergantung dari *gain amplifier* dan *fiber loss*. Skema *Booster Amplifier* dapat dilihat pada Gambar 2.2.



Gambar 2.2 *Booster Amplifier* [3]

b. *In-Line Amplifier*

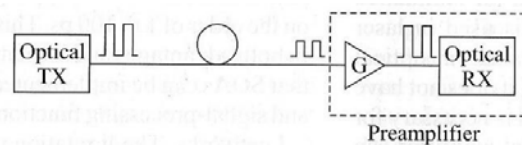
*In-Line Amplifier* adalah penguat yang penempatan posisi dengan jarak tertentu diantara pengirim dan penerima, yang berfungsi untuk menambah *range* jarak transmisi dan menggantikan fungsi *repeater* untuk meregenerasi sinyal. Skema *In-Line Amplifier* dapat dilihat pada Gambar 2.3.



Gambar 2.3 *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 2.4.



Gambar 2.4 *Pre-Amplifier* [3]

## 2.2.6 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].



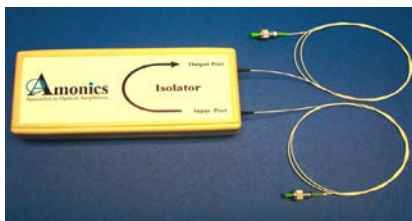
Gambar 2.5 Pump Laser 980 nm [4]



Gambar 2.6 The 980 nm WDM [4]



Gambar 2.7 EDFA Module [4]



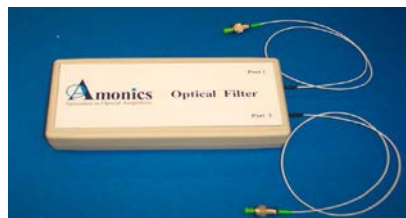
Gambar 2.8 Isolator Module [4]



Gambar 2.9 FC/APC Adapters [4]



Gambar 2.10 DFB Laser [4]



Gambar 2.11 Optical Filter [4]

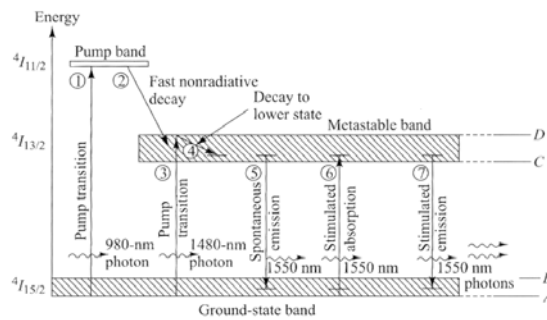
- Mekanisme Penguatan pada EDFA

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



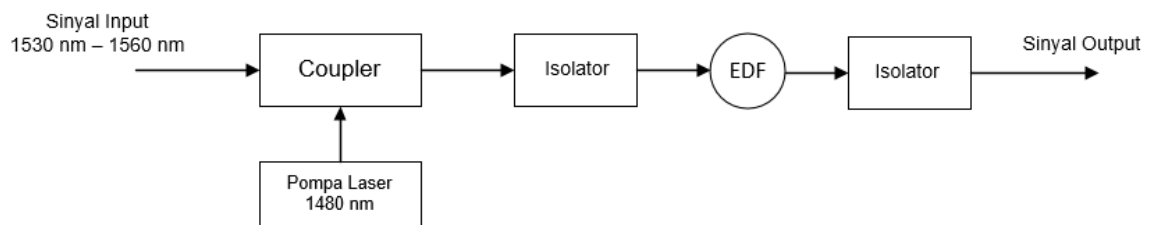
yang lebih tinggi daripada sinyal foton, panjang gelombang yang terpompa lebih pendek dari panjang gelombang sinyal [8]. Skema penguatan EDFA dapat dilihat pada Gambar 2.12.



Gambar 2.12 Diagram Level Energi *Erbium* [3]

- Konfigurasi EDFA

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 2.13.

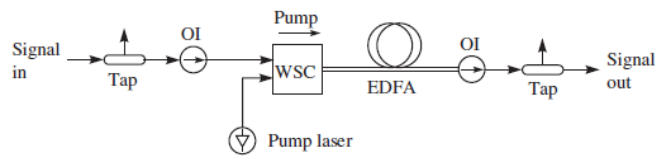


Gambar 2.13 Diagram Konfigurasi EDFA [3]

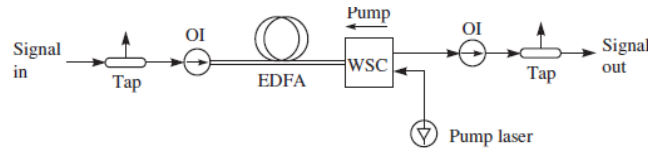
- Sistem Komunikasi pada EDFA

EDFA tergolong jenis *Optical Amplifier* yang dapat bekerja *bidirectional* dan cukup linear untuk operasi *multi wavelength* seperti pada sistem WDM (*Wavelength Division Multiplexing*). Cahaya pompa biasanya mengalami proses injeksi ke fiber dalam arah yang sama dengan arah sinyal, cara ini dikenal dengan *codirectional pumping* dan ditunjukkan oleh Gambar 2.14. Bila arah cahaya *pumping* berlawanan dengan arah sinyal seperti dalam Gambar 2.15, maka disebut *counterdirectional pumping*. Bila menggunakan gabungan dari *codirectional pumping* dan *counterdirectional pumping* dikenal dengan *dual pumping*, ditunjukkan oleh Gambar 2.16. *Dual pumping* memiliki *gain* resultan yang lebih besar diantara ketiga sistem tersebut. *Codirectional pumping* memiliki *noise performance* yang baik namun memiliki *gain* yang paling kecil.

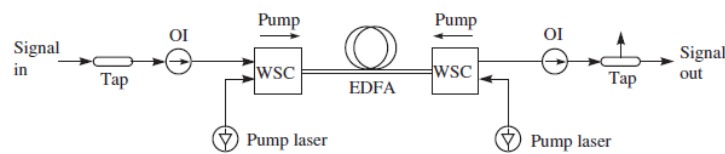
Disamping itu *pumping* dengan 980 nm lebih baik berbanding dengan *pumping* 1480 nm karena *noise* yang lebih kecil dan dapat mencapai populasi inversi yang lebih besar [9].



Gambar 2.14 *Codirectional Pumping* [8]



Gambar 2.15 *Counterdirectional Pumping* [8]



Gambar 2.16 *Dual Pumping* [8]

## 2.3 Parameter Perencanaan

Pada bagian ini membahas persamaan untuk menghitung parameter perencanaan yang terdiri dari perhitungan jarak transmisi, *rise time budget*, dan jumlah *splice* dan konektor. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada subbab 2.3.1-2.3.3:

### 2.3.1 Pehitungan Jarak Transmisi

Bagian ini melakukan perhitungan *link* distribusi fiber optik membutuhkan penguat atau tidak, selanjutnya menghitung jarak transmisi tanpa menggunakan *amplifier*, kemudian jumlah *amplifier* yang dibutuhkan untuk mencakup kebutuhan jaringan berdasarkan data jarak *link* distribusi, dengan persamaan sebagai berikut [10]:

- **Perhitungan Jarak Transmisi Maksimum Tanpa Amplifier**

$$L_{\text{sist}} = \frac{P_{\text{tx}} - P_{\text{rx}} - (ac \times Nc) - (as \times Ns) - Ms}{\alpha f} \quad (2.1)$$

- **Perhitungan Jarak Transmisi Maksimum dengan Amplifier**

- a. Daya Keluaran EDFA

$$P_{\text{out-amplifier}} = P_{\text{in-amplifier}} + G \quad (2.2)$$

- b. Daya Pancar Jaringan TWDM setelah menambahkan EDFA

$$P_{\text{tx}'} = P_{\text{out}} + P_{\text{tx}} \quad (2.3)$$

c. Jarak Transmisi Maksimum dengan 1 EDFA atau lebih

$$L_{\text{sist}} = \frac{Pt_{x'} - Pr_x - (\alpha_c \times N_c) - (\alpha_s \times N_s) - M_s}{\alpha f} \quad (2.4)$$

d. Jarak antar Penguat

$$P_{\text{in-1}} + G - \alpha_{\text{seg}} - M_s = P_{\text{in-2}} \quad (2.5)$$

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

$$L_{\text{seg}} = \frac{\alpha_{\text{segmen}} - (\alpha_c \times N_c) - (\alpha_s \times N_s) - M_s}{\alpha f} \quad (2.6)$$

Keterangan:

$P_t$  = Daya keluaran sumber optik (dBm)

$P_r$  = Daya yang diterima pada *device* (dBm)

$\alpha_T$  = *Total loss* (dB)

$L$  = Panjang serat optik (km)

$\alpha_c$  = Redaman konektor (dB)

$\alpha_s$  = Redaman sambungan (dB)

$\alpha_{\text{serat}}$  = Redaman serat optik (dB/Km)

$N_s$  = Jumlah sambungan

$N_c$  = Jumlah konektor

$S_p$  = Redaman *splitter* (dB)

### 2.3.2 Perhitungan *Rise Time Budget*

*Rise time budget* adalah metode untuk menentukan batasan dispersi suatu *link* serat optik. Memiliki tujuan yakni menganalisis unjuk kerja jaringan secara keseluruhan telah tercapai dan mampu memenuhi kapasitas kanal sesuai dengan keinginan. Secara umum degradasi total waktu transisi dari *link* digital tidak melebihi 70 persen dari satu periode bit NRZ (*Non-Return-to-Zero*) atau 35 persen dari satu periode bit untuk data RZ (*Return-to-Zero*). Memiliki kaitan dengan *bit rate* sistem, dan *rise time budget* dapat dirumuskan menggunakan persamaan berikut [7]:

$$t_{\text{sis}} \leq 0,7/\text{BR} \text{ untuk format pengkodean NRZ} \quad (2.7)$$

$$t_{\text{sis}} \leq 0,35/\text{BR} \text{ untuk format pengkodean RZ} \quad (2.8)$$

$$t_f = D \times \sigma_\lambda \times L \quad (2.9)$$

$$t_r = \sqrt{t_{tx}^2 + t_{rx}^2 + t_f^2} \quad (2.10)$$

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)  
 $\sigma_\lambda$  = Lebar spektral (nm)  
 $t_{sis}$  = *Rise time* sistem (ps)  
 $BR$  = *Bit Rate*

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

### 2.3.3 Perhitungan Jumlah *Splice* dan Konektor

Bagian ini melakukan perhitungan jumlah *splice* yang menghubungkan tiap *sublink* dan terminal dengan persamaan berikut [7]:

$$N_s = \frac{L_{link}}{L_{kabel}} + 2 \quad (2.11)$$

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].

## 2.4 Parameter *Amplifier*

Pada bagian ini membahas persamaan untuk menghitung parameter perencanaan yang terdiri dari perhitungan *gain*, *power received*, *Q Factor*, BER (*Bit Error Rate*), dan OSNR (*Optical Signal to Noise Ratio*). Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada subbab 2.4.1-2.4.5:

### 2.4.1 Perhitungan *Gain*

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

$$G \text{ min} \leq \left\{ \exp(\rho \sigma_e L); 1 + \frac{\lambda_p P_{p,in}}{\lambda_p P_{s,in}} \right\} \quad (2.12)$$

Keterangan:

- $\rho$  = Konsentrasi *erbium* dalam *fiber* ( $1e^{25} \text{ m}^{-3}$ )  
 $\sigma_e$  = *Cross-section emission* ( $3,5e^{-25} \text{ m}^2$ )  
 $L$  = Panjang serat EDFA (m)  
 $\lambda_p$  = Panjang gelombang pompa (nm)

- $\lambda_s$  = Panjang gelombang sinyal (nm)  
 $P_{p,in}$  = Daya *input* pompa (mW)  
 $P_{s,in}$  = Sinyal *input* (dBm)

### 2.4.2 Perhitungan *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]:

$$Power\ Received = P_{s,in} - \alpha_{total} \quad (2.13)$$

Keterangan :

- $P_{s,in}$  = Sinyal *input* (dBm)  
 $\alpha_{total}$  = *Attenuation* total sistem (dBm)

### 2.4.3 Perhitungan *Q Factor*

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

$$SNR = \frac{(PinRM)^2}{2qPinRM^2F(M)Be + \frac{4KBTe}{RL}} \quad (2.14)$$

$$Q = \frac{10^{\frac{SNR}{20}}}{2} \quad (2.15)$$

Keterangan:

- $P_{in}$  = Daya yang diterima APD (*watt*)  
 $R$  = *Responsitivity* (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)

#### 2.4.4 Perhitungan 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 detik, melalui persamaan berikut [3]:

$$\text{BER} = \frac{1}{Q\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{Q^2}{2}} \quad (2.16)$$

Keterangan:

$$Q = Q \text{ Factor}$$

#### 2.4.5 Perhitungan OSNR (*Optical Signal to Noise Ratio*)

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

$$\text{OSNR} = \frac{1}{2} Q(Q + \sqrt{2}) \quad (2.17)$$

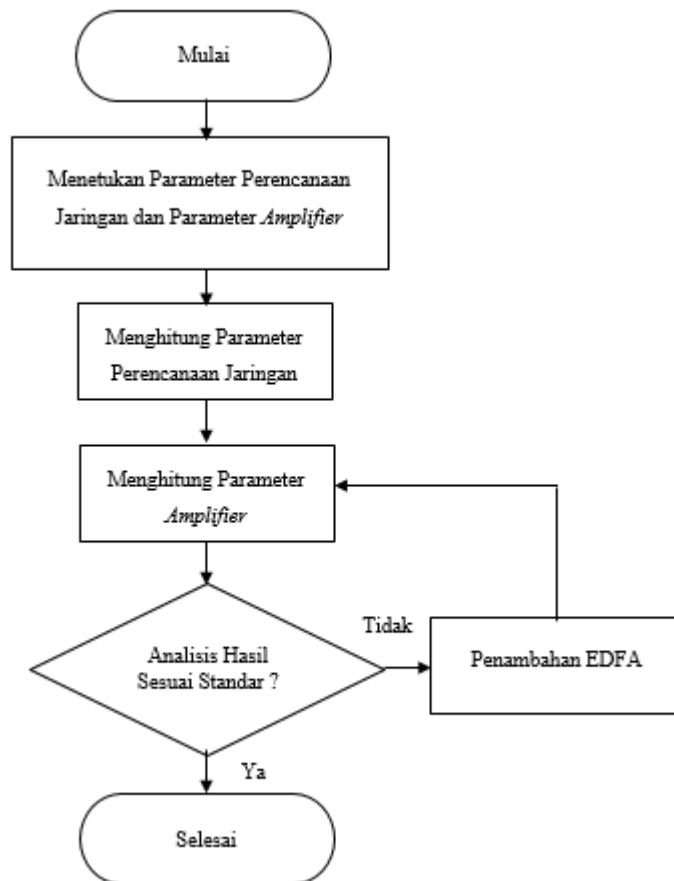
Keterangan:

$$Q = Q \text{ Factor}$$

## BAB 3 METODOLOGI

### 3.1 Metode Penelitian

Pada penelitian ini melakukan tahapan-tahapan seperti diagram alir pada Gambar 3.1 berikut:



Gambar 3.1 Diagram Alir Analisa Pengaruh EDFA di Kabupaten Sleman

### 3.2 Parameter Perencanaan

Perancangan yang ingin tercapai dalam penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 3.1 berikut:

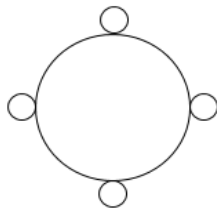
Tabel 3.1 Target perancangan

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

### 3.2.1 Penentuan Topologi Jaringan

Topologi jaringan dengan bentuk *ring* pada Gambar 3.2 adalah konfigurasi yang dipilih pada analisis ini. Dengan pertimbangan yakni tingkat kemampuan dalam memenuhi layanan, sambungan kabel atau *splice*, jenis kabel serat optik, dan jumlah *power transmit*, dan perlu atau tidak dengan penambahan *amplifier*. Alasan lain dipilih tipe topologi jaringan *ring* yaitu [7]:

- a. Mempemudah survei di lapangan.
- b. Mudah diimplementasikan di lapangan.
- c. *Maintenance*/pemeliharaan serat optik yang mudah.
- d. Mudah untuk melakukan pelacakan dan pengisolasian kesalahan dalam jaringan karena menggunakan konfigurasi *point to point*.



Gambar 3.2 Ilustrasi Topologi *Ring*

Hasil survei menunjukkan perancangan ini akan menggunakan jenis kabel darat yang mempunyai 96 inti serat, kabel ini kemudian ditanam dalam tanah dengan kedalaman kurang lebih 1,5 m [7]. Untuk jarak penghubung jaringan optik *link end to end* serta *link* distribusinya dapat dilihat pada Lampiran 1.

### 3.2.2 Penentuan Sumber Optik dan Detektor Optik

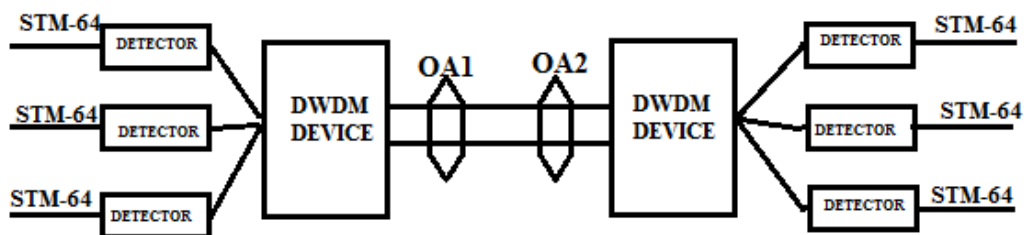
Pilihan sumber optik untuk jarak dekat adalah LED. Sedangkan untuk jarak jauh secara umum penggunaan *Laser Diode* (LD). Langkah selanjutnya perlu menentukan detektor optik yaitu mengutamakan pemilihan detektor optik, dibandingkan komponen lain karena dengan mengetahui pemakaian detektor optik terlebih dahulu, kita dapat memastikan bahwa sinyal yang sampai ke bagian penerima 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 tingkat sensitif *receiver* hingga 10 dB dan mempunyai tingkat sensitif yang tinggi [7].



### 3.2.3 Penentuan Jenis dan Panjang Gelombang

Penggunaan perangkat yang terdiri dari STM-16 dan STM-64 yang terintegrasi dengan teknologi TWDM-PON, tetap membutuhkan satu pasang *core* optik untuk menghubungkan *transmitter* dan *receiver*. Perencanaan ini dipilih STM-64 karena memiliki struktur tertinggi dalam jaringan SDH, serta mampu memberikan kecepatan hingga 9.953,280 Mbps (10 Gbps) itu artinya sudah dapat 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.

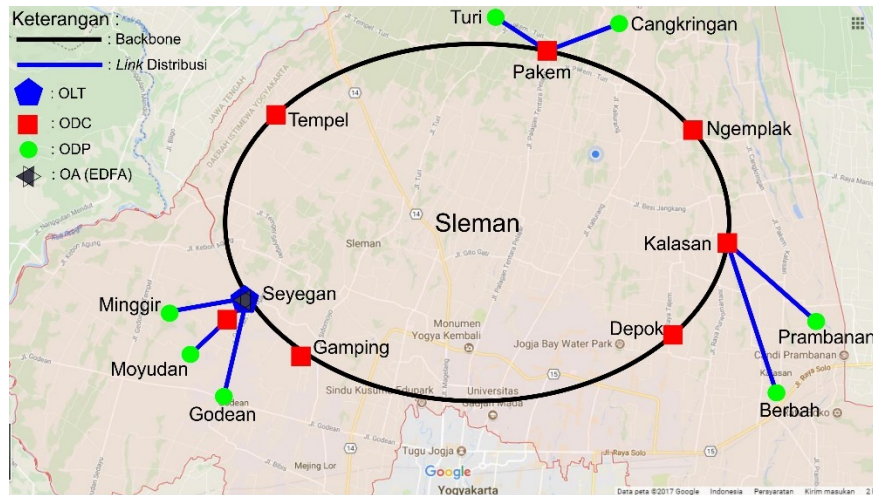
Kemudian selanjutnya menentukan penggunaan mode kabel, pada perencanaan ini *single mode* dipilih karena dapat membawa data dengan *bandwidth* yang lebih besar dibandingkan dengan *multi mode*, dapat membawa data dengan lebih cepat dan 50 kali lebih jauh dibandingkan dengan *multi mode*. Dengan menggunakan *core* yang lebih kecil dari *multi mode* dengan demikian gangguan akibat distorsi dan *overlapping* pulsa sinar menjadi berkurang. Inilah yang menyebabkan *single mode fiber optic* menjadi lebih reliabel, stabil, cepat, dan jauh jangkauannya [7] [10].



Gambar 3.3 Konfigurasi perangkat STM-64 [7]

### 3.2.4 Penentuan Rute dan Distribusi Jaringan Fiber Optik

Pada perencanaan ini diperlukan jaringan utama atau *backbone* agar optimal dan sinyal yang dikirim sampai *ke endpoint* sesuai harapan. Fungsi dari sistem kabel *backbone* yakni menyediakan koneksi antara *main distribution area*, *horizontal distribution area*, dan merupakan *entrance area*. Sistem kabel *backbone* terdiri dari kabel *backbone*, *main cross-connect*, *horizontal cross-connect*, terminasi mekanik, dan menggunakan *patch cord* untuk koneksi silang *backbone-to-backbone*. Gambar 3.4 menunjukkan rute *backbone* transmisi optik keseluruhan [7].



Gambar 3.4 Rute *backbone* dan distribusi Kab. Sleman [7]

### 3.2.5 Perhitungan Jarak Transmisi

- **Perhitungan Jarak Transmisi Maksimum tanpa Amplifier**

$$L_{sist} = \frac{P_{tx} - P_{rx} - (ac \times Nc) - (as \times Ns) - Ms}{\alpha f}$$

$$= \frac{3 - (-38) - (0,3 \times 14) - (0,05 \times 46) - 3}{0,3}$$

$$= 105 \text{ km}$$

- **Perhitungan Jarak Transmisi Maksimum dengan Amplifier**

- a. Daya Keluaran EDFA

$$P_{out\text{-amplifier}} = P_{in\text{-amplifier}} + G$$

$$= (-14 \text{ dBm}) + 28$$

$$= 14 \text{ dBm}$$

- b. Daya Pancar Jaringan TWDM setelah ditambahkan EDFA

$$P_{tx'} = P_{out} + P_{tx}$$

$$= 14 \text{ dBm} + 3 \text{ dBm}$$

$$= 17 \text{ dBm}$$

- c. Jarak Transmisi Maksimum dengan 1 EDFA

$$L_{sist} = \frac{P_{tx'} - P_{rx} - (ac \times Nc) - (as \times Ns) - Ms}{\alpha f}$$

$$= \frac{17 - (-38) - (0,3 \times 14) - (0,05 \times 46) - 3}{0,3}$$

$$= 152 \text{ km}$$

- d. Jarak Transmisi Maksimum dengan 2 EDFA

$$L_{sist} = \frac{P_{tx'} - P_{rx} - (ac \times Nc) - (as \times Ns) - Ms}{\alpha f}$$

$$= \frac{31 - (-38) - (0,3 \times 14) - (0,05 \times 46) - 3}{0,3}$$

$$= 198 \text{ km}$$

e. Jarak antar Penguat

$$P_{in-1} + G - \alpha_{seg} - M_s = P_{in-2}$$

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

$$= 28 - 3 = 25 \text{ dB}$$

$$L_{seg} = \frac{\alpha_{segmen} + (\alpha_c \times N_c) - (\alpha_s \times N_s) - M_s}{\alpha_f}$$

$$= \frac{25 + (0,3 \times 14) - (0,05 \times 46) - 3}{0,3}$$

$$= 80 \text{ km}$$

### 3.2.6 Perhitungan *Rise Time Budget*

Perhitungan ini menggunakan persamaan serta parameter pada Lampiran 2 menghasilkan nilai *rise time* sistem, dapat dihitung *rise time* sistem untuk STM-64 (10 Gbps) dengan persamaan (2.7) format pengkodean NRZ yaitu:

$$t_{sis} = \frac{0,7}{BR} = \frac{0,7}{10 \times 10^9} = 70 \text{ ps}$$

Agar hasil transmisi dapat diterima dengan baik, maka degradasi waktu total transmisi dari suatu hubungan tidak boleh melebihi 70 persen dari periode bit NRZ (*Non Return To Zero*).

Langkah selanjutnya menghitung nilai *rise time* sistem untuk format *line code* NRZ, kemudian menghitung nilai *rise time* perencanaan tiap *sublink* dengan persamaan (2.9) dan (2.10) sebagai berikut:

*Link* Seyegan-Tempel

$$t_f = D \times \sigma_\lambda \times L$$

$$= (3,5 \text{ ps/nm.km}) \times (0,1 \text{ nm}) \times (10,01 \text{ km})$$

$$= 3,535 \text{ ps}$$

$$t_r = \sqrt{t_{tx}^2 + t_{rx}^2 + t_f^2}$$

$$= \sqrt{60^2 + 35^2 + 3,535^2}$$

$$= \sqrt{4837,4962} = 69,552 \text{ ps}$$

Cara perhitungan *link* lain dapat dilihat pada Lampiran 17.

### 3.2.7 Perhitungan Jumlah *Splice* dan Konektor

Bagian ini melakukan perhitungan jumlah *splice* yang menghubungkan tiap *sublink* dan terminal dengan persamaan (2.11) sebagai berikut:

Link Seyegan-Tempel

$$N_s = \frac{L_{link}}{L_{kabel}} + 2$$

$$= \frac{10,1}{3} + 2 = 5,36 \approx 6 \text{ splice}$$

Cara perhitungan jumlah *splice* dan konektor lain dapat dilihat pada Lampiran 18.

### 3.3 Parameter Amplifier

Pada bagian ini membahas bagaimana menghitung parameter perencanaan yang terdiri dari perhitungan *gain*, *power received*, *Q Factor*, BER (*Bit Error Rate*), dan OSNR (*Optical Signal to Noise Ratio*). Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada subbab 3.3.1-3.3.5:

#### 3.3.1 Parameter Gain

Melakukan perhitungan parameter *Gain* apabila adanya penambahan EDFA yang pada penelitian ini pengaplikasian sebagai *booster amplifier* dan *pre-amplifier* dengan *pump power* 980 nm dengan persamaan (2.12) sebagai berikut:

$$P_{s,in} = 3 \text{ dBm} = -27 \text{ dBW} = 1,99 \times 10^{-3} \text{ W} \quad \sigma_e = 3,5 \times e^{-25} \text{ m}^2$$

$$P_{p,in} = 400 \text{ mW} = 400 \times 10^{-3} \quad L = 1 \text{ m}$$

$$\lambda_p = 980 \text{ nm}$$

$$\lambda_s = 1596,34 \text{ nm}$$

$$\rho = 1 \times e^{25} \text{ m}^{-3}$$

*Pump Power* 980 nm:

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

$$G \text{ min} \leq \left\{ \exp(1 \times e^{25} \times 3,5 \times e^{-25} \times 1); 1 + \frac{980 \times 400 \times 10^{-3}}{1596,34 \times 1,99 \times 10^{-3}} \right\}$$

$$G \text{ min} \leq \{15,20 \text{ dB}; 20,95 \text{ dB}\}$$

$$G = 15,20 \text{ dB}$$

#### 3.3.2 Parameter Power Received

Perhitungan *power received* sebelum dan sesudah penambahan EDFA sebagai *booster amplifier* dan *pre-amplifier* dengan *pump laser* 980 nm dengan persamaan (2.13) sebagai berikut:

$$P_{tx} = 3 \text{ dBm}$$

$$\alpha_{fiber} = 0,3 \text{ dB/km}$$

$$G = 15,20 \text{ dB}$$

$$L_{total \text{ transmisi Seyegan-Minggir}} = 11,65 \text{ km}$$

$$\alpha_{1:2} = 3,70 \text{ dBm}$$

$$\alpha_{AWG} = 7,5 \text{ dB (Downstream)}$$

$$\alpha_{1:4} = 7,25 \text{ dBm}$$

$$\alpha_{AWG} = 7,5 \text{ dB (Upstream)}$$

$$\alpha_{1:16} = 14,10 \text{ dBm}$$

Link Seyegan-Minggir

Pump Laser 980 nm:

$$\text{Power Received} = P_{s,in} - \alpha_{\text{total}}$$

$$\text{Power Received} = 3 - 3,70 - 7,25 - 14,10 - (0,3 \times 11,65) - 7,5$$

$$\text{Power Received} = -33,05 \text{ dBm (Sebelum penambahan EDFA)}$$

$$P_{s,in} = P_{tx} + G$$

$$P_{s,in} = 3 + 15,20$$

$$P_{s,in} = 18,20 \text{ dBm}$$

$$\text{Power Received} = P_{s,in} - \alpha_{\text{total}}$$

$$\text{Power Received} = 18,20 - 3,70 - 7,25 - 14,10 - (0,3 \times 11,65) - 7,5$$

$$\text{Power Received} = -17,85 \text{ dBm (Setelah penambahan EDFA)}$$

### 3.3.3 Perhitungan Q Factor

Perhitungan Q Factor dengan EDFA sebagai booster amplifier dengan pump laser 980 nm dengan persamaan (2.14) dan (2.15) sebagai berikut:

Link Seyegan-Minggir

$$P_{in,980} = -18,20 \text{ dBm} = -47,85 \text{ dBw} = 1,64 \times 10^{-5} \text{ watt (Setelah penambahan EDFA)}$$

$$R = 1 \text{ A/W}$$

$$F(M) = M^x$$

$$M = 10$$

$$X = 0,7$$

$$q = 1,69 \times 10^{-19} \text{ C}$$

$$B_e = 10 \text{ GHz}$$

$$K_B = 1,38 \times 10^{-23} \text{ J/K}$$

$$T = 300 \text{ K}$$

$$R_L = 30 \text{ ohm}$$

Pump Laser 980 nm:

$$\begin{aligned} \text{SNR} &= \frac{(PinRM)^2}{2qPinRM^2 F(M) B_e + \frac{4K_B T B_e}{R_L}} \\ &= \frac{(1,64 \times 10^{-5} \times 1 \times 10)^2}{(2 \times 1,69 \times 10^{-19} \times 1,64 \times 10^{-5} \times 1 \times 10^2 \times 10^{0,7} \times 10^{10}) + \frac{4 \times 1,38 \times 10^{-23} \times 300 \times 10^{10}}{30}} \\ &= \frac{2,6977 \times 10^{-8}}{(2,7823 \times 10^{-11}) + (5,52 \times 10^{-12})} \\ &= 809,0673824 = 29,08 \text{ dB} \end{aligned}$$

$$Q = \frac{10^{\frac{SNR}{20}}}{2}$$

$$Q = \frac{10^{\frac{29,08}{20}}}{2} = 14,22$$

### 3.3.4 Perhitungan BER (*Bit Error Rate*)

Perhitungan BER dengan EDFA sebagai *booster amplifier* dengan *pump laser* 980 nm dengan persamaan (2.16) sebagai berikut:

*Link* Seyegan-Minggir

*Pump Laser* 980 nm:

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

$$\text{BER} = \frac{1}{3,37\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{14,22^2}{2}} = 3,36 \times 10^{-46}$$

### 3.3.5 Perhitungan OSNR (*Optical Signal to Noise Ratio*)

Perhitungan OSNR dengan EDFA sebagai *booster amplifier* dengan *pump laser* 980 nm dengan persamaan (2.17) sebagai berikut:

*Link* Seyegan-Minggir

*Pump Laser* 980 nm:

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

$$= \frac{1}{2} 14,22(3,37 + \sqrt{2})$$

$$= 20,46 \text{ dB}$$

## BAB 4

### HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 4.1 Hasil Perhitungan Parameter Perencanaan

Bagian ini menunjukkan beberapa hasil perhitungan seperti pada subbab 4.1.1 menunjukkan hasil perhitungan jarak transmisi tanpa menggunakan EDFA dan setelah menggunakan EDFA. Pada subbab 4.1.2 menunjukkan hasil perhitungan *rise time budget*, dan subbab 4.1.3 menunjukkan hasil perhitungan jumlah *splice* dan konektor.

##### 4.1.1 Hasil Perhitungan Jarak Transmisi

Hasil dari perhitungan jarak transmisi dengan persamaan (2.1-2.6) dapat dilihat pada Tabel 4.1:

Tabel 4.1 Hasil perhitungan jarak transmisi

| Pehitungan                                       | Jumlah EDFA (unit) | Hasil (km) |
|--|--------------------|------------|
| Jarak Transmisi tanpa <i>Amplifier</i>           | -                  | 105        |
| Jarak Transmisi Maksimum dengan <i>Amplifier</i> | 1                  | 152        |
|  | 2                  | 198        |
| Jarak Antar Penguat                              |                    | 80         |

##### 4.1.2 Hasil Perhitungan *Rise Time Budget*

Hasil dari perhitungan *rise time budget* dengan persamaan (2.7, 2.9, dan 2.10) dapat dilihat pada Tabel 4.2:

Tabel 4.2 Hasil perhitungan *Rise Time Budget*

| Link <i>End To End</i> | <i>Rise Time Plan Total</i> (ps) |
|------------------------|----------------------------------|
| 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.

#### 4.1.3 Hasil Perhitungan Jumlah *Splice* dan Konektor

Pada Tabel 4.3 menunjukkan hasil perhitungan jumlah sambungan kabel serat optik pada perancangan ini dengan persamaan (2.11) sebagai berikut:

Tabel 4.3 Hasil perhitungan jumlah *splice* dan konektor

| Link <i>End To End</i> | Jumlah <i>Splice</i> dan Konektor |
|------------------------|-----------------------------------|
| Seyegan-Tempel         | 6                                 |
| Tempel-Pakem           | 9                                 |
| Pakem-Ngemplak         | 6                                 |
| Ngemplak-Kalasan       | 6                                 |
| Kalasan-Depok          | 7                                 |
| Depok-Gamping          | 7                                 |
| Gamping-Seyegan        | 6                                 |

#### 4.2 Hasil Perhitungan Parameter *Amplifier*

Bagian ini menunjukkan beberapa hasil perhitungan seperti pada subbab 4.2.1 menunjukkan hasil perhitungan parameter parameter *amplifier* tanpa menggunakan *amplifier* baik dengan transmisi *downstream* maupun *upstream*. Pada subbab 4.2.2 menunjukkan hasil perhitungan menggunakan *amplifier* untuk transmisi *downstream* posisi EDFA sebagai *booster amplifier* dan transmisi *upstream* posisi EDFA sebagai *pre-amplifier*. Spesifikasi EDFA dengan *wavelength band* 1596,34 nm, *length* EDFA 1 meter *pump laser* 980 nm, dan *pump power* 400 mW.

##### 4.2.1 Hasil Perhitungan Tanpa *Amplifier*

Berikut pada Tabel 4.4 hasil perhitungan parameter *amplifier* menggunakan persamaan (2.12-2.17) tanpa menggunakan *amplifier* baik dengan transmisi *downstream* maupun *upstream*:

Tabel 4.4 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      |
| 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-Cangkringan | -33,05   | 8,07     | 1,27     | 1,E-01 | 2,30      |
| Kalasan- Berbah   | -33,05   | 7,57     | 1,20     | 2,E-01 | 1,93      |



| <i>Link</i> Distribusi | PR (dBm) | SNR (dB) | Q Factor | BER    | OSNR (dB) |
|------------------------|----------|----------|----------|--------|-----------|
| Kalasan-Prambanan      | -33,05   | 8,23     | 1,29     | 1,E-01 | 2,42      |

#### 4.2.2 Hasil Perhitungan Menggunakan *Amplifier*

Berikut pada Tabel 4.5 Tabel 4.6 hasil perhitungan parameter *amplifier* menggunakan persamaan (2.12-2.17) untuk transmisi *downstream* dan transmisi *upstream*:

Tabel 4.5 Hasil perhitungan dengan EDFA transmisi *Downstream*

| <i>Link</i> 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-Cangkringan      | 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 4.6 Hasil perhitungan dengan EDFA transmisi *Upstream*

| <i>Link</i> 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-Cangkringan      | 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 4.4 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 3.1 baik untuk transmisi *downstream* maupun *upstream* seperti pada Tabel 4.5 dan Tabel 4.6.

## BAB 5

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 5.1 Kesimpulan

Dari penelitian ini didapat beberapa kesimpulan yaitu:

1. 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.
2. 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.

#### 5.2 Saran

1. Penelitian kedepan harapannya ditambah dengan simulasi dengan *Optisystem* serta melakukan perbandingan antara hasil perhitungan dengan hasil simulasi.
2. Disarankan menggunakan perbandingan standarisasi dengan jenis *Optic Amplifier* lainnya seperti SOA ataupun *Raman Amplifier*.

## 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.

## LAMPIRAN

Lampiran 1 Jarak Kabel Serat Optik [7]

| No. | <i>Link End To End</i> | Jarak (km) | <i>Link</i> Distribusi | Jarak (km) | Jarak Total (km) |
|-----|------------------------|------------|------------------------|------------|------------------|
| 1.  | Seyegan-Tempel         | 10,1       | Seyegan-Minggir        | 11,65      | 41,45            |
|     |                        |            | Seyegan-Moyudan        | 10,4       |                  |
|     |                        |            | Seyegan-Godean         | 9,3        |                  |
| 2.  | Tempel-Pakem           | 18,8       |                        |            | 18,8             |
| 3.  | Pakem-Ngemplak         | 9,5        | Pakem-Turi             | 6,3        | 23,5             |
|     |                        |            | Pakem-Cangkringan      | 7,7        |                  |
| 4.  | Ngemplak-Kalasan       | 8,4        |                        |            | 8,4              |
| 5.  | Kalasan-Depok          | 12,8       | Kalasan Berbah         | 8,6        | 28,8             |
|     |                        |            | Kalasan-Prambanan      | 7,4        |                  |
| 6.  | Depok-Gamping          |            |                        |            | 13,6             |
| 7.  | Gamping-Seyegan        |            |                        |            | 11,7             |
|     | <b>Total</b>           |            |                        |            | 146,25 km        |

Lampiran 2 Data Teknis Perencanaan *Link* Sleman [7]

Penggunaan parameter perencanaan pada jaringan ini, disesuaikan dengan standar yang berlaku di ITU-T G.6.55, ITU-T G.989.1, dan G.989.2 sebagai berikut:

| <b>Data Teknis Perencanaan <i>Link</i> Sleman</b>                                    |                  |
|--|------------------|
| <b>1. Parameter Desain</b>   |                  |
| <i>Bit Rate</i> (B)  | 10 Gbps (STM-64) |
| <i>Jarak Link</i> ( $L_{link}$ )   | 146,25 km        |
| Format Modulasi  | NRZ              |
| Panjang Gelombang Operasi  | 1550 nm          |
| Margin Operasi ( $M_s$ )   | 3 dB             |
| Jumlah Konektor ( $N_c$ )  | 14               |
| <b>2. Komponen SKSO</b>  |                  |
| <b>A. Serat Optik Single Mode : ITU-T G.6.55 (Non Zero Dispersion Shifted Fiber)</b> |                  |
| Attenuasi ( $\alpha_f$ )   | 0,3 dB/km        |
| Dispersi Kromatik (D)  | 3,5 ps/nm.km     |
| <b>B. Optical Interface</b>  |                  |
| <b>B.1 Pengirim (Transmitter)</b>  |                  |
| <i>Rise Time</i> ( $t_{tx}$ )  | 60 ps            |
| Lebar <i>Spectral</i> ( $\sigma_\lambda$ )   | 0,1 nm           |
| Daya Transmit ( $P_{tx}$ ) [3]   | 3 dBm            |
| <b>B.2 Penerima (Receiver)</b>   |                  |
| <i>Rise Time</i> ( $t_{rx}$ )  | 35 ps            |
| Sensitivitas Minimum ( $p_{rx}$ )  | - 38 dBm         |

| Data Teknis Perencanaan <i>Link</i> Sleman |                        |
|--|------------------------|
| <b>C. Komponen Tambahan</b>                |                        |
| Redaman Konektor ( $\alpha_c$ )            | 0,3 dB/konektor        |
| Redaman <i>Splice</i> ( $\alpha_z$ )       | 0,05 dB/ <i>splice</i> |
| Gain EDFA (G)                              | 28 dBm                 |
| Daya Input EDFA ( $P_{in-amp}$ )           | -14 dBm                |

Lampiran 3 ODN *Fiber Distance Class* [11] [12]

| <i>Fiber Distance Class</i> | <i>Minimum Fiber Distance</i> | <i>Maximum Fiber Distance</i> |
|-----------------------------|-------------------------------|-------------------------------|
| DD20                        | 0                             | 20                            |
| DD40                        | 0                             | 40                            |

Lampiran 4 TWDM-PON *Line Rate Option* [11] [12]

|                       | Nominal <i>Line Rate</i> , <i>Downstream/Upstream</i> |
|-----------------------|---|
| <i>Basic Rate</i>     | 9,95328/2,48832                                       |
| <i>Rate Opinion 1</i> | 9,95328/9,95328                                       |
| <i>Rate Opinion 2</i> | 2,48832/2.48832                                       |

Lampiran 5 Parameter *Optical Interface* dari 9,95328 Gbps untuk *downstream* [11] [12]

| <i>Item</i>                             | Unit | <i>Value</i>         |       |       |       |
|---|------|----------------------|-------|-------|-------|
| <b>OLT Transmitter</b>                  |      |                      |       |       |       |
| <i>Nominal Line Rate</i>                | Gbps | 9,95328              |       |       |       |
| <i>Operating Chanel Spacing</i>         | GHz  | 100                  |       |       |       |
| <i>Line Code</i>                        | -    | <i>Scrambled NRZ</i> |       |       |       |
| <i>ODN Class</i>                        |      | N1                   | N2    | N3    | N4    |
| <i>Mean Chanel Launch Power Minimum</i> | dBm  | +3,0                 | +5,0  | +7,0  | +9,0  |
| <i>Mean Chanel Launch Power Maximum</i> | dBm  | +7,0                 | +9,0  | +11,0 | +11,0 |
| <b>ONU Receiver</b>                     |      |                      |       |       |       |
| <i>Bit Error Ratio Reference Level</i>  | -    | $10^{-3}$            |       |       |       |
| <i>ODN Class</i>                        |      | N1                   | N2    | N3    | N4    |
| <i>Sensitivity</i>                      | dBm  | -28,0                | -28,0 | -28,0 | -28,0 |
| <i>Overload</i>                         | dBm  | -7,0                 | -7,0  | -7,0  | -9,0  |

Lampiran 6 Parameter *Optical Interface* dari 2,48832 Gbps untuk *upstream* [11] [12]

| <i>Item</i>                             | Unit | <i>Value</i>         |      |      |      |
|---|------|----------------------|------|------|------|
| <b>ONU Transmitter</b>                  |      |                      |      |      |      |
| <i>Nominal Line Rate</i>                | Gbps | 2,48832              |      |      |      |
| <i>Minimum Operating Chanel Spacing</i> | GHz  | 50                   |      |      |      |
| <i>Maximum Operating Chanel Spacing</i> | GHz  | 200                  |      |      |      |
| <i>Line Code</i>                        | -    | <i>Scrambled NRZ</i> |      |      |      |
| <i>ODN Class</i>                        |      | N1                   | N2   | N3   | N4   |
| <i>Mean Chanel Launch Power Minimum</i> |      |                      |      |      |      |
| - <i>Type A Link (NOTE 1)</i>           | dBm  | +4,0                 | +4,0 | +4,0 | NA   |
| - <i>Type B Link (NOTE 2)</i>           | dBm  | 0                    | 0    | 0    | 0    |
| <i>Mean Chanel Launch Power Maximum</i> |      |                      |      |      |      |
| - <i>Type A Link (NOTE 1)</i>           | dBm  | +9,0                 | +9,0 | +9,0 | +9,0 |
| - <i>Type B Link (NOTE 2)</i>           | dBm  | +5,0                 | +5,0 | +5,0 | +5,0 |

| Item   | Unit | Value     |       |       |       |
|--|------|-----------|-------|-------|-------|
| <b>ONU Transmitter</b>   |      |           |       |       |       |
| <b>OLT Receiver</b>  |      |           |       |       |       |
| <i>Bit Error Ratio Reference Level</i>   | -    | $10^{-4}$ |       |       |       |
| <i>ODN Class (DD20)</i>  |      | N1        | N2    | N3    | N4    |
| <i>Sensitivity</i>   |      |           |       |       |       |
| - <i>Type A Link (NOTE 1)</i>  | dBm  | -26,0     | -28,0 | -30,5 | -32,5 |
| - <i>Type B Link (NOTE 2)</i>  | dBm  | -30,0     | -32,0 | -43,5 | -36,5 |
| <i>Overload</i>  |      |           |       |       |       |
| - <i>Type A Link (NOTE 1)</i>  | dBm  | -5,0      | -7,0  | -9,0  | -11,0 |
| - <i>Type B Link (NOTE 2)</i>  | dBm  | -9,0      | -11,0 | -13,0 | -15,0 |
| - Note 1 : <i>Type Link A</i> , diasumsikan tidak menggunakan <i>amplifier</i> |      |           |       |       |       |
| - Note 2 : <i>Type Link B</i> , diasumsikan menggunakan <i>amplifier</i>       |      |           |       |       |       |
| - Note 3 : <i>Skema Line Coding</i> lainnya masih dalam studi lebih lanjut     |      |           |       |       |       |

#### Lampiran 7 Spesifikasi EDFA [3]

| Parameter                     | Unit | Value                   |
|-------------------------------|------|-------------------------|
| <i>Wavelength</i>             | nm   | 1528-1562 and 1570-1605 |
| <i>Saturated Output Power</i> | dBm  | 14 – 23                 |
| <i>Gain</i>                   | dB   | 13 – 28                 |
| <i>Noise Figure</i>           | dB   | < 6,5                   |
| <i>Operating Temperature</i>  | °C   | 5 – 70                  |
| <i>Pump</i>                   | nm   | 980                     |

#### Lampiran 8 Spesifikasi CW Laser [11] [12]

| Parameter                | Unit | Value                   |
|--------------------------|------|-------------------------|
| <i>Wavelength</i>        | nm   | 1530-1570 and 1570-1610 |
| <i>Peak Output Power</i> | dBm  | 10                      |
| <i>Modulation Rate</i>   | dB   | CW                      |
| <i>Temperature</i>       | °C   | -10 to +70              |

#### Lampiran 9 Spesifikasi Wave Array High Channel [11] [12]

| Parameter                        | Unit | Value       |             |
|----------------------------------|------|-------------|-------------|
| <i>Chanel Count</i>              | nm   | 8,16,32,40  |             |
| <i>Chanel Spacing</i>            | dBm  | 100         |             |
| <i>Wavelength Length</i>         | dB   | 1530-1562   | 1575-1608   |
| <i>Frequency Range</i>           |      | 186,4-190,4 | 191,4-195,5 |
| <i>Insertion Loss</i>            | dB   | < 4,8       | < 7,5       |
| <i>Insertion Loss Unifromity</i> | dB   | < 1,7       |             |
| <i>Adjacent Chanel Crosstalk</i> | dB   | < -25       |             |
| <i>Total Optical Crosstalk</i>   | dB   | < -22       |             |
| <i>Return Loss</i>               | dB   | > 40        |             |

#### Lampiran 10 Spesifikasi Single Mode Splitter [11] [12]

| Parameter                | Unit | Value   |         |         |
|--------------------------|------|---------|---------|---------|
| <i>Wavelength Length</i> | nm   | 1310±10 | 1550±30 | 1550±30 |

|                             |    |      |      |       |
|-----------------------------|----|------|------|-------|
| <i>Number of Ports</i>      | dB | 1x2  | 1x4  | 1x16  |
| <i>Insertion Loss (Ave)</i> | dB | 3,7  | 7,25 | 14,10 |
| <i>Insertion Loss (Max)</i> | dB | 3,7  | 7,25 | 14,10 |
| <i>Return Loss</i>          | dB | ≤-50 | ≤-50 | ≤-50  |

Lampiran 11 Parameter OLT [3]

| Parameter                  | Unit | Value           |
|----------------------------|------|-----------------|
| <b><i>Transmitter</i></b>  |      |                 |
| <i>Launch Power</i>        | dBm  | 3               |
| <i>Line Code</i>           | -    | NRZ             |
| <i>Wavelength Band</i>     | nm   | 1596,34-1609,19 |
| <i>Number of Chanel</i>    | -    | 16              |
| <i>Chanel Spacing</i>      | GHz  | 100             |
| <i>Nominal Line Rate</i>   | Gbps | 10              |
| <b><i>Receiver</i></b>     |      |                 |
| <i>Bandwidth</i>           | GHz  | 20              |
| <i>Wavelength Band</i>     | nm   | 1532,68-1544,33 |
| <i>Gain</i>                | -    | 3               |
| <i>Responsitivity</i>      | A/W  | 1               |
| <i>Ionization Ratio</i>    | -    | 0,9             |
| <b><i>AWG</i></b>          |      |                 |
| <i>Number of Input Mux</i> | -    | 16              |
| <i>Number Output Demux</i> | -    | 16              |
| <i>Frequency Mux</i>       | nm   | 1609,19         |
| <i>Frequency Demux</i>     | nm   | 1544,33         |
| <i>Bandwidth</i>           | GHz  | 10              |
| <i>Frequency Spacing</i>   | GHz  | 100             |

Lampiran 12 Parameter ODN [3]

| Parameter                    | Unit  | Value      |
|------------------------------|-------|------------|
| <b><i>Transmitter</i></b>    |       |            |
| <i>Reference Wavelength</i>  | nm    | 1550       |
| <i>Length</i>                | km    | 40         |
| <i>Attenuation [7]</i>       | dB/km | 0,3        |
| <b><i>Splitter</i></b>       |       |            |
| <i>Splitter Output Ports</i> | -     | 2,4,dan 16 |
| <i>Max. Insertion Loss</i>   | dB    | 3          |
| <i>Return Loss</i>           | dB    | 65         |

Lampiran 13 Parameter ONU [3]

| Parameter                 | Unit | Value           |
|---------------------------|------|-----------------|
| <b><i>Transmitter</i></b> |      |                 |
| <i>Launch Power</i>       | dBm  | 3               |
| <i>Line Code</i>          | -    | NRZ             |
| <i>Wavelength Band</i>    | nm   | 1532,68-1544,53 |
| <i>Number of Chanel</i>   | -    | 2,5             |
| <i>Chanel Spacing</i>     | GHz  | 16              |



|                          |      |                 |
|--------------------------|------|-----------------|
| <i>Nominal Line Rate</i> | Gbps | 100             |
| <b><i>Receiver</i></b>   |      |                 |
| <i>Bandwidth</i>         | GHz  | 20              |
| <i>Wavelength Band</i>   | nm   | 1596,34-1609,13 |
| <i>Gain</i>              | -    | 3               |
| <i>Responsivity</i>      | A/W  | 1               |
| <i>Ionization Ratio</i>  | -    | 0,9             |
| <i>Dark Current</i>      | nA   | 10              |

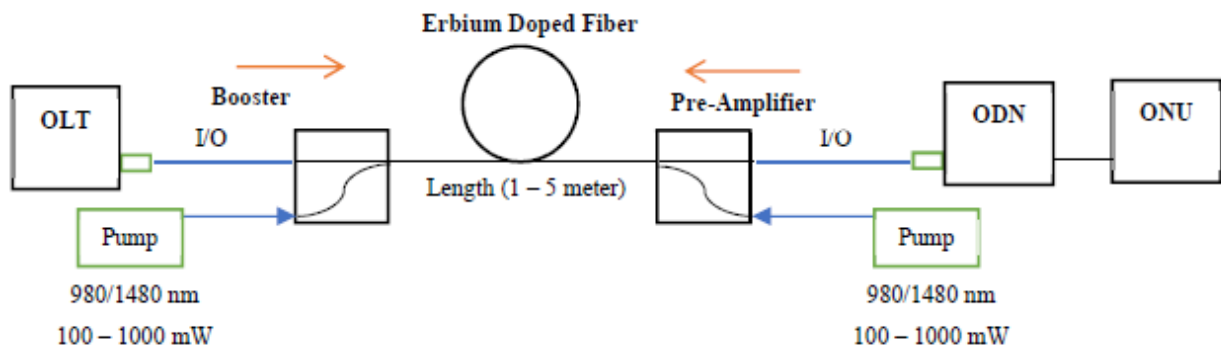
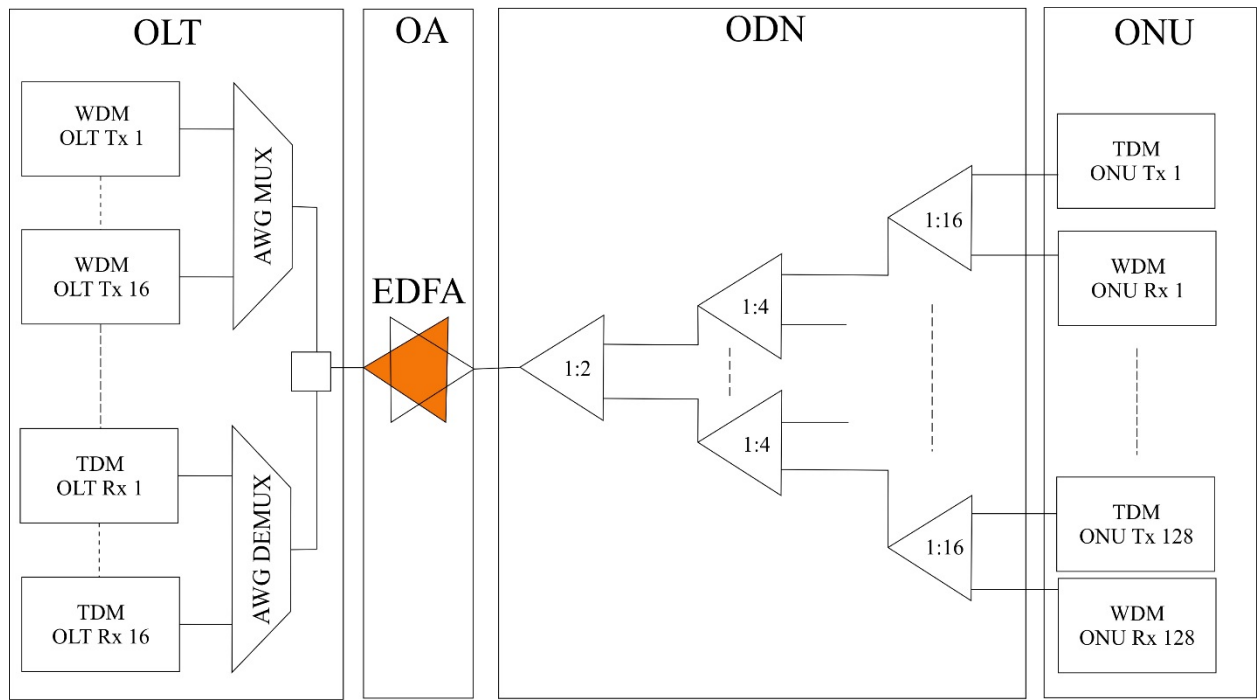
Lampiran 14 Parameter OA [3]

| Parameter                                  | Unit            | Value              |
|--|-----------------|--------------------|
| <b><i>Erbium Doped Fiber Amplifier</i></b> |                 |                    |
| <i>Length</i>                              | m               | 1                  |
| <i>Er Metastable Lifetime</i>              | ms              | 10                 |
| <i>Core Radius</i>                         | $\mu\text{m}$   | 2,2                |
| <i>Er Doping Radius</i>                    | $\mu\text{m}$   | 2,2                |
| <i>Er Ion Density</i>                      | $\text{m}^{-3}$ | $1 \times 10^{25}$ |
| <i>Numerical Aperture</i>                  | -               | 0,24               |
| <b><i>Pump Laser</i></b>                   |                 |                    |
| <i>Wavelength</i>                          | nm              | 980                |
| <i>Power</i>                               | mW              | 400                |

Lampiran 15 Skenario Perhitungan untuk setiap panjang EDFA

| Skenario | Aplikasi EDFA | Panjang <i>Pump Laser</i><br>(nm)                | Daya <i>Pump Laser</i><br>(mW) |
|----------|---------------|--|--------------------------------|
|          |               | <i>Booster Amplifier</i><br><i>Pre-Amplifier</i> | 980                            |

Lampiran 16 Sistem TWDM-PON [3] [13]



## Lampiran 17 Hasil Perhitungan *Rise Time Budget*

### a. *Link Seyegan-Tempel*

$$\begin{aligned}t_f &= D \times \sigma_\lambda \times L \\ &= (3,5 \text{ ps/nm.km}) \times (0,1 \text{ nm}) \times (10,01 \text{ km}) \\ &= 3,535 \text{ ps}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}t_r &= \sqrt{t_{tx}^2 + t_{rx}^2 + t_f^2} \\ &= \sqrt{60^2 + 35^2 + 3,535^2} \\ &= \sqrt{4837,4962} = 69,552 \text{ ps}\end{aligned}$$

### b. *Link Tempel-Pakem*

$$\begin{aligned}t_f &= D \times \sigma_\lambda \times L \\ &= (3,5 \text{ ps/nm.km}) \times (0,1 \text{ nm}) \times (18,8 \text{ km}) \\ &= 6,58 \text{ ps}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}t_r &= \sqrt{t_{tx}^2 + t_{rx}^2 + t_f^2} \\ &= \sqrt{60^2 + 35^2 + 6,58^2} \\ &= \sqrt{4868,2964} = 69,773 \text{ ps}\end{aligned}$$

### c. *Link Pakem-Ngemplak*

$$\begin{aligned}t_f &= D \times \sigma_\lambda \times L \\ &= (3,5 \text{ ps/nm.km}) \times (0,1 \text{ nm}) \times (9,5 \text{ km}) \\ &= 3,325 \text{ ps}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}t_r &= \sqrt{t_{tx}^2 + t_{rx}^2 + t_f^2} \\ &= \sqrt{60^2 + 35^2 + 3,325^2} \\ &= \sqrt{4836,055} = 69,541 \text{ ps}\end{aligned}$$

### d. *Link Ngemplak-Kalasan*

$$\begin{aligned}t_f &= D \times \sigma_\lambda \times L \\ &= (3,5 \text{ ps/nm.km}) \times (0,1 \text{ nm}) \times (8,4 \text{ km}) \\ &= 2,94 \text{ ps}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}t_r &= \sqrt{t_{tx}^2 + t_{rx}^2 + t_f^2} \\ &= \sqrt{60^2 + 35^2 + 2,94^2} \\ &= \sqrt{4833,6436} = 69,524 \text{ ps}\end{aligned}$$

e. *Link* Kalasan-Depok

$$\begin{aligned}t_f &= D \times \sigma_\lambda \times L \\ &= (3,5 \text{ ps/nm.km}) \times (0,1 \text{ nm}) \times (12,8 \text{ km}) \\ &= 4,48 \text{ ps}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}t_r &= \sqrt{t_{tx}^2 + t_{rx}^2 + t_f^2} \\ &= \sqrt{60^2 + 35^2 + 4,48^2} \\ &= \sqrt{4845,0704} = 69,606 \text{ ps}\end{aligned}$$

f. *Link* Depok-Gamping

$$\begin{aligned}t_f &= D \times \sigma_\lambda \times L \\ &= (3,5 \text{ ps/nm.km}) \times (0,1 \text{ nm}) \times (13,6 \text{ km}) \\ &= 4,76 \text{ ps}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}t_r &= \sqrt{t_{tx}^2 + t_{rx}^2 + t_f^2} \\ &= \sqrt{60^2 + 35^2 + 4,76^2} \\ &= \sqrt{4847,6576} = 69,625 \text{ ps}\end{aligned}$$

g. *Link* Gamping-Seyegan

$$\begin{aligned}t_f &= D \times \sigma_\lambda \times L \\ &= (3,5 \text{ ps/nm.km}) \times (0,1 \text{ nm}) \times (11,7 \text{ km}) \\ &= 4,095 \text{ ps}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}t_r &= \sqrt{t_{tx}^2 + t_{rx}^2 + t_f^2} \\ &= \sqrt{60^2 + 35^2 + 4,095^2} \\ &= \sqrt{4841,769} = 69,582 \text{ ps}\end{aligned}$$

Lampiran 18 Hasil Perhitungan Jumlah *Splice* dan Konektor

a. *Link* Seyegan-Tempel

$$\begin{aligned} N_s &= \frac{Llink}{Lkabel} + 2 \\ &= \frac{10,1}{3} + 2 = 5,36 \approx 6 \text{ splice} \end{aligned}$$

b. *Link* Tempel-Pakem

$$\begin{aligned} N_s &= \frac{Llink}{Lkabel} + 2 \\ &= \frac{18,8}{3} + 2 = 8,26 \approx 9 \text{ splice} \end{aligned}$$

c. *Link* Pakem-Ngemplak

$$\begin{aligned} N_s &= \frac{Llink}{Lkabel} + 2 \\ &= \frac{9,5}{3} + 2 = 5,16 \approx 6 \text{ splice} \end{aligned}$$

d. *Link* Ngemplak-Kalasan

$$\begin{aligned} N_s &= \frac{Llink}{Lkabel} + 2 \\ &= \frac{8,4}{3} + 2 = 4,8 \approx 6 \text{ splice} \end{aligned}$$

e. *Link* Kalasan-Depok

$$\begin{aligned} N_s &= \frac{Llink}{Lkabel} + 2 \\ &= \frac{12,8}{3} + 2 = 6,26 \approx 7 \text{ splice} \end{aligned}$$

f. *Link* Depok-Gamping

$$\begin{aligned} N_s &= \frac{Llink}{Lkabel} + 2 \\ &= \frac{13,6}{3} + 2 = 6,53 \approx 7 \text{ splice} \end{aligned}$$

g. *Link* Gamping-Seyegan

$$\begin{aligned} N_s &= \frac{Llink}{Lkabel} + 2 \\ &= \frac{11,7}{3} + 2 = 5,9 \approx 6 \text{ splice} \end{aligned}$$