



**ANALISIS EFISIENSI DAYA *FIBER OPTIC* TERPENGARUH JUMLAH  
LILITAN *BENDING* MENGGUNAKAN VARIASI DIAMETER BIDANG**

**SKRIPSI**

Oleh

**Robby Purtommo  
NIM 131910201051**

**PROGRAM STUDI STRATA 1 TEKNIK ELEKTRO  
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS JEMBER  
2017**



**ANALISIS EFISIENSI DAYA *FIBER OPTIC* TERPENGARUH JUMLAH  
LILITAN *BENDING* MENGGUNAKAN VARIASI DIAMETER BIDANG**

**SKRIPSI**

diajukan guna melengkapi tugas akhir dan memenuhi salah satu syarat  
untuk menyelesaikan Program Studi Teknik Elektro (S1)  
dan mencapai gelar Sarjana Teknik

Oleh

**Robby Purtono**  
**NIM 131910201051**

**PROGRAM STUDI STRATA 1 TEKNIK ELEKTRO  
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS JEMBER  
2017**

## PERSEMBAHAN

Dengan segala puja dan puji syukur kepada Allah Subhanallahu Waa Ta'ala yang telah memberikan rahmat dan karunia-Nya sehingga saya dapat menyelesaikan skripsi ini dengan baik dan tepat waktu. Skripsi ini merupakan sebuah pencapaian awal yang saya raih sebelum menuju kepada pencapaian selanjutnya. Dengan penuh rasa bahagia dan terimakasih, saya persembahkan skripsi ini kepada :

1. Kedua orang tua saya, Ibunda Khusnul Khotijang dan ayahanda Sandro Sutomo tercinta yang telah membesarkan, mendidik, dan memberikan begitu banyak cinta dan kasih sayang, juga doa yang tak pernah putus dipanjatkan untuk saya sehingga bisa menyelesaikan skripsi dan mendapatkan gelar ini, seluruh pencapaian ini saya persembahkan untuk beliau.
2. Dosen pembimbing utama Bapak Widya Cahyadi, S.T., M.T. serta bapak Dosen Pembimbing Anggota Bapak Suprihadi Prasetyono, S.T., M.T atas keikhlasan dan kesabarannya dalam membimbing saya untuk menyelesaikan skripsi ini.
3. Guru-guru sejak taman kanak-kanak hingga perguruan tinggi atas ilmu yang telah diberikan.
4. Almamater Fakultas Teknik Universitas Jember

## MOTTO

Rasulullah bersabda “ Orang yang menunjukkan suatu kebaikan balasannya seperti orang yang mengerjakannya”

( HR. At-Thabrani, al Bazar, dan at-Tirmidzi, Hadits Shahiih, Shahiihul Jaami’ 3399)<sup>\*)</sup>

“Diantara Tanda Berpalingnya Allah SWT Dari Seorang hamba adalah Allah menjadikan kesibukannya pada hal-hal yang tidak bermanfaat baginya”.

(HR Imam Hasan Al-Bash ri)<sup>\*\*)</sup>

“Jika kamu tertimpa sesuatu (kegagalan), maka jangan kamu mengatakan, ‘seandainya aku berbuat demikian, pastilah tidak akan begini atau begitu’. Tetapi katakanlah ‘ini telah di takdirkan oleh Allah SWT dan Allah SWT berbuat sesuai apa yang dikehendaki’. Karena sesungguhnya perkataan seandainya akan membuka (pintu) perbuatan setan”

(H.R. Muslim no.2664)<sup>\*\*\*)</sup>

---

\*) HR. At-Thabrani, al Bazar, dan at-Tirmidzi, Hadits Shahiih, Shahiihul Jaami’ 3399

\*\*\*) HR Imam Hasan Al-Bash ri

\*\*\*\*) H.R. Muslim no.2664

**PERNYATAAN**

Saya yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Robby Purtomo

NIM : 131910201051

menyatakan dengan sesungguhnya bahwa karya ilmiah yang berjudul “ analisis efisiesi daya *fiber optic* terpengaruh jumlah lilitan *bending* menggunakan variasi diameter bidang” adalah benar-benar hasil karya sendiri, kecuali kutipan yang sudah saya sebutkan sumbernya, belum pernah diajukan pada institusi mana pun, dan bukan karya jiplakan. Saya bertanggung jawab atas keabsahan isinya sesuai dengan sikap ilmiah yang harus dijunjung tinggi.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya, tanpa adanya tekanan dan paksaan dari pihak manapun serta bersedia mendapat sanksi akademik jika ternyata dikemudian hari pernyataan ini tidak benar.

Jember, 02 Oktober 2017  
Yang menyatakan,

Robby Purtomo  
NIM. 131910201051

**SKRIPSI**

**ANALISIS EFISIENSI DAYA *FIBER OPTIC* TERPENGARUH JUMLAH  
LILITAN *BENDING* MENGGUNAKAN VARIASI DIAMETER BIDANG**

Oleh :

Robby Purtoomo

NIM 131910201051

Pembimbing

Dosen Pembimbing Utama : Widya Cahyadi , S.T., M.T.

Dosen Pembimbing Anggota : Suprihadi Prasetyono, S.T., M.T.

**PENGESAHAN**

Skripsi berjudul “ Analisis Efisiensi Daya *Fiber Optic* Terpengaruh Jumlah Lilitan *Bending* Menggunakan Variasi Diameter Bidang” telah diuji dan disahkan pada :

Hari, tanggal : Jumat, 3 November 2017

Tempat : Fakultas Teknik Universitas Jember

Tim penguji,

Ketua,

Anggota I,

Widya Cahyadi, S.T., M.T.  
NIP 198511102014041001

Suprihadi Prasetyono, S.T., M.T.  
NIP 197004041996011001

Anggota II,

Anggota III,

Dodi Setiabudi, S.T., M.T.  
NIP 198405312008121004

Ike Fibriani, S.T., M.Si.  
NIP 198002072015042001

Mengesahkan  
Dekan,

Dr. Ir. Entin Hidayah, M.U.M.  
NIP 196612151995032001



## RINGKASAN

**Analisis Efisiensi Daya *Fiber Optic* Terpengaruh Jumlah Lilitan *Bending* Menggunakan Variasi Diameter Bidang;** Robby Purtomo; 131910201051; 2017; 101 Halaman; Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Jember.

Perkembangan teknologi informasi yang semakin pesat di zaman modern mendorong tingginya kebutuhan masyarakat terhadap media transmisi. Media transmisi yang dapat menyalurkan informasi dengan kapasitas besar dan kecepatan tinggi. Penggunaan *fiber optic* adalah salah satu alternatif untuk menyelesaikan permasalahan di atas. Seiring dengan tuntutan pelayanan komunikasi yang terus meningkat, maka pemanfaatan *fiber optic* sebagai media transmisi merupakan hal yang sangat tepat. *Fiber optic* mampu melayani transfer data dengan kecepatan tinggi dalam waktu yang relatif singkat dan memiliki bentuk fisik yang relatif kecil. *Fiber optic* disebut sebagai media yang menyediakan *bandwidth* besar, tidak dipengaruhi interpolasi gelombang elektromagnetik, bebas korosi, distorsi dan rugi-rugi minimal untuk transportasi data. Berdasarkan proses pemanfaatan *fiber optic* di lapangan, terjadi beberapa masalah yang kurang disadari oleh pelanggan dan masyarakat umum. Permasalahan tersebut diawali dari berkurangnya kecepatan transfer sampai rugi-rugi yang diakibatkan oleh berbagai macam faktor eksternal dan internal. Rugi-rugi yang dimaksud antara lain rugi-rugi penyerapan, rugi-rugi pada inti dan *cladding*, rugi-rugi penyambungan dan rugi-rugi *bending*. Analisa yang membandingkan pengukuran dan perhitungan ini dilakukan berdasarkan rujukan-rujukan yang sudah ada. *Fiber optic singlemode* merupakan *fiber* yang memiliki inti berukuran sangat kecil dan diameternya berkisar 8 sampai 12 mikrometer. Pembengkokan pada *fiber optic singlemode* dapat menyebabkan timbulnya rugi daya yang cukup serius, dan lebih jauh lagi kemungkinan terjadinya kerusakan mekanis (pecahnya *fiber optic*). Sudut datang sinar dan posisi di mana sinar pertama kali mengenai bahan inti *fiber* menentukan jalur yang akan dilalui oleh



sinar di dalam *fiber optic*. Dari teori-teori yang sudah ada sebelumnya dinyatakan bahwa lengkungan akan mempengaruhi nilai daya terima. Berdasarkan percobaan pada diameter 12 cm dengan penambahan jumlah lilitan dari 1, 2, 3, ke 4 dapat dikatakan bahwa semakin banyak jumlah lilitan pada *fiber optic* maka nilai daya terima akan semakin dari daya sesungguhnya dan nilai daya hilang akan semakin besar. Dibanding dengan diameter sebelumnya yaitu nilai daya terima diameter 11.9 cm lebih besar di setiap penambahan lilitannya, begitu pula dengan nilai daya hilang. Nilai daya hilang pada diameter 12 cm lebih kecil dari pada nilai daya hilang diameter diameter sebelumnya. Dari berbagai percobaan, penggunaan daya akan eisien ketika diameter bidang melengkung semakin besar dan jumlah lilitannya semakin sedikit, ditambah lagi besar gelombang cahaya yang digunakan untuk mentransfer data lebih kecil.

## PRAKATA

Puji syukur ke hadirat Allah S.W.T. atas segala rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi berjudul “Analisis Efisiensi Daya *Fiber Optic* Terpengaruh Jumlah Lilitan *Bending* Menggunakan Variasi Diameter Bidang”. Skripsi ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat menyelesaikan pendidikan strata satu (S1) pada Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Jember. Penyusunan skripsi ini tidak lepas dari dukungan dan bantuan banyak pihak. Oleh karena itu, penulis ingin menyampaikan terimakasih kepada:

1. Ibu Dr. Ir. Entin Hidayah, M.UM., selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Jember;
2. Bapak Dr. Bambang Sri Kaloko, S.T., M.T. selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro Universitas Jember;
3. Bapak Widya Cahyadi, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing Utama, dan Supriyadi Prasetyono, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing Anggota yang telah bersedia meluangkan waktu dan pikiran untuk membimbing hingga pengerjaan skripsi ini selesai;
4. Bapak Dodi Setiabudi, S.T., M.T. selaku dosen penguji I;
5. Bapak Ike Fibriani, S.T., M.T. selaku dosen penguji II;
6. Seluruh Dosen Teknik Elektro yang telah memberikan bekal ilmu pengetahuan dan bimbingan selama mengikuti pendidikan di Jurusan teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Jember;
7. Para staf karyawan dan karyawan serta teknisi Fakultas teknik Universitas jember yang telah memberikan bantuan selama mengikuti pendidikan di Fakultas teknik Universitas Jember;
8. Ibunda Khusnul Khotijah dan Ayahanda Sandro Sutomo tercinta yang telah memberikan dorongan, semangat, kasih sayang, perhatian, kesabaran dan doa yang tak pernah putus demi mempermudah terselesaikannya skripsi ini;

9. Adikku Lelly Khusnul Khasanah yang telah memberikan dukungan, semangat, serta bantuannya.
10. Dulur-dulur INTEL (Elektro 2013) yang banyak membantu, dan memberi semangat dan dukungan sejak awal menjadi keluarga besar di teknik hari.
11. Konsentrasi Telkom Elektro 2013 yang memberikan banyak ilmu dan kenangan bersama.
12. Dan seluruh pihak yang tidak dapat saya sebutkan satu persatu. Penulis menyadari bahwa skripsi ini jauh dari kesempurnaan, untuk itu penulis menerima segala kritik dan saran dari semua pihak demi kesempurnaan skripsi. Akhir kata, semoga skripsi ini dapat berguna bagi pembaca dan bagi penulis sendiri pada khususnya semoga Allah SWT memberikan yang terbaik untuk kita semua. Aamiin.

Jember, 2 Oktober 2017

Penulis

DAFTAR ISI

|   |           |
|---|-----------|
| HALAMAN JUDUL .....                                     | i         |
| HALAMAN PERSEMBAHAN .....                               | ii        |
| HALAMAN MOTTO .....                                     | iii       |
| HALAMAN PERNYATAAN.....                                 | iv        |
| HALAMAN PENGESAHAN.....                                 | vi        |
| RINGKASAN .....   | vii       |
| PRAKATA .....   | ix        |
| DAFTAR ISI.....   | xi        |
| DAFTAR GAMBAR .....                                     | xiv       |
| DAFTAR TABEL .....                                      | xvi       |
| DAFTAR LAMPIRAN .....                                   | xvii      |
| <b>BAB 1. PENDAHULUAN</b>                               |           |
| <b>1.1 Latar Belakang.....</b>                          | <b>1</b>  |
| <b>1.2 Rumusan Masalah.....</b>                         | <b>2</b>  |
| <b>1.3 Tujuan Penelitian.....</b>                       | <b>3</b>  |
| <b>1.4 Manfaat Penelitian .....</b>                     | <b>3</b>  |
| <b>1.5 Batasan Masalah .....</b>                        | <b>3</b>  |
| <b>1.6 Sistematika Penulisan .....</b>                  | <b>3</b>  |
| <b>BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA</b>                          |           |
| <b>2.1 Matriks Permasalahan.....</b>                    | <b>5</b>  |
| <b>2.2 <i>Fiber Optic</i>.....</b>                      | <b>6</b>  |
| 2.2.1 Pengertian <i>fiber Optic</i> .....               | 6         |
| 2.2.2 Struktur dasar <i>Fiber Optic</i> .....           | 7         |
| 2.2.3 Jenis <i>Fiber Optic</i> .....                    | 8         |
| 2.2.4 <i>Bending Fiber Optic</i> .....                  | 10        |
| 2.2.5 Kode Warna selubung Luar <i>Fiber Optic</i> ..... | 11        |
| 2.2.6 <i>Fiber Optic Recommended ITU-T G652</i> .....   | 11        |
| <b>2.3 <i>Power Link Budget</i>.....</b>                | <b>12</b> |
| <b>2.4 <i>Power Loss Fiber</i>.....</b>                 | <b>12</b> |

|   |           |
|---|-----------|
| <b>2.5 JDSU MTS-8000 .....</b>  | <b>13</b> |
| <b>2.6 <i>Optical Time Domain reflectometer (OTDR)</i> .....</b>  | <b>13</b> |
| 2.6.1 Pengertian OTDR .....   | 13        |
| 2.6.2 Prinsip Kerja OTDR .....  | 15        |
| <b>2.7 Karakteristik Transmisi Pada <i>Fiber Optic</i> .....</b>  | <b>16</b> |
| 2.7.1 <i>Numerical Aperture</i> .....   | 16        |
| 2.7.2 Pemandu Gelombang .....   | 17        |
| 2.7.3 Rugi-rugi Daya <i>Fiber Optic</i> .....   | 18        |
| <b>BAB 3. METODE PENELITIAN</b>   |           |
| <b>3.1 <i>Tempat dan Waktu Penelitian</i> .....</b>   | <b>19</b> |
| 3.1.1 Tempat penelitian.....  | 19        |
| 3.1.2 Waktu Penelitian.....   | 19        |
| <b>3.2 Alat dan Bahan .....</b>   | <b>19</b> |
| <b>3.3 Tahap Penelitian .....</b>   | <b>20</b> |
| <b>3.4 Tahap Pengukuran dan Pengambilan Data .....</b>  | <b>21</b> |
| 3.4.1 Prosedur Penyambungan Kabel <i>Fiber Optic</i> .....  | 21        |
| 3.4.2 Penentuan Batas Diameter <i>Bending</i> .....   | 23        |
| 3.4.3 Pengambilan Data .....  | 23        |
| <b>3.5 Penentuan Diameter Performansi .....</b>   | <b>24</b> |
| 3.5.1 Perhitungan <i>Power Link Budget</i> .....  | 24        |
| 3.5.2 <i>Losses</i> Akibat Jumlah Lilitan <i>Bending</i> dengan Variasi Diameter Bidang .....                 | 24        |
| 3.5.3 Perhitungan <i>Power Loss Fiber</i> .....   | 25        |
| 3.5.3 Pengaruh Panjang Gelombang Terhadap Daya Hilang .....   | 25        |
| <b>3.6 Skema Pengambilan Data .....</b>   | <b>26</b> |
| <b>3.7 <i>Flowchart</i> Penelitian .....</b>  | <b>28</b> |
| <b>BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN</b>  |           |
| <b>4.1 Hasil Pengambilan Data .....</b>   | <b>29</b> |
| <b>4.2 Analisa Daya Hilang Terpengaruh Jumlah Lilitan <i>Bending</i> Dengan Variasi Diameter Bidang .....</b> | <b>48</b> |
| <b>4.3 Analisis Performansi Transmisi <i>Fiber Optic</i> Ketika Terpengaruh</b>                               |           |

|   |           |
|---|-----------|
| <b>Lilitan <i>Bending</i></b> .....                                       | <b>50</b> |
| 4.3.1 Analisis <i>Power Link Budget</i> .....                             | 51        |
| 4.2.2 Analisis <i>Power Loss Fiber</i> .....                              | 54        |
| <b>4.4 Analisis Perambatan Cahaya Pada <i>Fiber Optic</i> Terpengaruh</b> |           |
| <b>Lilitan <i>Bending</i> Dengan Variasi Diameter Bidang</b> .....        | <b>61</b> |
| <b>4.5 Analisis Efisiensi Daya dan Nilai <i>Error Persen</i></b> .....    | <b>65</b> |
| <b>BAB 5. KESIMPULAN DAN SARAN</b>  |           |
| <b>5.1 Kesimpulan</b> .....   | <b>69</b> |
| <b>5.2 Saran</b> .....  | <b>69</b> |
| <b>DAFTAR PUSTAKA</b> .....   | <b>70</b> |



**DAFTAR GAMBAR**

|  |    |
|--|----|
| 2.1 Struktur Dasar <i>Fiber Optic</i> .....  | 7  |
| 2.2 Bagan Jenis <i>Fiber Optic</i> .....   | 8  |
| 2.3 <i>Step Index Singlemode Fiber Optic</i> .....   | 8  |
| 2.4 <i>Step Index Multimode Fiber Optic</i> .....  | 9  |
| 2.5 <i>Graded Index Multimode Fiber Optic</i> .....  | 10 |
| 2.6 <i>Macrobending</i> .....  | 10 |
| 2.7 <i>Optical Time Domain Reflectometer</i> .....   | 15 |
| 2.8 Sudut Dimana Sinar Dapat Diterima Oleh <i>Fiber Optic</i> .....  | 16 |
| 2.9 Mekanisme Pemandu Gelombang Dengan Pendekatan Sinar <i>Optic</i> .....   | 18 |
| 3.1 Tahap Penelitian .....   | 20 |
| 3.2 Pemotongan <i>Fiber Optic</i> Menggunakan <i>Cleaver</i> .....   | 21 |
| 3.3 Pemotongan Yang Salah .....  | 22 |
| 3.4 Nilai <i>Loss</i> Dari Penyambungan .....  | 22 |
| 3.5 Skema Pengambilan Data .....   | 26 |
| 3.6 <i>Flowchart</i> Penelitian .....  | 28 |
| 4.1 Grafik Pengukuran Daya Terima dan Daya Hilang Pada Panjang<br>Gelombang 1310 nm .....                            | 43 |
| 4.2 Grafik Pengukuran Daya Terima dan Daya Hilang Pada Panjang<br>Gelombang 1550 nm .....                            | 44 |
| 4.3 Tampilan Besar Daya Hilang Pada Diameter bidang 0.4 cm dengan<br>1 Lilitan .....                                 | 45 |
| 4.4 Tampilan Besar Daya Hilang Pada Diameter Bidang 0.4 cm dengan<br>4 Lilitan .....                                 | 46 |
| 4.5 Tampilan Besar Daya Hilang Pada Diameter Bidang 12 cm dengan<br>1 Lilitan .....                                  | 47 |
| 4.6 Laju Cahaya Pada <i>Fiber Optic</i> Terlilit .....   | 49 |
| 4.7 Grafik Perbandingan Daya Terima dan <i>Power Link Budget</i> Pada<br>Panjang Gelombang 1310 nm dan 1550 nm ..... | 53 |
| 4.8 Grafik Perhitungan <i>Power Loss Fiber</i> .....   | 57 |



|   |    |
|---|----|
| 4.9 Perbandingan Daya Terima Pengukuran dan Perhitungan Menggunakan<br><i>Power Loss Fiber 1310 nm</i> .....  | 58 |
| 4.10 Perbandingan Daya Terima Pengukuran dan Perhitungan Menggunakan<br><i>Power Loss Fiber 1550 nm</i> ..... | 60 |
| 4.11 Pemantulan Sinar Pada <i>Fiber Optic</i> .....   | 63 |



**DAFTAR TABEL**

|   |    |
|---|----|
| 2.1 Matriks Permasalahan .....  | 6  |
| 2.2 Warna Selubung Luar <i>Fiber Optic</i> .....  | 11 |
| 2.3 Standart <i>Fiber Optic Recommended ITU-T G652</i> .....  | 11 |
| 4.1 Konfigurasi <i>Fiber Optic</i> .....  | 27 |
| 4.2 <i>Sample</i> Nilai Daya Terima dan Daya Hilang Pengukuran 1310 nm .....                              | 31 |
| 4.3 <i>Sample</i> Nilai Daya Terima dan Daya Hilang Pengukuran 1550 nm .....                              | 38 |
| 4.4 Nilai Daya Terima Menggunakan Perhitungan <i>Power Link Budget</i> 1310 nm .....                      | 53 |
| 4.5 <i>Sample</i> Hasil Perhitungan <i>Power Loss Fiber</i> .....   | 56 |
| 4.6 Perbandingan Daya Terima Pengukuran Dan Perhitungan Menggunakan <i>Power Loss Fiber</i> 1310 Nm ..... | 57 |
| 4.7 Perbandingan Daya Terima Pengukuran dan Perhitungan Menggunakan <i>Power Loss Fiber</i> 1550 nm.....  | 59 |
| 4.8 Nilai Efisiensi <i>Fiber Optic</i> Terpengaruh Jumlah Lengkungan Pada Diameter Berbeda .....          | 59 |
| 4.9 Nilai <i>Error Persen</i> Daya Terima .....   | 60 |

## DAFTAR LAMPIRAN

- LAMPIRAN A** Tabel Daya Terima dan Daya Hilang dengan 1310 nm
- LAMPIRAN B** Tabel Daya Terima dan Daya Hilang dengan 1550 nm
- LAMPIRAN C** Tabel Perhitungan *Power Loss Fiber*
- LAMPIRAN D** Tabel Perhitungan *Power Link Budget*
- LAMPIRAN E** Tabel Nilai efisiensi Daya Hilang
- LAMPIRAN F** Tabel Nilai *Error Persen*
- LAMPIRAN G** Perhitungan Daya Hilang Pada Setiap Lilitan
- LAMPIRAN H** Perhitungan *Power Loss Fiber*
- LAMPIRAN I** Perhitungan *Power Link Budget*
- LAMPIRAN J** Perhitungan Efisiensi Daya Hilang
- LAMPIRAN K** Perhitungan Nilai *Error Persen*
- LAMPIRAN L** Perhitungan Radius Kritis Berdasarkan nilai NA
- LAMPIRAN M** Gambar Pengukuran Daya Terima dan Daya Hilang  
Pada 1310 nm
- LAMPIRAN N** Gambar Pengukuran Daya Terima dan Daya Hilang  
Pada 1550 nm
- LAMPIRAN O** Gambar Perbandingan *Power Loss Fiber* 1550 nm
- LAMPIRAN P** Gambar Perbandingan Daya Terima Pengukuran dan  
Perhitungan Menggunakan *Power Loss Fiber* 1310 nm
- LAMPIRAN Q** Gambar Perbandingan Daya Terima Pengukuran dan  
Perhitungan Menggunakan *Power Loss Fiber* 1550 nm
- LAMPIRAN R** Gambar Perbandingan Daya Terima dan *Power Link Budget*  
Pada Panjang Gelombang 1310 nm dan 1550 nm
- LAMPIRAN S** Gambar Dokumentasi

## BAB 1. PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Perkembangan teknologi informasi yang semakin pesat di zaman modern mendorong tingginya kebutuhan masyarakat terhadap media transmisi. Media transmisi yang dapat menyalurkan informasi dengan kapasitas besar dan kecepatan tinggi. Penggunaan *fiber optic* adalah salah satu alternatif untuk menyelesaikan permasalahan di atas. Seiring dengan tuntutan pelayanan komunikasi yang terus meningkat, maka pemanfaatan *fiber optic* sebagai media transmisi merupakan hal yang sangat tepat. *Fiber optic* mampu melayani transfer data dengan kecepatan tinggi dalam waktu yang relatif singkat dan memiliki bentuk fisik yang relatif kecil. *Fiber optic* disebut sebagai media yang menyediakan *bandwidth* besar, tidak dipengaruhi interpolasi gelombang elektromagnetik, bebas korosi, distorsi dan rugi-rugi minimal untuk transportasi data. Berdasarkan proses pemanfaatan *fiber optic* di lapangan, terjadi beberapa masalah yang kurang disadari oleh pelanggan dan masyarakat umum. Permasalahan tersebut diawali dari berkurangnya kecepatan transfer sampai rugi-rugi yang diakibatkan oleh berbagai macam faktor eksternal dan internal. Rugi-rugi yang dimaksud antara lain rugi-rugi penyerapan, rugi-rugi pada inti dan *cladding*, rugi-rugi penyambungan dan rugi-rugi *bending*.

Pada penelitian sebelumnya yang telah dilakukan oleh Alif Riza Fahmi (Universitas Jember) dengan judul “Analisis Rugi-rugi Transmisi Serat Optik *Single Mode* Terhadap Pengaruh Kelengkungan Dengan Variasi Beberapa Kelengkungan Pada Jaringan Fiber To The Home ” meneliti tentang pengaruh ukuran diameter lengkungan dan panjang *fiber optic* terhadap besarnya daya keluar menggunakan OTDR (*Optical Time Domain Reflectometer*) Pada proses penelitian tersebut peneliti hanya menggunakan satu lengkungan pada setiap diameter yang sama. Pada penelitian selanjutnya yang telah dilakukan oleh Okfarima Mandasari (Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom) dengan judul “Analisis Daya Hilang Pada Serat Optik Melengkung Menggunakan Metode Geometris dan FDTD ” meneliti tentang pengaruh lengkungan terhadap daya

hilang. Penelitian tersebut hanya menggunakan panjang gelombang 632,8 nm. Jenis *fiber optic* yang digunakan adalah *multimode*. Dari penelitian tersebut masih terdapat beberapa kekurangan misalnya mengenai jumlah *type fiber* yang digunakan. Dari latar belakang di atas penulis mempunyai usulan untuk menganalisis efisiensi daya yang dipengaruhi oleh jumlah lilitan lengkungan menggunakan media berbentuk menyerupai tabung. Pada proses penyaluran cahaya dari sumber cahaya ke penerima, efisiensi daya dipengaruhi oleh daya hilang karakteristik *fiber optic*, panjang *fiber optic*, dan gangguan. Berdasarkan penelitian sebelumnya, maka akan diteliti nilai efisiensi daya yang terpengaruh diameter lilitan dan banyak lilitan. Penggunaan bidang tabung sebagai media lengkungan bertujuan untuk menjaga besar diameter lengkungan *fiber optic* saat penambahan lilitan agar memiliki besar yang sama. Berdasarkan penelitian tersebut diharapkan dapat memperoleh data besarnya daya total, daya terima setelah pelengkungan *fiber*, dan besarnya daya hilang pada setiap lilitan yang berbeda. Daya yang dimaksud bukan daya dengan satuan Watt melainkan daya pancar dari gelombang laser dengan satuan dB. Pengumpulan data tersebut menggunakan dua proses yaitu pengukuran dengan alat *Optical Time Domain Reflectometer* serta perhitungan daya hilang akibat lengkungan, *power loss fiber*, dan *power link budget*. Setelah mendapatkan semua data maka akan dilakukan analisa untuk memperoleh efisiensi dayanya.

## 1.2 Rumusan Masalah

Dari latar belakang yang tertera di atas maka diambil beberapa rumusan masalah sebagai berikut:

1. Bagaimana cara menghitung besar daya hilang pada setiap lilitan?
2. Bagaimana pengaruh banyak lilitan dan variasi diameter bidang pada daya terima sistem komunikasi *fiber optic*?
3. Bagaimana analisa efisiensi daya *fiber optic* terpengaruh jumlah lilitan menggunakan variasi diameter bidang?

### 1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Mengetahui besar pelemahan daya yang disebabkan oleh pengaruh jumlah lilitan yang berbeda dalam satu bidang.
2. Mengetahui efisiensi daya *fiber optic* terpengaruh jumlah lilitan menggunakan variasi diameter bidang

### 1.4 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Mengetahui efisiensi daya *fiber optic* terpengaruh jumlah lilitan menggunakan variasi diameter bidang
2. Memperoleh nilai pelemahan daya akibat pengaruh jumlah lilitan pada satu bidang yang memiliki diameter berbeda.

### 1.5 Batasan Masalah

Untuk memperjelas dan menghindari meluasnya permasalahan, maka ditentukan batasan masalah sebagai berikut :

1. Tidak membahas *hardware*
2. Objek yang digunakan adalah *Single Mode*
3. Panjang *fiber optic* yang digunakan adalah 18,96 m.
4. Bidang yang digunakan adalah berbentuk tabung
5. Diameter yang digunakan pada bidang tabung adalah 0.4 cm sampai 12 cm dan dapat dilihat pada lampiran A.
6. Jumlah lilitan yang digunakan pada bidang tabung adalah 1 sampai 4 lilitan.
7. Panjang gelombang yang digunakan adalah 1310 nm dan 1550 nm.

### 1,6 Sistematika Penulisan

Secara garis besar penyusunan tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

#### BAB 1. PENDAHULUAN



Berisi tentang latar belakang, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan masalah, manfaat permasalahan, dan sistematika penulisan

## **BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA**

Berisi tentang teori dan penelitian terdahulu yang digunakan sebagai dasar pendukung penyusunan tugas akhir.

## **BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN**

Menjelaskan tentang metode yang digunakan untuk menyelesaikan permasalahan pada tugas akhir.

## **BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN**

Berisi tentang analisa yang telah didapatkan dari proses penyelesaian masalah pada tugas akhir.

## **BAB 5. PENUTUP**

Berisi kesimpulan yang diperoleh dari penyelesaian permasalahan pada tugas akhir dan saran yang digunakan untuk mengembangkan penelitian berikutnya.

## **DAFTAR PUSTAKA**



## BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

Komunikasi telah menjadi kebutuhan pokok dalam dunia modern. Kata komunikasi dapat diartikan sebagai cara untuk menyampaikan atau menyebarkan data, informasi, berita, pikiran, dan pendapat dalam berbagai bentuk. Manusia dapat melakukan berbagai cara untuk melakukan komunikasi. Bila informasi harus dikirim melewati suatu jarak maka diperlukan sistem komunikasi. Dengan sistem komunikasi, transfer informasi dapat berlangsung seperti misalnya dengan berbicara, berbisik, memukul kentongan sampai pada berkirim surat dengan bantuan kantor pos dan sebagainya.

Maraknya transfer data dalam jumlah yang besar seperti aplikasi multimedia, turut mengundang penggunaan teknologi *fiber optic* sampai ke pengguna. Aplikasi ini tentunya sangat membutuhkan media transmisi yang dapat diandalkan dari segi kualitas sinyal, waktu akses, keamanan data, daerah cakupan penerima yang luas, maupun harga jual yang kompetitif. Oleh karena itu tuntutan akan kebutuhan kualitas layanan komunikasi terutama dari sisi jaringan akses maka penggunaan kabel tembaga dan jenis lainnya mulai digantikan oleh teknologi *fiber optic* sebagai media transmisi. Berdasarkan kinerja di lapangan, kinerja system komunikasi *fiber optic* sangat membantu banyak pengguna dalam proses pengiriman data kecil maupun besar. Kapasitas *bandwith* dari *fiber optic* dapat memungkinkan masyarakat untuk hal yang lebih bermanfaat.

### 2.1 Matriks Permasalahan.

Matriks permasalahan adalah rangkuman dari sumber-sumber lain berupa jurnal atau tugas akhir yang digunakan sebagai rujukan atau pembanding. Di bawah ini adalah tabel matriks permasalahan yang merupakan rangkuman dari penelitian-penelitian terdahulu

Tabel 2.1 Matriks permasalahan

| No | Judul  | Masalah  | Solusi  | Metode   | Hasil  |
|----|--|--|---|--|--|
| 1  | Analisa Redaman Serat Optik Terhadap Kinerja Sistem Komunikaasi Serat Optik Menggunakan Metode Optical link Power Budget                               | Kinerja sistem komunikasi serat optik terhadap pengaruh redaman di sepanjang jalur kabel serat optik | Penggunaan alat bantu diantaranya JDSU MTS 8000 dan Power Meter sebagai alat untuk mendapatkan data | Perhitungan dengan menggunakan metode Link power budget        | Nilai redaman dari hasil perhitungan sebagai pembanding pengukuran                       |
| 2  | Analisis Rugi-rugi Transmisi Serat Optik Single Mode Terhadap Pengaruh Kelengkungan Dengan variasi Beberapa Lengkungan Pada Jaringan Fiber To The Home | Nilai daya terima setelah dilakukan pembengkokan pada serat optik                                    | Penggunaan alat bantu Optical Time Domain Reflectometer   | Perhitungan menggunakan power link budged dan power loss fiber | Nilai daya terima semakin menjauhi daya pancar ketika diameter lengkungan semakin kecil. |
| 3  | Analisis Daya Hilang Pada Serat Optik Melengkung Menggunakan Metode Geometris Dan FDTD   | Nilai daya terima setelah dilakukan pembengkokan pada serat optic                                    | Penggunssn Metode Geometris dan FDTD  | Komparasi Metode Geometris dan FDTD                            | Hasil analisis pendekatan FDTD memberikan hasil yang lebih valid                         |

Sumber : Hasil Obervasi

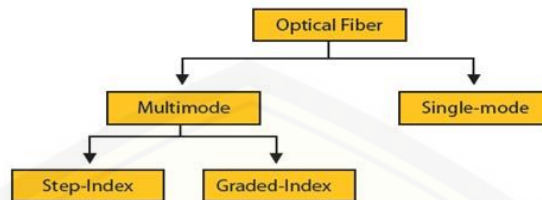
## 2.2 Fiber Optic

### 2.2.1 Pengertian *Fiber Optic*

*Fiber Optic* adalah saluran transmisi yang terbuat dari kaca atau plastik yang digunakan untuk mentransmisikan sinyal cahaya dari suatu tempat ke tempat lain. Cahaya yang ada di dalam serat optik sulit keluar karena indeks bias dari kaca lebih besar daripada indeks bias dari udara. Sumber cahaya yang digunakan

### 2.2.3 Jenis *Fiber Optic*

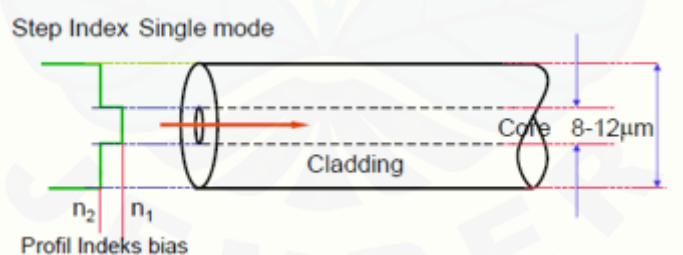
Jenis *fiber optic* secara umum dapat dibedakan menjadi beberapa jenis. Jenis-jenis *fiber optic* dapat dilihat pada gambar 2.2 di bawah.



Gambar 2.2 Bagan Jenis *Fiber Optic*

#### 1. *Fiber Optic Single-mode/ Monomode*

Kelebihan dari serat optik mode tunggal (*single mode*) adalah memiliki performansi yang lebih tinggi dibandingkan dengan kedua jenis serat optik yang lain, terutama dalam penggunaan bandwidth dan redaman saluran. Pengurangan diameter inti pada serat optik single mode membatasi lintasan cahaya hanya satu lintasan. Sebuah serat mode tunggal dapat membawa sinyal 10 s/d 40 Gbps atau lebih dalam satu saluran yang cukup panjang. Kapasitas sinyal yang dibawa dapat ditingkatkan dengan meningkatkan sinyal yang ditransmisikan pada panjang gelombang yang berbeda. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar di bawah ini :



Gambar 2.3 *Step Index Single Mode Fiber Optic*

(Sumber: (Prasetya, 2009))

Ukuran inti serat yang sangat kecil umumnya memerlukan sumber cahaya dengan intensitas cukup tinggi untuk memperoleh efisiensi akibat penggabungan, seperti halnya penyambungan tetap (*splicing*) dan konektor. Ukuran diameter inti pada *single mode* memiliki range 8 s/d 12  $\mu\text{m}$  dengan diameter pembungkus (*cladding*) 125  $\mu\text{m}$ . (Nhiwatiwa, 2012)

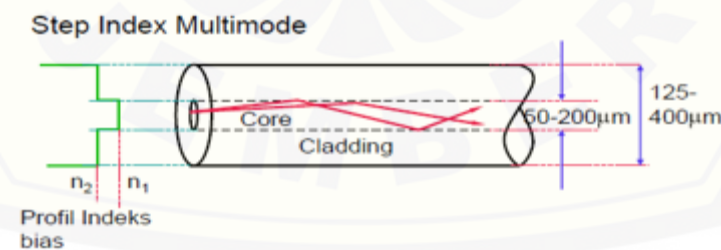
Pada *fiber optic monomode* terdapat empat tipe kabel yang sering digunakan yaitu:

- a. G.652 *Standart Single-mode Fiber*
- b. G.653 *Dispertion Shifted Single Mode Fiber*
- c. G.653 *Carateristic Of Cut Off Shifted Model Fiber Cable*
- d. G.655 *Dispertion Shifted No Zero Dispertion Fiber*

## 2. *Fiber Optic Multimode*

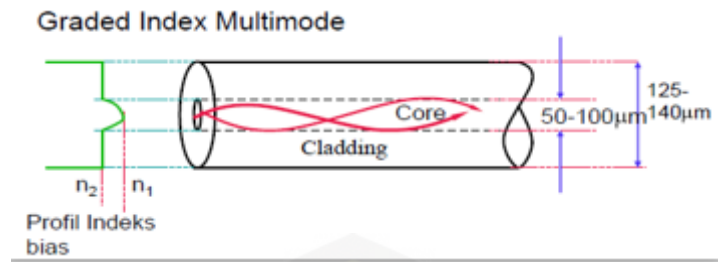
Jenis *fiber optic* ini dengan rambatan cahaya dari satu ujung ke ujung lainnya terjadi melalui beberapa lintasan cahaya, karena itu disebut *multimode*. Diameter inti sesuai dengan rekomendasi dari CCITT G.651 sebesar  $50\ \mu\text{m}$  dan dilapisi oleh jaket selubung dengan diameter  $125\ \mu\text{m}$ .

Sedangkan berdasarkan susunan indeks biasanya *fiber optic multimode* memiliki dua profil yaitu *graded index* dan *step index*. Pada serat *graded index*, *fiber optic* mempunyai indeks bias cahaya yang merupakan fungsi dari jarak terhadap sumbu atau poros serat optik. Cahaya yang menjalar melalui beberapa lintasan pada akhirnya akan sampai pada ujung lainnya pada waktu bersamaan. Sedang pada serat optik *step index*, indeks bias antara inti dan lapisan inti berbeda sehingga sinar yang menjalar pada sumbu memiliki jarak tempuh yang berbeda-beda. Akibatnya sinar tersebut tiba di ujung seberang pada waktu yang tidak sama pula. (Nhiwatiwa, 2012) Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar di bawah ini :



Gambar 2.4 *Step Index Multimode Fiber Optic*

(Sumber : (Prasetya, 2009))



Gambar 2.5 Graded Index Multimode Fiber Optic

(Sumber : (Prasetya, 2009))

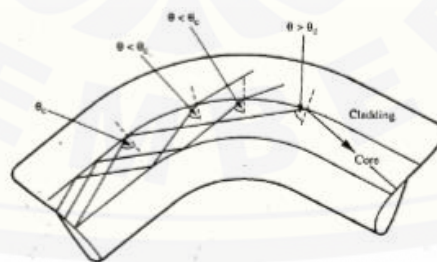
### 2.2.4 Bending Fiber Optic

Rumusan sederhana untuk menjelaskan banyaknya gangguan karena pembengkokkan (*bending*) pada serat dinyatakan dalam persamaan :

$$\sigma_s = \left[ \frac{R+2r}{R+r} - 1 \right] 100\% \dots\dots\dots(2.1)$$

#### a. Macrobending

*Macrobending* adalah pelengkungan *fiber optic* sebagai akibat dari kegiatan instalasi atau pemasangan serat optik. Jika suatu *fiber optic* dilengkungkan, maka tegangan (*strain*) akan terjadi pada sekitar lengkungan. Tegangan tersebut akan mempengaruhi indeks bias dan sudut kritis dari cahaya pada area tertentu. Akibatnya, cahaya yang merambat di dalam inti serat akan terbias keluar dari inti dan terjadi rugi-rugi.



Gambar 2.6 Macrobending

(Sumber : (Prasetya, 2009))



### b. *Microbending*

*Microbending* merupakan kerusakan skala kecil yang kasat mata yang terjadi pada *fiber optic*. Timbulnya *distorsi* semacam ini sangat mungkin diakibatkan oleh suhu, beban tegang (*tensile stress*) dan beban tumbuk (*crushing stress*) selama proses produksi atau kegiatan instalasi. Seperti halnya *macro bending*, maka pada *microbending* akan mengakibatkan ketidak sempurnaan permukaan pantul *fiber optic* sehingga sebagian sinar akan dibiaskan keluar. Akibatnya terjadi penurunan daya optis di dalam gelas. Oleh karena sifatnya kasat mata, *microbeding* ini sulit ditemukan pada tahap pemeriksaan dan pengujian. Pada proses pembuatan *fiber optic*, *microbending* ini masih dapat diperbaiki.

#### 2.2.5 Kode Warna Selubung Luar *Fiber Optic*

Berdasarkan standarisasinya kode warna dari selubung luar *fiber optic* sebagai berikut

Tabel 2.2 Warna selubung luar *fiber optic*

| Warna selubung Luar | Penjelasan                                     |
|---------------------|--|
| Kuning              | <i>Single mode</i>                             |
| Orange              | <i>Multimode</i>                               |
| Aqua                | <i>Optimal laser 10 giga multimode</i>         |
| Abu-abu             | <i>Multimode yang tidak digunakan lagi</i>     |
| Biru                | Kadang masih digunakan dalam model perancangan |

Sumber : Hasil Observasi

#### 2.2.6 *Fiber Optic Recommended* ITU-T G652

Berdasarkan ITU-T G652, dibawah ini merupakan standarisasi *fiber optic* yang digunakan dalam penelitian

Tabel 2.3 Standart *Fiber Optic Recommended* ITU-T

| Attribute           | Detail                  | Value          |
|---------------------|-------------------------|----------------|
| Mode Field Diameter | Wavelength              | 1310 nm        |
|                     | Range of Nominal Values | 8.6-9.5 mikron |
|                     | Tolerance               | +/- 0.6 mikron |
| Cladding diameter   | Nominal                 | 125 mikron     |

Tabel Lanjutan Tabel 2.3 Standart *Fiber Optic* Recommended ITU-T

|                          |                    |              |
|--------------------------|--------------------|--------------|
| Cladding diameter        | Tolerance          | +/- 1 mikron |
| Core concentricity error | Maximum            | 0.6 mikron   |
| Cladding Noncircularity  | maximum            | 1.0 %        |
| Cable cut-off wavelength | maximum            | 1260 nm      |
| Macrobend loss           | Radius             | 30 mm        |
|                          | Number of tures    | 100          |
|                          | Maximal at 1550 nm | 0.1 mV       |
| Proof stress             | maximum            | 0.69 GPa     |

Sumber : ITU-T *G-Series Recommendation*

### 2.3 Power Link Budget

*Power budget* merupakan hal yang paling penting untuk sistem transmisi optik. Dengan mengurangi seluruh redaman *optic* pada sistem daya yang dikirimkan transmitter. Perencanaan sistem *fiber optic* harus dipastikan bahwa sistem tersebut harus mempunyai daya yang cukup untuk mengemudikan receiver pada level yang diinginkan . *Power link budget* dapat dihitung dengan persamaan di bawah ini:

Untuk Persamaan PLB yaitu:

$$P_{rx} = P_{tx} - (\text{Daya Hilang} + \text{Margin}) \dots \dots \dots (2.2)$$

Dimana  $P_{rx}$  = Daya Pada Receiver

$P_{tx}$  = Daya Pada Transmitter

*Margin* = Nilai yang menjadi kompensasi redaman *fiber optic*

### 2.4 Power Loss Fiber

*Power loss fiber* digunakan sebagai cara untuk mengetahui kinerja sistem pada total daya terima yang telah dipengaruhi lengkungan dimana rumus untuk mencari parameter tersebut adalah sebagai berikut :

Untuk *Power Loss Fiber* yaitu:

$$A = 10 \log(P_{out} / P_{in}) \dots \dots \dots (2.3)$$



$$P = P_t 10^{-AL/10} - \text{Daya Hilang} \dots \dots \dots (2.4)$$

|        |           |                                      |
|--------|-----------|--------------------------------------|
| Dimana | $A$       | = Pengurangan total pada level power |
|        | $P_{out}$ | = Power Output                       |
|        | $P_{in}$  | = Power Input                        |
|        | $P$       | = Level Power yang diukur            |
|        | $P_t$     | = Level Power yang ditransmisikan    |
|        | $L$       | = Panjang fiber                      |
|        | Loss      | = Daya Hilang                        |

## 2.5 JDSU MTS-8000

JDSU adalah modul transport yang menggunakan bahan kemasan anti statis untuk menghubungkan modul ke unit dasar. Terdapat tiga jenis JDSU yaitu:

### 1. Optical Time Domain Reflectometer

Merupakan peralatan optoelektronik yang digunakan untuk mengukur parameter-parameter seperti pelemahan, panjang, dan penyambungan, dalam sistem komunikasi fiber optic.

### 2. Chromatic Dispersion (CD)

Berfungsi untuk mengukur dispersi kromatik, *delay*, dan *slope* dari sinyal optic pada panjang gelombang yang berbeda.

### 3. Optical Spectrum Analyzer (OSA)

Berfungsi untuk mengukur kerapatan spektral dari sinyal optic pada panjang gelombang yang berbeda.

## 2.6 Optical Time Domain Reflectometer (OTDR)

### 2.6.1 Pengenalan OTDR

OTDR merupakan instrument opto-elektronik yang digunakan untuk mengkarakterisasi sebuah fiber optic dengan menyuntikkan deretan pulsa-pulsa optik ke dalam fiber optic yang dites dan juga mengambil (dari fiber optic yang sama) cahaya yang terhambur (Rayleigh Backscatter) atau dipantulkan kembali dari titik-titik di sepanjang fiber optic. Kuatnya pulsa yang kembali kemudian

diukur dan diintegrasikan sebagai fungsi waktu, lalu diplot sebagai fungsi dari panjang fiber optic. OTDR dapat digunakan untuk memperkirakan panjang fiber optic dan atenuasi secara keseluruhan, termasuk splice dan rugi-rugi pada konektor. OTDR juga dapat digunakan untuk mencari letak kerusakan seperti perpatahan dan juga mengukur return loss optical. Untuk mengukur peredaman dari beberapa serat, maka diperlukan memeriksa satu-satu kemudian merata-ratakan hasilnya. Sebagai tambahan dari peralatan optik dan elektronik yang khusus, OTDR juga mempunyai kemampuan menghitung yang cukup baik dan tampilan grafik, sehingga dapat menghasilkan otomatis tes yang berarti. Bagaimanapun, untuk mengoperasikan peralatan dengan tepat dan melakukan interpretasi dari sebuah jejak OTDR, diperlukan pelatihan teknis secara khusus dan pengalaman. OTDR umumnya digunakan untuk mengkarakterisasi rugi-rugi dan panjang dari serat optik saat dikirim dari manufaktur awal, menuju pengkabelan, penyimpanan saat digulung dengan drum, instalasi, dan splicing. Hasil tes OTDR selalu disimpan dengan seksama, untuk berjaga-jaga jika sewaktu-waktu terjadi kegagalan serat optik ataupun untuk klaim garansi. OTDR sering juga digunakan untuk mencari kegagalan dari sistem yang sudah terpasang. Dalam hal ini, acuan berupa jejak OTDR saat instalasi sangat berguna untuk menentukan dimana perubahan telah terjadi. Penggunaan OTDR untuk mencari letak kegagalan memerlukan operator berpengalaman yang dapat menentukan pengaturan instrumen yang tepat untuk mencari solusi masalah yang benar. Hal ini terutama diperlukan untuk masalah-masalah yang berkaitan dengan jarak yang jauh dan splice atau konektor yang jaraknya saling berdekatan. OTDR tersedia dengan bermacam-macam jenis serat optik dan panjang gelombang, untuk menyesuaikan dengan aplikasi yang umum. Biasanya, pengesanan OTDR dengan panjang gelombang yang lebih panjang seperti 1550 nm atau 1625 nm dapat digunakan untuk mengidentifikasi atenuasi serat optik yang disebabkan oleh masalah serat optik. Jarak dinamik optikal dari OTDR dibatasi dengan kombinasi dari daya keluaran pulsa optikal, lebar pulsa optikal, sensitivitas input, dan waktu integrasi sinyal. Semakin tinggi daya optis keluaran, semakin baik sensitivitas input, dan berhubungan secara langsung dengan rentang pengukuran yang semakin jauh. Daya keluaran pulsa optikal ini biasanya

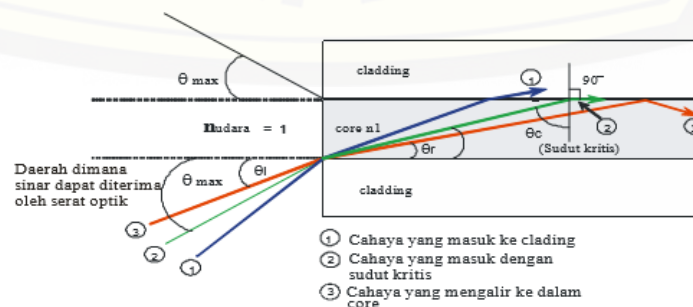
## 2.6.2 Prinsip Kerja *Optical Time Domain Reflectometer*

OTDR memancarkan laser berdaya tinggi dengan menggunakan clock tertentu, melalui coupler, menuju serat optik yang sedang dites. Kemudian di dalam serat optik terjadi fenomena backscatter, sehingga menyebabkan ada sebagian cahaya yang terpencar dan kembali menuju coupler. Dari coupler, sinyal optik yang lemah tersebut menuju Avalanche Photodiode (APD) dan amplifier untuk dideteksi sekaligus dikuatkan dalam wujud sinyal elektrik. Sinyal elektrik yang sudah lebih kuat tersebut menuju sample and hold yang mampu mengambil sampel dari sinyal yang secara terus menerus berubah dan menahan (mengunci) nilainya pada level yang konstan selama periode waktu tertentu. Setelah didapatkan sinyal yang nilainya sudah konstan, sinyal menuju Analog to Digital Converter (ADC) untuk mengubah sinyal analog menjadi sinyal digital agar dapat diproses lebih lanjut. Sinyal digital tersebut kemudian menuju Digital Signal Processor (DSP) untuk diproses. Hasil proses dari DSP kemudian masuk ke prosesor dan memori untuk kemudian ditampilkan pada layar OTDR

## 2.7 Karakteristik Transmisi pada Serat Optik

### 2.7.1 Numerical Aperture

Sinar cahaya yang masuk ke dalam inti serat optik membentuk sudut datang tertentu terhadap poros serat optik. Sudut yang menuju ke arah permukaan serat optik ( $n_{udara} = 1$ ), tidak semua akan diteruskan. Tetapi ada syarat tertentu agar sinar yang datang tersebut dapat diteruskan. Gambar 2.7 menunjukkan adanya sudut dimana sinar diterima oleh serat optik yang disebut sebagai *Numerical Aperture*



Gambar 2. 8 Sudut dimana sinar dapat diterima oleh *fiber optic* (Prasetya, 2009)

Sinar tak dapat diterima jika melebihi wilayah  $\theta_{\max}$ . Karena sinar yang masuk memiliki sudut datang lebih besar dari  $\theta_{\max}$  sehingga sinar tersebut masuk namun tidak dapat berlanjut dan keluar. Sedangkan semua sinar yang berada di wilayah  $\theta_{\max}$  dapat masuk ke dalam serat optik, dengan batas kritis sejauh  $\theta_{\max}$ . Dengan menerapkan hukum Snellius,  $\theta_{\max}$  dapat ditentukan dengan Persamaan dibawah ini.

$$NA = \sin \theta_{\max} = \sqrt{n_1^2 - n_2^2} \dots \dots \dots (2.5)$$

Parameter  $\Delta$  dikatakan sebagai perbedaan indeks core-cladding, didefinisikan sebagai

$$n_2 = n_1(1 - \Delta) \dots \dots \dots (2.6)$$

dimana NA = *Numerical Aperture*

$\theta_{\max}$  = Sudut terima maksimal

$n_1$  = Indeks Bias Core

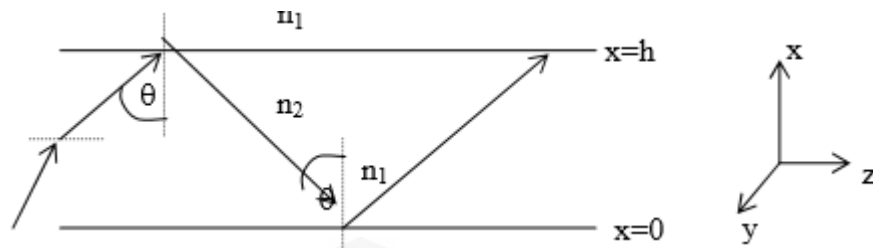
$n_2$  = Indeks Bias *cladding*

$\Delta$  = Beda Indeks Bias

Dimana perbedaan indeks  $\Delta$  lebih kecil dari 1. Sejak numerical aperture berhubungan dengan sudut maksimal yang dapat diterima, persamaan itu dapat digunakan untuk menjelaskan sinar yang diterima serat optik dan untuk menghitung efisiensi sumber sinar menuju serat optik.

### 2.7.2 Pemandu Gelombang

Mekanisme terjadinya gelombang terpancu dalam pemandu gelombang dapat dijelaskan dengan pendekatan sinar optik maupun mode gelombang. Dalam pendekatan sinar optik, gambaran mengenai mode-mode gelombang terpancu dapat dijelaskan sebagai berkas yang terpancu melalui lintasan zig-zag di dalam film akibat pemantulan total seperti pada gambar 2.8



Gambar 2.9. Mekanisme pemanduan gelombang dengan pendekatan sinar optik (Nhiwatiwa, 2012)

Untuk penyederhanaan bahan lapisan dalam pandu gelombang, bahan memiliki sifat : homogen yakni harga indeks bias tidak bergantung pada posisi, isotropis yakni harga indeks bias tidak bergantung arah, linier yakni harga indeks bias tidak bergantung pada kekuatan medan, serta lossless yakni tidak terjadi absorpsi energi oleh bahan dan gelombang yang masuk mengalami atenuasi.

### 2.7.3 Rugi-Rugi Daya pada *Fiber Optic*

Energi atau daya yang dibawa oleh cahaya akan mengalami pelemahan (rugi-rugi/loss) akibat terjadinya kebocoran atau karena kurangnya kejernihan bahan serat optik. Besaran pelemahan energi sinyal informasi dari fiber optik yang dinyatakan dalam deci-Bell (mV) dan disebabkan oleh 3 faktor utama yaitu absorpsi, hamburan (scattering) dan bending losses. Gelas yang merupakan bahan pembuat fiber optik biasanya terbentuk dari silicon-dioksida (SiO<sub>2</sub>). Variasi indeks bias diperoleh dengan menambahkan bahan lain seperti oksida titanium, thallium, germanium atau boron. Dengan susunan bahan yang tepat maka akan didapatkan atenuasi yang sekecil mungkin. Atenuasi menyebabkan pelemahan energi sehingga amplitudo gelombang yang sampai pada penerima menjadi lebih kecil dari pada amplitudo yang dikirimkan oleh pemancar. Besarnya atenuasi dapat dicari dengan rumus pada Persamaan di bawah ini.

$$dB = 10 \log \frac{P_1}{P_2} \dots\dots\dots(2.7)$$

Dimana:

- P<sub>1</sub> = Daya awal yang masuk (Watt)
- P<sub>2</sub> = Daya yang diterima (Watt)
- dB = *deci-Bell* (satuan atenuasi)



### BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN

Dalam metodologi penelitian ini akan dijelaskan tentang hal pokok yang akan ditampilkan dalam diagram alur dan segala sesuatu yang akan dilakukan dalam penelitian ini.

#### 3.1 Tempat dan Waktu Penelitian

##### 3.1.1 Tempat Penelitian

Untuk tempat pelaksanaan dan pengambilan *sample* data dilakukan di PT. Telkom Indonesia, Tbk. dan terapan Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Jember

##### 3.1.2 Waktu Penelitian

Penelitian akan dilakukan pada Juni 2017

#### 3.2 Alat dan Bahan

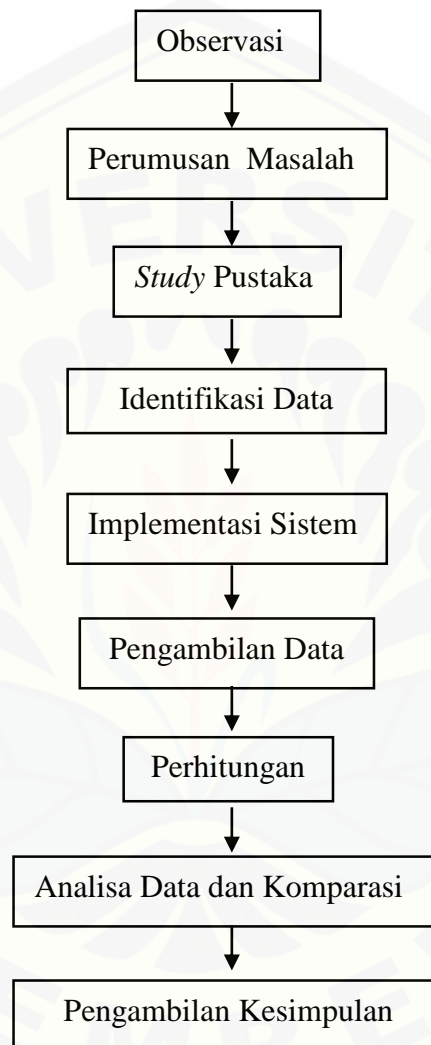
Alat dan bahan yang dibutuhkan dalam penelitian ini adalah

1. *Optical Time Domain Reflectometer.*
2. Perangkat pemotong
3. *Closure*
4. *Lupsheat Cutter*
5. *Rotary pip*
6. *Cleaver*
7. *Fiber Stripper*
8. *Slave Potection*
9. Obeng
10. Tang
11. Alkohol
12. Bensin
13. Tissue
14. *Fiber optic*



### 3.3 Tahap Penelitian

Penyusunan tugas akhir ini memiliki beberapa tahapan untuk memperoleh informasi yang dibutuhkan dalam penelitian. Tahapan penelitian yang dilakukan untuk memperoleh data dapat dilihat pada gambar 3.1 dibawah ini:



Gambar 3.1 Tahapan Penelitian

### 3.4.2 Penentuan Batas Diameter *Bending*

1. Penentuan diameter *bending* yang tidak terdeteksi oleh OTDR dengan mencoba beberapa diameter.
2. Penentuan Batas *bending* paling kecil agar menghindari *fiber optic* patah.
3. Penentuan Jumlah Lilitan agar *fiber optic* nantinya dapat di masukkan kedalam *cleasure*.

### 3.4.3 Pengambilan Data

1. Pengambilan data dilakukan dengan menggunakan panjang gelombang yang berbeda.
2. Data yang diambil adalah Daya terima dan daya pancar.
3. Panjang gelombang yang digunakan adalah 1310 nm dan 1550 nm.
4. *Bending* yang digunakan pertama berdiameter 12 cm dengan jumlah 1 lilitan *bending*.
5. Besar daya pancar yang digunakan adalah 60 mW
6. Pengambilan data daya hilang akan dilakukan pada setiap perubahan diameter bidang dan jumlah lilitan *bending*.
7. OTDR akan dihubungkan pada OTB yang terdapat pada ruang server pada PT.Telkom Indonesia, Tbk.
8. Setelah OTDR dihubungkan maka akan dilakukan pembuatan *bending* sambungan *fiber optic*.
9. Data Tampilan dari OTDR akan dipindah secara manual kedalam MS.Excel
10. Hal tersebut akan dilakukan sesuai dengan jumlah lilitan, diameter *bending*, dan panjang gelombang yang digunakan pada pengambilan data
11. Percobaan akan dilakukan pada bidang yang menyerupai tabung dan data diubah diameternya.
12. Setelah di lakukan pengambilan data maka *fiber optic* akan dimasukkan kedalam *cleasure* dengan diameter bidang yang memiliki daya hilang paling kecil.
13. *Cleasure* akan ditanam kembali didalam tanah.

### 3.5 Tahap Penentuan Parameter Performansi Daya *Fiber Optic*

Beberapa analisis yang digunakan untuk memastikan daya pada system komunikasi *fiber optic* sudah efisien adalah sebagai berikut

#### 3.5.1 *Power Link Budget*

*Power Link Budget* adalah analisis perhitungan daya yang dilakukan pada suatu system transmisi yang didasarkan pada saluran, sumber optic, dan parameter performansi daya.

Nilai *Power Link Budget* Pada Saat Diameter Bidang 0,4 cm dengan 1 Lilitan (1310 nm)

$$\begin{aligned} P_{rx} &= P_{tx} - (\text{Daya Hilang} + \text{Margin}) \\ &= 60 \text{ mV} - (3.072 \text{ mV} + 0.35 \text{ mV}) \\ &= 56.578 \text{ mV} \end{aligned}$$

Nilai *Power Link Budget* Pada Saat Diameter Bidang 0,4 cm dengan 2 Lilitan (1310 nm)

$$\begin{aligned} P_{rx} &= P_{tx} - (\text{Daya Hilang} + \text{Margin}) \\ &= 60 \text{ mV} - (5.0322 \text{ mV} + 0.35 \text{ mV}) \\ &= 54.6178 \text{ mV} \end{aligned}$$

#### 3.5.2 *Losses* Akibat Jumlah Lilitan dan Diameter Bidang

*Losses* yang diperhitungkan adalah *losses* pada setiap pemberian lilitan *bending* dengan dan diameter *bending* itu sendiri. Persamaan yang digunakan untuk mengetahui jumlah *losses bending* pada *fiber optic* adalah sebagai berikut:

$$A = 10 \log(P_{out}/P_{in})$$

Nilai *Losses* pada Diameter bidang Lengkung 0,5 cm 1 Lilitan (1310 nm)

$$\begin{aligned} A &= 10 \log(P_{out}/P_{in}) \\ &= 10 \log(56.928/60) \\ &= -0.228238 \text{ dB/Km} \end{aligned}$$

### 3.5.3 Power Loss Fiber

*Power loss fiber* digunakan sebagai cara untuk mengetahui kinerja sistem pada total daya terima yang telah dipengaruhi lengkungan dimana rumus untuk mencari parameter tersebut adalah sebagai berikut :

Untuk *Power Loss Fiber* yaitu:

$$\begin{aligned} P &= P_t 10^{AL/10} - \text{Daya Hilang} \\ &= 60 \text{ dB } 10^{-0.378201471 \times 0,01896/10} - 5.004 \\ &= 54.897 \text{ dB} \end{aligned}$$

### 3.5.4 Pengaruh Panjang Gelombang terhadap Daya Hilang

Panjang Gelombang merupakan salah satu Faktor yang mempengaruhi performansi daya pada *fiber optic*. Untuk mengetahui pengaruh panjang gelombang terhadap performansi daya *fiber optic* maka langkah yang dilakukan adalah sebagai berikut

1. Mencari nilai NA

$$NA = \sin \theta_{\text{maks}} = \sqrt{n_1^2 - n_2^2}$$

$$NA = \sin \theta_{\text{maks}} = \sqrt{1.48^2 - 1.46^2}$$

$$NA = \sin \theta_{\text{maks}} = \sqrt{2.1904 - 2.1316}$$

$$NA = \sin \theta_{\text{maks}} = 0.242$$

Setelah nilai NA diketahui maka langkah selanjutnya adalah mencari nilai  $R_c$

Pada Panjang gelombang 1310 nm

$$R_c = \frac{3n_2\lambda}{4\pi(NA)^2}$$

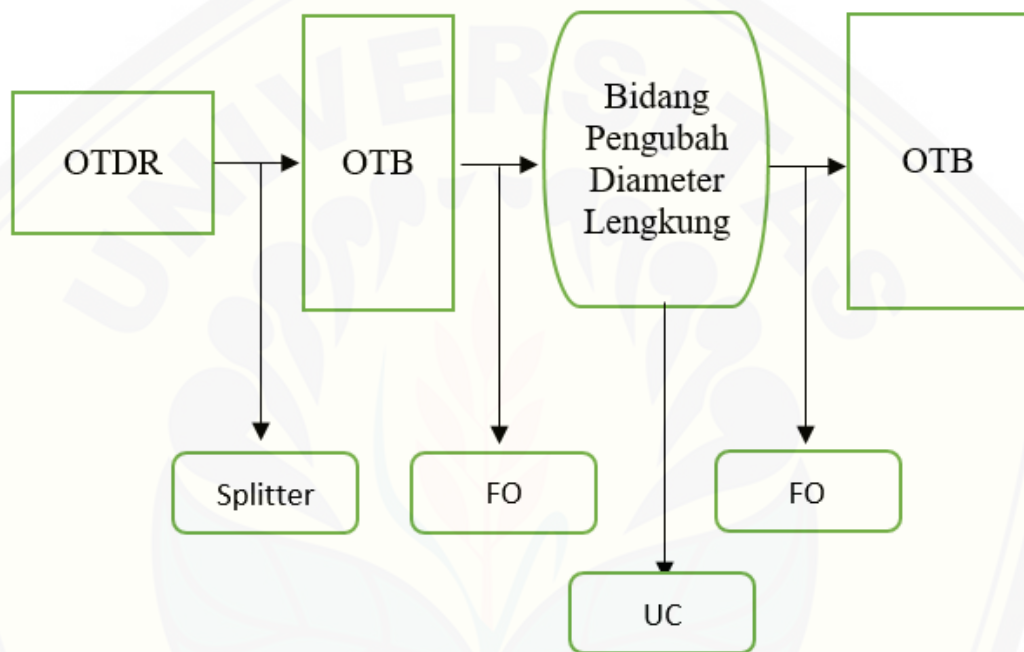
$$R_c = \frac{3 \times 1.46 \times 0.00000131}{4 \times 3.14(0.242)^2} = 7.8 \times 10^{-6} \text{ dB}$$

Pada Panjang Gelombang 1550 nm

$$R_c = \frac{3n_2\lambda}{4\pi(NA)^2}$$

$$R_c = \frac{3 \times 1.46 \times 0.00000155}{4 \times 3.14(0.242)^2} = 9.229 \times 10^{-6} dB$$

### 3.6 Skema Pegambilan Data



Gambar 3.5 Skema pengambilan Data

Cahaya akan di pancarkan melalui OTDR yang akan diteruskan oleh *splitter*. *Splitter* sendiri adalah penghubung antar OTB dan OTDR. *Splitter* merupakan *fiber optic* juga. OTB adalah *Optical Terminal Box* yang digunakan sebagai *server fiber optic* yang gunanya sebagai tempat penyimpanan *fiber optic* yang sudah terpasang secara permanen. OTB akan langsung tersambung ke *Fiber optic* bawah tanah yang akan digunakan sebagai media transmisi data. Pada jalur *fiber optic* bawah tanah akan ditemukan sebuah tempat penyambungan dan penyimpanan *fiber optic* yang disebut UC. Dalam penelitian ini setelah *fiber optic* disambung maka akan dilakukan percobaan pemberian lilitan *bending* dengan variasi diameter bidang. Bidang yang dimaksud adalah sebuah bidang buatan yang menyerupai tabung yang biasanya diubah ukuran diameternya. Setelah dilakukan percobaan maka *fiber optic* akan disimpan

kembali didalam UC dan ditanam di dalam tanah. Dalam proses pengambilan data penulis membutuhkan bantuan bantuan dari beberapa orang guna untuk mencatat nilai daya terima pada OTB berikutnya. Ketika penulis melakukan lilitan *bending* dengan diameter tertentu maka orang lain yang berada di OTb akan mencatat nilai daya terima begitu seterusnya.





## BAB 5. PENUTUP

### 5.1 Kesimpulan

Berdasarkan perolehan data dan analisi yang telah didapatkan pada hasil dan pembahasan, maka dapat disimpulkan bahwa:

1. Untuk menghitung besar daya hilang pada *fiber optic* dapat menggunakan berbagai macam persamaan diantaranya persamaan *loss bending*, *power link budget*, dan *power loss fiber*
2. Berdasarkan tabel 4.3 dapat dibuktikan bahwa semakin banyak jumlah lilitan dan semakin besar gelombang pancar maka daya hilangnya juga akan semakin besar. Begitu juga dengan diameter lilitannya, semakin kecil diameter lengkungan maka semakin besar daya hilang pada sistem komunikasi *fiber optic* tersebut. Pada diameter bidang 0.4 cm ketika jumlah lilitan 1, nilai daya hilangnya sebesar 3.944 dB dan ketika jumlah lilitannya diubah menjadi 2 maka besar daya hilangnya menjadi 5.9042 dB. Ketika diameternya diubah menjadi 12 cm dengan 1 lilitan maka besar daya hlangnya sebesar 3.432 dB.
3. Besar Daya Hilang yang diakibatkan oleh lengkungan atau yang sering dikenal sebagai *bending* mengakibatkan kinerja sistem komunikasi *fiber optic* terganggu meskipun sedikit. Semakin Besar daya hilang maka efisiensi daya yang diterima oleh *receiver* tidak akan maksimal dikarenakan nilai daya terima yang diterima mengalami penurunan akibat lengkungan. Hal tersebut dapat ditunjukkan pada data tabel 4.10 ketika panjang gelombang pancar 1310 nm dengan 1 lilitan memiliki nilai daya hilang sebesar 0.9488 dB ketiak 4 lilitan memiliki daya hilang sebesar 0.8555 dB

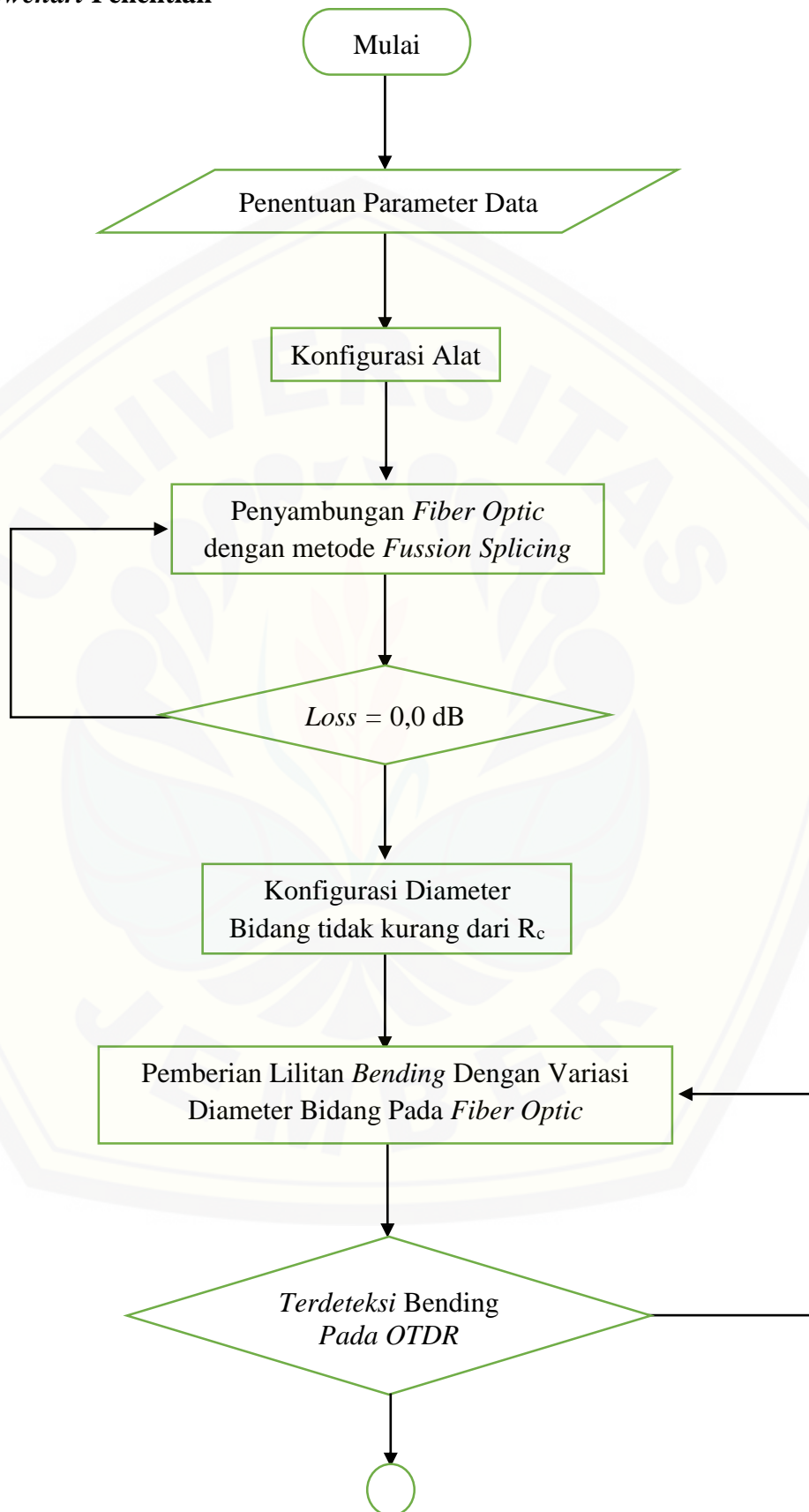
### 5.2 Saran

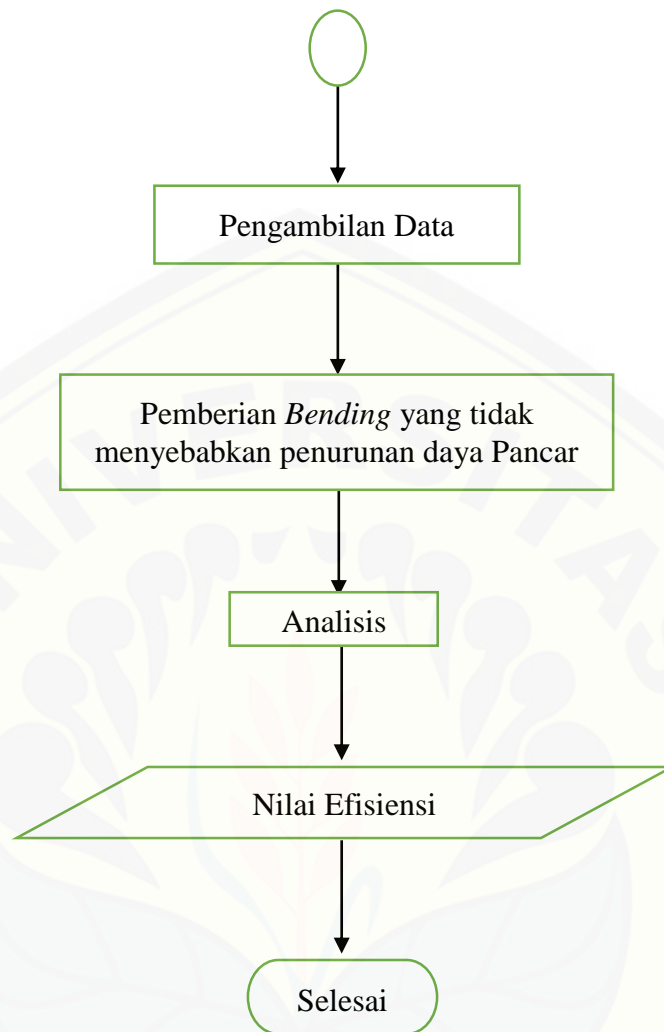
Diharapkan Penelitian selanjutnya dapat dilakukan pada jenis *fiber optic* yang berbeda dengan batasan panjang gelombang yang bervariasi

**DAFTAR PUSTAKA**

- Amanu, A. A. (2016, 01 01). Macro Bending Losses in Single Mode Step Index. *1*, 7.
- Annovazzi-Lodi, V. (1997). Statistical analysis of Fiber Failures Under Bending - Stress Fatigue. *Lightwave Technology*, *15*, 1-6.
- Erps, J. V. (2008, Mar 28). Design And Tolerance Analysis Of A Low Bending Loss-Hole Assisted Fiber Using Statistical Design Methodology. *16*, 7.
- Jhonson, M. (2009). *Optical Fiber , Cable and System*. ITU Telecommunication Standardization Sector.
- Nhiwatiwa, D. (2012). Comparison Of Macrobend Losses In Single Mode Fibre (SMF) And Multimode Fibre.
- Prasetya, D. (2009). *Serat Optik*. Universitas Sriwijaya.
- Waluyo, T. B. (2009, Desember). Karakterisasi Rugi Lengkungan Serat Optik Dengan Optical Time Domain Reflectometer Untuk Penggunaannya Sebagai Sensor Pergeseran Tanah. *Jurnal Fisika Himpunan Fisika Indonesia*.

## 3.7 Flowchart Penelitian

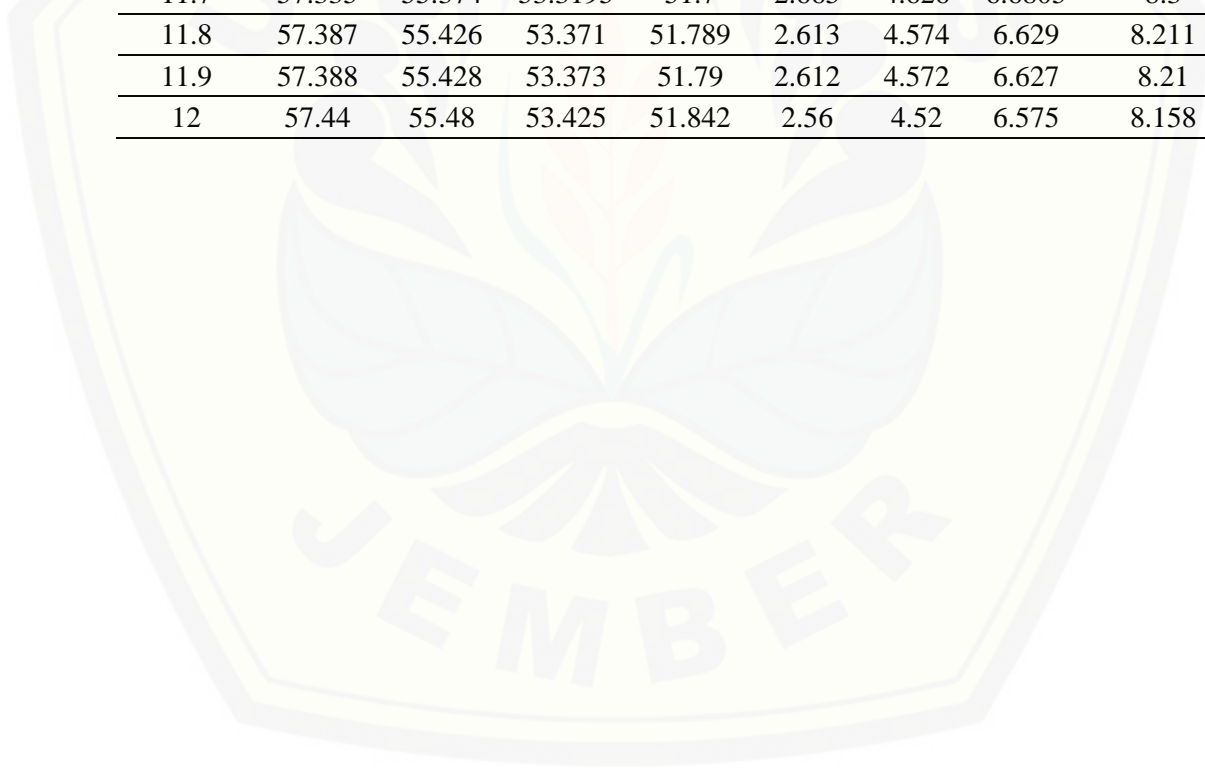


Gambar 3.6 *Flowchart* Penelitian

**LAMPIRAN A Daya Terima dan Daya Hilang Dengan Panjang Gelombang 1310 nm**

| Diameter Bidang | Daya Terima Pada Jumlah Lilitan Lengkungan Berbeda |         |         |         | Daya Hilang Pada Jumlah Lilitan Lengkungan Berbeda |        |        |        |
|-----------------|--|---------|---------|---------|--|--------|--------|--------|
|                 | 1  | 2       | 3       | 4       | 1  | 2      | 3      | 4      |
| 0.4             | 56.928   | 54.9678 | 52.9128 | 51.326  | 3.072  | 5.0322 | 7.0872 | 8.674  |
| 0.5             | 56.9282  | 54.968  | 52.913  | 51.329  | 3.0718   | 5.032  | 7.087  | 8.671  |
| 0.6             | 56.9283  | 54.9681 | 52.9131 | 51.33   | 3.0717   | 5.0319 | 7.0869 | 8.67   |
| 0.7             | 56.9288  | 54.969  | 52.9136 | 51.331  | 3.0712   | 5.031  | 7.0864 | 8.669  |
| 0.8             | 56.929   | 54.9688 | 52.914  | 51.3313 | 3.071  | 5.0312 | 7.086  | 8.6687 |
| 0.9             | 56.93  | 54.97   | 52.915  | 51.333  | 3.07   | 5.03   | 7.085  | 8.667  |
| 1               | 56.933   | 54.973  | 52.918  | 51.335  | 3.067  | 5.027  | 7.082  | 8.665  |
| 1.1             | 56.935   | 54.975  | 52.92   | 51.337  | 3.065  | 5.025  | 7.08   | 8.663  |
| 1.2             | 56.938   | 54.977  | 52.922  | 51.34   | 3.062  | 5.023  | 7.078  | 8.66   |
| 1.3             | 56.94  | 54.98   | 52.925  | 51.342  | 3.06   | 5.02   | 7.075  | 8.658  |
| 1.4             | 56.942   | 54.982  | 52.927  | 51.345  | 3.058  | 5.018  | 7.073  | 8.655  |
| 1.5             | 56.9447  | 54.984  | 52.929  | 51.347  | 3.0553   | 5.016  | 7.071  | 8.653  |
| 1.6             | 56.947   | 54.987  | 52.932  | 51.349  | 3.053  | 5.013  | 7.068  | 8.651  |
| 1.7             | 56.949   | 54.989  | 52.934  | 51.352  | 3.051  | 5.011  | 7.066  | 8.648  |
| 1.8             | 56.95  | 54.992  | 52.937  | 51.354  | 3.05   | 5.008  | 7.063  | 8.646  |
| 1.9             | 56.954   | 54.994  | 52.939  | 51.356  | 3.046  | 5.006  | 7.061  | 8.644  |
| 2               | 56.957   | 54.996  | 52.941  | 51.359  | 3.043  | 5.004  | 7.059  | 8.641  |
| 2.4             | 56.959   | 54.999  | 52.944  | 51.361  | 3.041  | 5.001  | 7.056  | 8.639  |
| 2.5             | 56.961   | 55.001  | 52.946  | 51.364  | 3.039  | 4.999  | 7.054  | 8.636  |
| 2.6             | 56.964   | 55.004  | 52.949  | 51.366  | 3.036  | 4.996  | 7.051  | 8.634  |
| 2.8             | 56.968   | 55.008  | 52.953  | 51.371  | 3.032  | 4.992  | 7.047  | 8.629  |
| 3               | 56.973   | 55.013  | 52.958  | 51.375  | 3.027  | 4.987  | 7.042  | 8.625  |
| 4               | 56.977   | 55.017  | 52.962  | 51.379  | 3.023  | 4.983  | 7.038  | 8.621  |
| 5               | 56.981   | 55.021  | 52.966  | 51.384  | 3.019  | 4.979  | 7.034  | 8.616  |
| 6               | 56.986   | 55.026  | 52.971  | 51.388  | 3.014  | 4.974  | 7.029  | 8.612  |
| 7.1             | 56.99  | 55.028  | 52.9744 | 51.39   | 3.01   | 4.972  | 7.0256 | 8.61   |
| 7.2             | 56.992   | 55.031  | 52.976  | 51.393  | 3.008  | 4.969  | 7.024  | 8.607  |
| 7.3             | 56.993   | 55.0316 | 52.977  | 51.394  | 3.007  | 4.9684 | 7.023  | 8.606  |
| 7.4             | 56.9933  | 55.0328 | 52.978  | 51.3953 | 3.0067   | 4.9672 | 7.022  | 8.6047 |
| 7.5             | 56.994   | 55.034  | 52.979  | 51.3965 | 3.006  | 4.966  | 7.021  | 8.6035 |
| 7.6             | 56.9954  | 55.035  | 52.98   | 51.3977 | 3.0046   | 4.965  | 7.02   | 8.6023 |
| 7.8             | 57.0374  | 55.077  | 53.012  | 51.4397 | 2.9626   | 4.923  | 6.988  | 8.5603 |
| 7.9             | 57.0386  | 55.078  | 53.019  | 51.4409 | 2.9614   | 4.922  | 6.981  | 8.5591 |
| 8               | 57.0387  | 55.079  | 53.02   | 51.441  | 2.9613   | 4.921  | 6.98   | 8.559  |
| 8.1             | 57.0399  | 55.08   | 53.021  | 51.442  | 2.9601   | 4.92   | 6.979  | 8.558  |
| 9               | 57.04  | 55.081  | 53.026  | 51.443  | 2.96   | 4.919  | 6.974  | 8.557  |

|      |         |         |         |         |        |        |        |        |
|------|---------|---------|---------|---------|--------|--------|--------|--------|
| 10.1 | 57.042  | 55.087  | 53.032  | 51.449  | 2.958  | 4.913  | 6.968  | 8.551  |
| 10.2 | 57.049  | 55.093  | 53.038  | 51.45   | 2.951  | 4.907  | 6.962  | 8.55   |
| 10.3 | 57.05   | 55.093  | 53.04   | 51.455  | 2.95   | 4.907  | 6.96   | 8.545  |
| 10.4 | 57.053  | 55.093  | 53.042  | 51.4591 | 2.947  | 4.907  | 6.958  | 8.5409 |
| 10.5 | 57.059  | 55.099  | 53.044  | 51.461  | 2.941  | 4.901  | 6.956  | 8.539  |
| 10.6 | 57.06   | 55.1    | 53.045  | 51.462  | 2.94   | 4.9    | 6.955  | 8.538  |
| 10.7 | 57.079  | 55.0999 | 53.0449 | 51.4629 | 2.921  | 4.9001 | 6.9551 | 8.5371 |
| 10.8 | 57.08   | 55.1001 | 53.0451 | 51.463  | 2.92   | 4.8999 | 6.9549 | 8.537  |
| 10.9 | 57.0908 | 55.101  | 53.046  | 51.4637 | 2.9092 | 4.899  | 6.954  | 8.5363 |
| 11.1 | 57.103  | 55.143  | 53.088  | 51.5057 | 2.897  | 4.857  | 6.912  | 8.4943 |
| 11.2 | 57.105  | 55.144  | 53.089  | 51.5069 | 2.895  | 4.856  | 6.911  | 8.4931 |
| 11.3 | 57.147  | 55.189  | 53.131  | 51.549  | 2.853  | 4.811  | 6.869  | 8.451  |
| 11.4 | 57.189  | 55.229  | 53.1735 | 51.591  | 2.811  | 4.771  | 6.8265 | 8.409  |
| 11.5 | 57.241  | 55.279  | 53.2255 | 51.643  | 2.759  | 4.721  | 6.7745 | 8.357  |
| 11.6 | 57.293  | 55.329  | 53.2775 | 51.69   | 2.707  | 4.671  | 6.7225 | 8.31   |
| 11.7 | 57.335  | 55.374  | 53.3195 | 51.7    | 2.665  | 4.626  | 6.6805 | 8.3    |
| 11.8 | 57.387  | 55.426  | 53.371  | 51.789  | 2.613  | 4.574  | 6.629  | 8.211  |
| 11.9 | 57.388  | 55.428  | 53.373  | 51.79   | 2.612  | 4.572  | 6.627  | 8.21   |
| 12   | 57.44   | 55.48   | 53.425  | 51.842  | 2.56   | 4.52   | 6.575  | 8.158  |





**LAMPIRAN B Daya Terima dan Daya Hilang Dengan Panjang Gelombang 1550 nm**

| Diameter Bidang (Cm) | Daya Terima Pada Jumlah Lilitan Lengkungan Berbeda |         |         |         | Daya Hilang Pada Jumlah Lilitan Lengkungan Berbeda |        |        |        |
|----------------------|--|---------|---------|---------|--|--------|--------|--------|
|                      | 1  | 2       | 3       | 4       | 1  | 2      | 3      | 4      |
| 0.4                  | 56.056   | 54.0958 | 52.0408 | 50.454  | 3.944  | 5.9042 | 7.9592 | 9.546  |
| 0.5                  | 56.0562  | 54.096  | 52.041  | 50.457  | 3.9438   | 5.904  | 7.959  | 9.543  |
| 0.6                  | 56.0563  | 54.0961 | 52.0411 | 50.458  | 3.9437   | 5.9039 | 7.9589 | 9.542  |
| 0.7                  | 56.0568  | 54.097  | 52.0416 | 50.459  | 3.9432   | 5.903  | 7.9584 | 9.541  |
| 0.8                  | 56.057   | 54.0968 | 52.042  | 50.4593 | 3.943  | 5.9032 | 7.958  | 9.5407 |
| 0.9                  | 56.058   | 54.098  | 52.043  | 50.461  | 3.942  | 5.902  | 7.957  | 9.539  |
| 1                    | 56.061   | 54.101  | 52.046  | 50.463  | 3.939  | 5.899  | 7.954  | 9.537  |
| 1.1                  | 56.063   | 54.103  | 52.048  | 50.465  | 3.937  | 5.897  | 7.952  | 9.535  |
| 1.2                  | 56.066   | 54.105  | 52.05   | 50.468  | 3.934  | 5.895  | 7.95   | 9.532  |
| 1.3                  | 56.068   | 54.108  | 52.053  | 50.47   | 3.932  | 5.892  | 7.947  | 9.53   |
| 1.4                  | 56.07  | 54.11   | 52.055  | 50.473  | 3.93   | 5.89   | 7.945  | 9.527  |
| 1.5                  | 56.0727  | 54.112  | 52.057  | 50.475  | 3.9273   | 5.888  | 7.943  | 9.525  |
| 1.6                  | 56.075   | 54.115  | 52.06   | 50.477  | 3.925  | 5.885  | 7.94   | 9.523  |
| 1.7                  | 56.077   | 54.117  | 52.062  | 50.48   | 3.923  | 5.883  | 7.938  | 9.52   |
| 1.8                  | 56.078   | 54.12   | 52.065  | 50.482  | 3.922  | 5.88   | 7.935  | 9.518  |
| 1.9                  | 56.082   | 54.122  | 52.067  | 50.484  | 3.918  | 5.878  | 7.933  | 9.516  |
| 2                    | 56.085   | 54.124  | 52.069  | 50.487  | 3.915  | 5.876  | 7.931  | 9.513  |
| 2.4                  | 56.087   | 54.127  | 52.072  | 50.489  | 3.913  | 5.873  | 7.928  | 9.511  |
| 2.5                  | 56.089   | 54.129  | 52.074  | 50.492  | 3.911  | 5.871  | 7.926  | 9.508  |
| 2.6                  | 56.092   | 54.132  | 52.077  | 50.494  | 3.908  | 5.868  | 7.923  | 9.506  |
| 2.8                  | 56.096   | 54.136  | 52.081  | 50.499  | 3.904  | 5.864  | 7.919  | 9.501  |
| 3                    | 56.101   | 54.141  | 52.086  | 50.503  | 3.899  | 5.859  | 7.914  | 9.497  |
| 4                    | 56.105   | 54.145  | 52.09   | 50.507  | 3.895  | 5.855  | 7.91   | 9.493  |
| 5                    | 56.109   | 54.149  | 52.094  | 50.512  | 3.891  | 5.851  | 7.906  | 9.488  |
| 6                    | 56.114   | 54.154  | 52.099  | 50.516  | 3.886  | 5.846  | 7.901  | 9.484  |
| 7.1                  | 56.118   | 54.156  | 52.1024 | 50.518  | 3.882  | 5.844  | 7.8976 | 9.482  |
| 7.2                  | 56.12  | 54.159  | 52.104  | 50.521  | 3.88   | 5.841  | 7.896  | 9.479  |
| 7.3                  | 56.121   | 54.1596 | 52.105  | 50.522  | 3.879  | 5.8404 | 7.895  | 9.478  |
| 7.4                  | 56.1213  | 54.1608 | 52.106  | 50.5233 | 3.8787   | 5.8392 | 7.894  | 9.4767 |
| 7.5                  | 56.122   | 54.162  | 52.107  | 50.5245 | 3.878  | 5.838  | 7.893  | 9.4755 |
| 7.6                  | 56.1234  | 54.163  | 52.108  | 50.5257 | 3.8766   | 5.837  | 7.892  | 9.4743 |
| 7.8                  | 56.1654  | 54.205  | 52.14   | 50.5677 | 3.8346   | 5.795  | 7.86   | 9.4323 |
| 7.9                  | 56.1666  | 54.206  | 52.147  | 50.5689 | 3.8334   | 5.794  | 7.853  | 9.4311 |
| 8                    | 56.1667  | 54.207  | 52.148  | 50.569  | 3.8333   | 5.793  | 7.852  | 9.431  |
| 8.1                  | 56.1679  | 54.208  | 52.149  | 50.57   | 3.8321   | 5.792  | 7.851  | 9.43   |

|      |         |         |         |         |        |        |        |        |
|------|---------|---------|---------|---------|--------|--------|--------|--------|
| 9    | 56.168  | 54.209  | 52.154  | 50.571  | 3.832  | 5.791  | 7.846  | 9.429  |
| 10.1 | 56.17   | 54.215  | 52.16   | 50.577  | 3.83   | 5.785  | 7.84   | 9.423  |
| 10.2 | 56.177  | 54.221  | 52.166  | 50.578  | 3.823  | 5.779  | 7.834  | 9.422  |
| 10.3 | 56.178  | 54.221  | 52.168  | 50.583  | 3.822  | 5.779  | 7.832  | 9.417  |
| 10.4 | 56.181  | 54.221  | 52.17   | 50.5871 | 3.819  | 5.779  | 7.83   | 9.4129 |
| 10.5 | 56.187  | 54.227  | 52.172  | 50.589  | 3.813  | 5.773  | 7.828  | 9.411  |
| 10.6 | 56.188  | 54.228  | 52.173  | 50.59   | 3.812  | 5.772  | 7.827  | 9.41   |
| 10.7 | 56.207  | 54.2279 | 52.1729 | 50.5909 | 3.793  | 5.7721 | 7.8271 | 9.4091 |
| 10.8 | 56.208  | 54.2281 | 52.1731 | 50.591  | 3.792  | 5.7719 | 7.8269 | 9.409  |
| 10.9 | 56.2188 | 54.229  | 52.174  | 50.5917 | 3.7812 | 5.771  | 7.826  | 9.4083 |
| 11.1 | 56.231  | 54.271  | 52.216  | 50.6337 | 3.769  | 5.729  | 7.784  | 9.3663 |
| 11.2 | 56.233  | 54.272  | 52.217  | 50.6349 | 3.767  | 5.728  | 7.783  | 9.3651 |
| 11.3 | 56.275  | 54.317  | 52.259  | 50.677  | 3.725  | 5.683  | 7.741  | 9.323  |
| 11.4 | 56.317  | 54.357  | 52.3015 | 50.719  | 3.683  | 5.643  | 7.6985 | 9.281  |
| 11.5 | 56.369  | 54.407  | 52.3535 | 50.771  | 3.631  | 5.593  | 7.6465 | 9.229  |
| 11.6 | 56.421  | 54.457  | 52.4055 | 50.818  | 3.579  | 5.543  | 7.5945 | 9.182  |
| 11.7 | 56.463  | 54.502  | 52.4475 | 50.828  | 3.537  | 5.498  | 7.5525 | 9.172  |
| 11.8 | 56.515  | 54.554  | 52.499  | 50.917  | 3.485  | 5.446  | 7.501  | 9.083  |
| 11.9 | 56.516  | 54.556  | 52.501  | 50.918  | 3.484  | 5.444  | 7.499  | 9.082  |
| 12   | 56.568  | 54.608  | 52.553  | 50.97   | 3.432  | 5.392  | 7.447  | 9.03   |

## LAMPIRAN C *Power Loss Fiber*

| Diameter Bidang | Nilai Power Loss Fiber 1310 nm |          |          |          | Nilai Power Loss Fiber |          |          |          |
|-----------------|--------------------------------|----------|----------|----------|------------------------|----------|----------|----------|
|                 | 1                              | 2        | 3        | 4        | 1                      | 2        | 3        | 4        |
| 0.4             | 56.86824                       | 54.86823 | 52.76997 | 51.14863 | 55.9787                | 53.97807 | 51.87912 | 50.2572  |
| 0.5             | 56.86844                       | 54.86844 | 52.77018 | 51.1517  | 55.9789                | 53.97828 | 51.87932 | 50.26026 |
| 0.6             | 56.86855                       | 54.86854 | 52.77028 | 51.15272 | 55.97901               | 53.97838 | 51.87943 | 50.26129 |
| 0.7             | 56.86906                       | 54.86946 | 52.77079 | 51.15374 | 55.97952               | 53.9793  | 51.87994 | 50.26231 |
| 0.8             | 56.86926                       | 54.86925 | 52.7712  | 51.15405 | 55.97972               | 53.97909 | 51.88035 | 50.26262 |
| 0.9             | 56.87028                       | 54.87048 | 52.77222 | 51.15578 | 55.98074               | 53.98032 | 51.88137 | 50.26435 |
| 1               | 56.87334                       | 54.87354 | 52.77529 | 51.15783 | 55.9838                | 53.98338 | 51.88443 | 50.2664  |
| 1.1             | 56.87538                       | 54.87558 | 52.77733 | 51.15987 | 55.98584               | 53.98543 | 51.88648 | 50.26844 |
| 1.2             | 56.87844                       | 54.87762 | 52.77937 | 51.16294 | 55.9889                | 53.98747 | 51.88852 | 50.27151 |
| 1.3             | 56.88048                       | 54.88068 | 52.78244 | 51.16498 | 55.99094               | 53.99053 | 51.89158 | 50.27356 |
| 1.4             | 56.88252                       | 54.88273 | 52.78448 | 51.16805 | 55.99298               | 53.99257 | 51.89363 | 50.27662 |
| 1.5             | 56.88527                       | 54.88477 | 52.78652 | 51.17009 | 55.99574               | 53.99461 | 51.89567 | 50.27867 |
| 1.6             | 56.88762                       | 54.88783 | 52.78959 | 51.17214 | 55.99809               | 53.99768 | 51.89874 | 50.28071 |
| 1.7             | 56.88966                       | 54.88987 | 52.79163 | 51.1752  | 56.00013               | 53.99972 | 51.90078 | 50.28378 |
| 1.8             | 56.89068                       | 54.89293 | 52.79469 | 51.17725 | 56.00115               | 54.00278 | 51.90385 | 50.28583 |
| 1.9             | 56.89476                       | 54.89497 | 52.79674 | 51.17929 | 56.00523               | 54.00482 | 51.90589 | 50.28787 |
| 2               | 56.89782                       | 54.89701 | 52.79878 | 51.18236 | 56.00829               | 54.00687 | 51.90793 | 50.29094 |
| 2.4             | 56.89986                       | 54.90008 | 52.80184 | 51.1844  | 56.01033               | 54.00993 | 51.911   | 50.29298 |
| 2.5             | 56.9019                        | 54.90212 | 52.80389 | 51.18747 | 56.01237               | 54.01197 | 51.91304 | 50.29605 |
| 2.6             | 56.90496                       | 54.90518 | 52.80695 | 51.18951 | 56.01543               | 54.01503 | 51.91611 | 50.2981  |
| 2.8             | 56.90904                       | 54.90926 | 52.81104 | 51.19462 | 56.01951               | 54.01912 | 51.9202  | 50.30321 |
| 3               | 56.91414                       | 54.91437 | 52.81614 | 51.19871 | 56.02461               | 54.02422 | 51.9253  | 50.3073  |
| 4               | 56.91822                       | 54.91845 | 52.82023 | 51.2028  | 56.02869               | 54.02831 | 51.92939 | 50.31139 |
| 5               | 56.9223                        | 54.92253 | 52.82432 | 51.20791 | 56.03277               | 54.03239 | 51.93348 | 50.3165  |
| 6               | 56.9274                        | 54.92763 | 52.82942 | 51.212   | 56.03788               | 54.03749 | 51.93859 | 50.32059 |
| 7.1             | 56.93148                       | 54.92968 | 52.8329  | 51.21404 | 56.04196               | 54.03954 | 51.94206 | 50.32263 |
| 7.2             | 56.93352                       | 54.93274 | 52.83453 | 51.21711 | 56.044                 | 54.0426  | 51.9437  | 50.3257  |
| 7.3             | 56.93454                       | 54.93335 | 52.83555 | 51.21813 | 56.04502               | 54.04321 | 51.94472 | 50.32672 |
| 7.4             | 56.93484                       | 54.93457 | 52.83657 | 51.21946 | 56.04532               | 54.04444 | 51.94574 | 50.32805 |
| 7.5             | 56.93556                       | 54.9358  | 52.83759 | 51.22069 | 56.04604               | 54.04566 | 51.94676 | 50.32928 |
| 7.6             | 56.93699                       | 54.93682 | 52.83862 | 51.22191 | 56.04747               | 54.04668 | 51.94778 | 50.33051 |
| 7.8             | 56.97982                       | 54.97969 | 52.8713  | 51.26484 | 56.09032               | 54.08956 | 51.98048 | 50.37345 |
| 7.9             | 56.98105                       | 54.98071 | 52.87845 | 51.26607 | 56.09154               | 54.09058 | 51.98763 | 50.37468 |
| 8               | 56.98115                       | 54.98173 | 52.87947 | 51.26617 | 56.09164               | 54.09161 | 51.98865 | 50.37478 |
| 8.1             | 56.98237                       | 54.98275 | 52.88049 | 51.26719 | 56.09287               | 54.09263 | 51.98968 | 50.3758  |

|      |          |          |          |          |          |          |          |          |
|------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| 9    | 56.98247 | 54.98377 | 52.8856  | 51.26821 | 56.09297 | 54.09365 | 51.99478 | 50.37682 |
| 10.1 | 56.98451 | 54.98989 | 52.89173 | 51.27434 | 56.09501 | 54.09977 | 52.00091 | 50.38296 |
| 10.2 | 56.99165 | 54.99602 | 52.89786 | 51.27537 | 56.10215 | 54.1059  | 52.00705 | 50.38398 |
| 10.3 | 56.99267 | 54.99602 | 52.8999  | 51.28048 | 56.10317 | 54.1059  | 52.00909 | 50.38909 |
| 10.4 | 56.99573 | 54.99602 | 52.90194 | 51.28467 | 56.10623 | 54.1059  | 52.01113 | 50.39328 |
| 10.5 | 57.00185 | 55.00214 | 52.90399 | 51.28661 | 56.11235 | 54.11202 | 52.01318 | 50.39523 |
| 10.6 | 57.00287 | 55.00316 | 52.90501 | 51.28763 | 56.11337 | 54.11305 | 52.0142  | 50.39625 |
| 10.7 | 57.02225 | 55.00306 | 52.9049  | 51.28855 | 56.13276 | 54.11294 | 52.0141  | 50.39717 |
| 10.8 | 57.02327 | 55.00326 | 52.90511 | 51.28865 | 56.13378 | 54.11315 | 52.0143  | 50.39727 |
| 10.9 | 57.03429 | 55.00418 | 52.90603 | 51.28937 | 56.1448  | 54.11407 | 52.01522 | 50.39799 |
| 11.1 | 57.04673 | 55.04705 | 52.94893 | 51.33229 | 56.15724 | 54.15695 | 52.05813 | 50.44093 |
| 11.2 | 57.04877 | 55.04807 | 52.94995 | 51.33352 | 56.15928 | 54.15797 | 52.05915 | 50.44216 |
| 11.3 | 57.0916  | 55.09399 | 52.99285 | 51.37655 | 56.20213 | 54.20391 | 52.10207 | 50.4852  |
| 11.4 | 57.13444 | 55.13482 | 53.03625 | 51.41947 | 56.24498 | 54.24474 | 52.14549 | 50.52814 |
| 11.5 | 57.18747 | 55.18584 | 53.08936 | 51.47261 | 56.29803 | 54.29579 | 52.19862 | 50.5813  |
| 11.6 | 57.2405  | 55.23687 | 53.14247 | 51.52065 | 56.35107 | 54.34683 | 52.25174 | 50.62935 |
| 11.7 | 57.28334 | 55.28279 | 53.18537 | 51.53087 | 56.39392 | 54.39277 | 52.29465 | 50.63957 |
| 11.8 | 57.33637 | 55.33586 | 53.23796 | 51.62182 | 56.44697 | 54.44585 | 52.34727 | 50.73056 |
| 11.9 | 57.33739 | 55.3379  | 53.24    | 51.62284 | 56.44799 | 54.44789 | 52.34931 | 50.73158 |
| 12   | 57.39042 | 55.39097 | 53.29311 | 51.67598 | 56.50103 | 54.50097 | 52.40243 | 50.78474 |



## LAMPIRAN D *Power Link Budget*

| Diameter Bidang (Cm) | Power Link Budget (dB)(1310) |         |         |         | Power Link Budget |         |         |         |
|----------------------|------------------------------|---------|---------|---------|-------------------|---------|---------|---------|
|                      | 1                            | 2       | 3       | 4       | 1                 | 2       | 3       | 4       |
| 0.4                  | 56.578                       | 54.6178 | 52.5628 | 50.976  | 55.706            | 53.7458 | 51.6908 | 50.104  |
| 0.5                  | 56.5782                      | 54.618  | 52.563  | 50.979  | 55.7062           | 53.746  | 51.691  | 50.107  |
| 0.6                  | 56.5783                      | 54.6181 | 52.5631 | 50.98   | 55.7063           | 53.7461 | 51.6911 | 50.108  |
| 0.7                  | 56.5788                      | 54.619  | 52.5636 | 50.981  | 55.7068           | 53.747  | 51.6916 | 50.109  |
| 0.8                  | 56.579                       | 54.6188 | 52.564  | 50.9813 | 55.707            | 53.7468 | 51.692  | 50.1093 |
| 0.9                  | 56.58                        | 54.62   | 52.565  | 50.983  | 55.708            | 53.748  | 51.693  | 50.111  |
| 1                    | 56.583                       | 54.623  | 52.568  | 50.985  | 55.711            | 53.751  | 51.696  | 50.113  |
| 1.1                  | 56.585                       | 54.625  | 52.57   | 50.987  | 55.713            | 53.753  | 51.698  | 50.115  |
| 1.2                  | 56.588                       | 54.627  | 52.572  | 50.99   | 55.716            | 53.755  | 51.7    | 50.118  |
| 1.3                  | 56.59                        | 54.63   | 52.575  | 50.992  | 55.718            | 53.758  | 51.703  | 50.12   |
| 1.4                  | 56.592                       | 54.632  | 52.577  | 50.995  | 55.72             | 53.76   | 51.705  | 50.123  |
| 1.5                  | 56.5947                      | 54.634  | 52.579  | 50.997  | 55.7227           | 53.762  | 51.707  | 50.125  |
| 1.6                  | 56.597                       | 54.637  | 52.582  | 50.999  | 55.725            | 53.765  | 51.71   | 50.127  |
| 1.7                  | 56.599                       | 54.639  | 52.584  | 51.002  | 55.727            | 53.767  | 51.712  | 50.13   |
| 1.8                  | 56.6                         | 54.642  | 52.587  | 51.004  | 55.728            | 53.77   | 51.715  | 50.132  |
| 1.9                  | 56.604                       | 54.644  | 52.589  | 51.006  | 55.732            | 53.772  | 51.717  | 50.134  |
| 2                    | 56.607                       | 54.646  | 52.591  | 51.009  | 55.735            | 53.774  | 51.719  | 50.137  |
| 2.4                  | 56.609                       | 54.649  | 52.594  | 51.011  | 55.737            | 53.777  | 51.722  | 50.139  |
| 2.5                  | 56.611                       | 54.651  | 52.596  | 51.014  | 55.739            | 53.779  | 51.724  | 50.142  |
| 2.6                  | 56.614                       | 54.654  | 52.599  | 51.016  | 55.742            | 53.782  | 51.727  | 50.144  |
| 2.8                  | 56.618                       | 54.658  | 52.603  | 51.021  | 55.746            | 53.786  | 51.731  | 50.149  |
| 3                    | 56.623                       | 54.663  | 52.608  | 51.025  | 55.751            | 53.791  | 51.736  | 50.153  |
| 4                    | 56.627                       | 54.667  | 52.612  | 51.029  | 55.755            | 53.795  | 51.74   | 50.157  |
| 5                    | 56.631                       | 54.671  | 52.616  | 51.034  | 55.759            | 53.799  | 51.744  | 50.162  |
| 6                    | 56.636                       | 54.676  | 52.621  | 51.038  | 55.764            | 53.804  | 51.749  | 50.166  |
| 7.1                  | 56.64                        | 54.678  | 52.6244 | 51.04   | 55.768            | 53.806  | 51.7524 | 50.168  |
| 7.2                  | 56.642                       | 54.681  | 52.626  | 51.043  | 55.77             | 53.809  | 51.754  | 50.171  |
| 7.3                  | 56.643                       | 54.6816 | 52.627  | 51.044  | 55.771            | 53.8096 | 51.755  | 50.172  |
| 7.4                  | 56.6433                      | 54.6828 | 52.628  | 51.0453 | 55.7713           | 53.8108 | 51.756  | 50.1733 |
| 7.5                  | 56.644                       | 54.684  | 52.629  | 51.0465 | 55.772            | 53.812  | 51.757  | 50.1745 |
| 7.6                  | 56.6454                      | 54.685  | 52.63   | 51.0477 | 55.7734           | 53.813  | 51.758  | 50.1757 |
| 7.8                  | 56.6874                      | 54.727  | 52.662  | 51.0897 | 55.8154           | 53.855  | 51.79   | 50.2177 |
| 7.9                  | 56.6886                      | 54.728  | 52.669  | 51.0909 | 55.8166           | 53.856  | 51.797  | 50.2189 |
| 8                    | 56.6887                      | 54.729  | 52.67   | 51.091  | 55.8167           | 53.857  | 51.798  | 50.219  |
| 8.1                  | 56.6899                      | 54.73   | 52.671  | 51.092  | 55.8179           | 53.858  | 51.799  | 50.22   |

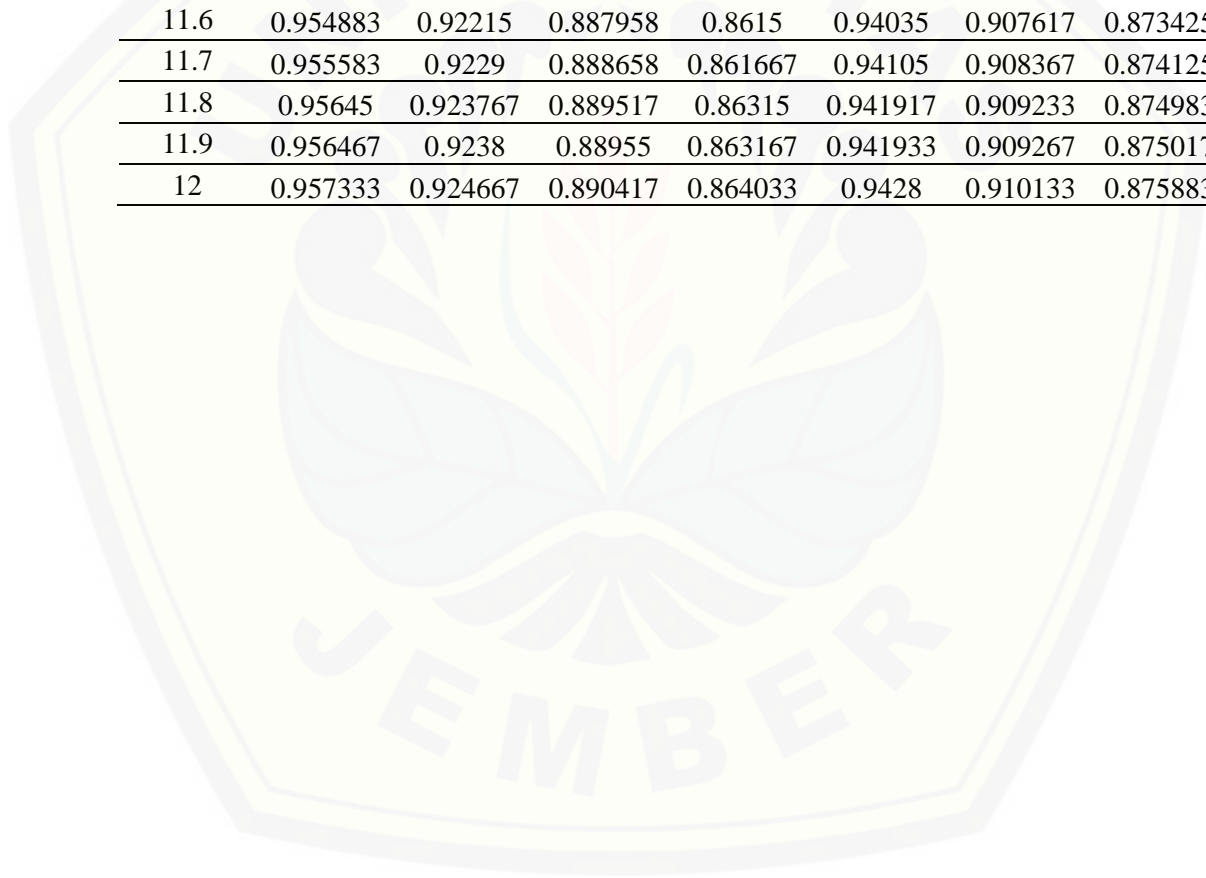
|      |         |         |         |         |         |         |         |         |
|------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| 9    | 56.69   | 54.731  | 52.676  | 51.093  | 55.818  | 53.859  | 51.804  | 50.221  |
| 10.1 | 56.692  | 54.737  | 52.682  | 51.099  | 55.82   | 53.865  | 51.81   | 50.227  |
| 10.2 | 56.699  | 54.743  | 52.688  | 51.1    | 55.827  | 53.871  | 51.816  | 50.228  |
| 10.3 | 56.7    | 54.743  | 52.69   | 51.105  | 55.828  | 53.871  | 51.818  | 50.233  |
| 10.4 | 56.703  | 54.743  | 52.692  | 51.1091 | 55.831  | 53.871  | 51.82   | 50.2371 |
| 10.5 | 56.709  | 54.749  | 52.694  | 51.111  | 55.837  | 53.877  | 51.822  | 50.239  |
| 10.6 | 56.71   | 54.75   | 52.695  | 51.112  | 55.838  | 53.878  | 51.823  | 50.24   |
| 10.7 | 56.729  | 54.7499 | 52.6949 | 51.1129 | 55.857  | 53.8779 | 51.8229 | 50.2409 |
| 10.8 | 56.73   | 54.7501 | 52.6951 | 51.113  | 55.858  | 53.8781 | 51.8231 | 50.241  |
| 10.9 | 56.7408 | 54.751  | 52.696  | 51.1137 | 55.8688 | 53.879  | 51.824  | 50.2417 |
| 11.1 | 56.753  | 54.793  | 52.738  | 51.1557 | 55.881  | 53.921  | 51.866  | 50.2837 |
| 11.2 | 56.755  | 54.794  | 52.739  | 51.1569 | 55.883  | 53.922  | 51.867  | 50.2849 |
| 11.3 | 56.797  | 54.839  | 52.781  | 51.199  | 55.925  | 53.967  | 51.909  | 50.327  |
| 11.4 | 56.839  | 54.879  | 52.8235 | 51.241  | 55.967  | 54.007  | 51.9515 | 50.369  |
| 11.5 | 56.891  | 54.929  | 52.8755 | 51.293  | 56.019  | 54.057  | 52.0035 | 50.421  |
| 11.6 | 56.943  | 54.979  | 52.9275 | 51.34   | 56.071  | 54.107  | 52.0555 | 50.468  |
| 11.7 | 56.985  | 55.024  | 52.9695 | 51.35   | 56.113  | 54.152  | 52.0975 | 50.478  |
| 11.8 | 57.037  | 55.076  | 53.021  | 51.439  | 56.165  | 54.204  | 52.149  | 50.567  |
| 11.9 | 57.038  | 55.078  | 53.023  | 51.44   | 56.166  | 54.206  | 52.151  | 50.568  |
| 12   | 57.09   | 55.13   | 53.075  | 51.492  | 56.218  | 54.258  | 52.203  | 50.62   |



**LAMPIRAN E Nilai efisiensi Daya Terima**

| Diameter Bidang (Cm) | Efisiensi Daya Pada 1310 nm (dB) |           |           |           | Efisiensi Daya pada 1550 nm (dB) |           |           |           |
|----------------------|----------------------------------|-----------|-----------|-----------|----------------------------------|-----------|-----------|-----------|
|                      | 1 Lilitan                        | 2 Lilitan | 3 Lilitan | 4 Lilitan | 1 Lilitan                        | 2 Lilitan | 3 Lilitan | 4 Lilitan |
| 0.4                  | 0.9488                           | 0.91613   | 0.88188   | 0.855433  | 0.934267                         | 0.901597  | 0.867347  | 0.8409    |
| 0.5                  | 0.948803                         | 0.916133  | 0.881883  | 0.855483  | 0.93427                          | 0.9016    | 0.86735   | 0.84095   |
| 0.6                  | 0.948805                         | 0.916135  | 0.881885  | 0.8555    | 0.934272                         | 0.901602  | 0.867352  | 0.840967  |
| 0.7                  | 0.948813                         | 0.91615   | 0.881893  | 0.855517  | 0.93428                          | 0.901617  | 0.86736   | 0.840983  |
| 0.8                  | 0.948817                         | 0.916147  | 0.8819    | 0.855522  | 0.934283                         | 0.901613  | 0.867367  | 0.840988  |
| 0.9                  | 0.948833                         | 0.916167  | 0.881917  | 0.85555   | 0.9343                           | 0.901633  | 0.867383  | 0.841017  |
| 1                    | 0.948883                         | 0.916217  | 0.881967  | 0.855583  | 0.93435                          | 0.901683  | 0.867433  | 0.84105   |
| 1.1                  | 0.948917                         | 0.91625   | 0.882     | 0.855617  | 0.934383                         | 0.901717  | 0.867467  | 0.841083  |
| 1.2                  | 0.948967                         | 0.916283  | 0.882033  | 0.855667  | 0.934433                         | 0.90175   | 0.8675    | 0.841133  |
| 1.3                  | 0.949                            | 0.916333  | 0.882083  | 0.8557    | 0.934467                         | 0.9018    | 0.86755   | 0.841167  |
| 1.4                  | 0.949033                         | 0.916367  | 0.882117  | 0.85575   | 0.9345                           | 0.901833  | 0.867583  | 0.841217  |
| 1.5                  | 0.949078                         | 0.9164    | 0.88215   | 0.855783  | 0.934545                         | 0.901867  | 0.867617  | 0.84125   |
| 1.6                  | 0.949117                         | 0.91645   | 0.8822    | 0.855817  | 0.934583                         | 0.901917  | 0.867667  | 0.841283  |
| 1.7                  | 0.94915                          | 0.916483  | 0.882233  | 0.855867  | 0.934617                         | 0.90195   | 0.8677    | 0.841333  |
| 1.8                  | 0.949167                         | 0.916533  | 0.882283  | 0.8559    | 0.934633                         | 0.902     | 0.86775   | 0.841367  |
| 1.9                  | 0.949233                         | 0.916567  | 0.882317  | 0.855933  | 0.9347                           | 0.902033  | 0.867783  | 0.8414    |
| 2                    | 0.949283                         | 0.9166    | 0.88235   | 0.855983  | 0.93475                          | 0.902067  | 0.867817  | 0.84145   |
| 2.4                  | 0.949317                         | 0.91665   | 0.8824    | 0.856017  | 0.934783                         | 0.902117  | 0.867867  | 0.841483  |
| 2.5                  | 0.94935                          | 0.916683  | 0.882433  | 0.856067  | 0.934817                         | 0.90215   | 0.8679    | 0.841533  |
| 2.6                  | 0.9494                           | 0.916733  | 0.882483  | 0.8561    | 0.934867                         | 0.9022    | 0.86795   | 0.841567  |
| 2.8                  | 0.949467                         | 0.9168    | 0.88255   | 0.856183  | 0.934933                         | 0.902267  | 0.868017  | 0.84165   |
| 3                    | 0.94955                          | 0.916883  | 0.882633  | 0.85625   | 0.935017                         | 0.90235   | 0.8681    | 0.841717  |
| 4                    | 0.949617                         | 0.91695   | 0.8827    | 0.856317  | 0.935083                         | 0.902417  | 0.868167  | 0.841783  |
| 5                    | 0.949683                         | 0.917017  | 0.882767  | 0.8564    | 0.93515                          | 0.902483  | 0.868233  | 0.841867  |
| 6                    | 0.949767                         | 0.9171    | 0.88285   | 0.856467  | 0.935233                         | 0.902567  | 0.868317  | 0.841933  |
| 7.1                  | 0.949833                         | 0.917133  | 0.882907  | 0.8565    | 0.9353                           | 0.9026    | 0.868373  | 0.841967  |
| 7.2                  | 0.949867                         | 0.917183  | 0.882933  | 0.85655   | 0.935333                         | 0.90265   | 0.8684    | 0.842017  |
| 7.3                  | 0.949883                         | 0.917193  | 0.88295   | 0.856567  | 0.93535                          | 0.90266   | 0.868417  | 0.842033  |
| 7.4                  | 0.949888                         | 0.917213  | 0.882967  | 0.856588  | 0.935355                         | 0.90268   | 0.868433  | 0.842055  |
| 7.5                  | 0.9499                           | 0.917233  | 0.882983  | 0.856608  | 0.935367                         | 0.9027    | 0.86845   | 0.842075  |
| 7.6                  | 0.949923                         | 0.91725   | 0.883     | 0.856628  | 0.93539                          | 0.902717  | 0.868467  | 0.842095  |
| 7.8                  | 0.950623                         | 0.91795   | 0.883533  | 0.857328  | 0.93609                          | 0.903417  | 0.869     | 0.842795  |
| 7.9                  | 0.950643                         | 0.917967  | 0.88365   | 0.857348  | 0.93611                          | 0.903433  | 0.869117  | 0.842815  |
| 8                    | 0.950645                         | 0.917983  | 0.883667  | 0.85735   | 0.936112                         | 0.90345   | 0.869133  | 0.842817  |
| 8.1                  | 0.950665                         | 0.918     | 0.883683  | 0.857367  | 0.936132                         | 0.903467  | 0.86915   | 0.842833  |
| 9                    | 0.950667                         | 0.918017  | 0.883767  | 0.857383  | 0.936133                         | 0.903483  | 0.869233  | 0.84285   |
| 10.1                 | 0.9507                           | 0.918117  | 0.883867  | 0.857483  | 0.936167                         | 0.903583  | 0.869333  | 0.84295   |

|      |          |          |          |          |          |          |          |          |
|------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| 10.2 | 0.950817 | 0.918217 | 0.883967 | 0.8575   | 0.936283 | 0.903683 | 0.869433 | 0.842967 |
| 10.3 | 0.950833 | 0.918217 | 0.884    | 0.857583 | 0.9363   | 0.903683 | 0.869467 | 0.84305  |
| 10.4 | 0.950883 | 0.918217 | 0.884033 | 0.857652 | 0.93635  | 0.903683 | 0.8695   | 0.843118 |
| 10.5 | 0.950983 | 0.918317 | 0.884067 | 0.857683 | 0.93645  | 0.903783 | 0.869533 | 0.84315  |
| 10.6 | 0.951    | 0.918333 | 0.884083 | 0.8577   | 0.936467 | 0.9038   | 0.86955  | 0.843167 |
| 10.7 | 0.951317 | 0.918332 | 0.884082 | 0.857715 | 0.936783 | 0.903798 | 0.869548 | 0.843182 |
| 10.8 | 0.951333 | 0.918335 | 0.884085 | 0.857717 | 0.9368   | 0.903802 | 0.869552 | 0.843183 |
| 10.9 | 0.951513 | 0.91835  | 0.8841   | 0.857728 | 0.93698  | 0.903817 | 0.869567 | 0.843195 |
| 11.1 | 0.951717 | 0.91905  | 0.8848   | 0.858428 | 0.937183 | 0.904517 | 0.870267 | 0.843895 |
| 11.2 | 0.95175  | 0.919067 | 0.884817 | 0.858448 | 0.937217 | 0.904533 | 0.870283 | 0.843915 |
| 11.3 | 0.95245  | 0.919817 | 0.885517 | 0.85915  | 0.937917 | 0.905283 | 0.870983 | 0.844617 |
| 11.4 | 0.95315  | 0.920483 | 0.886225 | 0.85985  | 0.938617 | 0.90595  | 0.871692 | 0.845317 |
| 11.5 | 0.954017 | 0.921317 | 0.887092 | 0.860717 | 0.939483 | 0.906783 | 0.872558 | 0.846183 |
| 11.6 | 0.954883 | 0.92215  | 0.887958 | 0.8615   | 0.94035  | 0.907617 | 0.873425 | 0.846967 |
| 11.7 | 0.955583 | 0.9229   | 0.888658 | 0.861667 | 0.94105  | 0.908367 | 0.874125 | 0.847133 |
| 11.8 | 0.95645  | 0.923767 | 0.889517 | 0.86315  | 0.941917 | 0.909233 | 0.874983 | 0.848617 |
| 11.9 | 0.956467 | 0.9238   | 0.88955  | 0.863167 | 0.941933 | 0.909267 | 0.875017 | 0.848633 |
| 12   | 0.957333 | 0.924667 | 0.890417 | 0.864033 | 0.9428   | 0.910133 | 0.875883 | 0.8495   |



**LAMPIRAN F Nilai Error Persen**

| Diameter Bidang (Cm) | Nilai Error Persen Pada 1310 nm (%) |           |           |           | Nilai Error Persen Pada 1310 nm (%) |           |           |           |
|----------------------|-------------------------------------|-----------|-----------|-----------|-------------------------------------|-----------|-----------|-----------|
|                      | 1 Lilitan                           | 2 Lilitan | 3 Lilitan | 4 Lilitan | 1 Lilitan                           | 2 Lilitan | 3 Lilitan | 4 Lilitan |
| 0.4                  | 0.053634                            | 0.090866  | 0.132878  | 0.167537  | 0.070024                            | 0.10845   | 0.151861  | 0.187716  |
| 0.5                  | 0.053696                            | 0.090999  | 0.133087  | 0.167761  | 0.070087                            | 0.108585  | 0.152073  | 0.187943  |
| 0.6                  | 0.053738                            | 0.091087  | 0.133226  | 0.167933  | 0.07013                             | 0.108675  | 0.152214  | 0.188117  |
| 0.7                  | 0.05376                             | 0.091135  | 0.133317  | 0.16805   | 0.070152                            | 0.108723  | 0.152306  | 0.188235  |
| 0.8                  | 0.05378                             | 0.091187  | 0.133384  | 0.168147  | 0.070172                            | 0.108776  | 0.152375  | 0.188334  |
| 0.9                  | 0.05378                             | 0.091201  | 0.133422  | 0.168189  | 0.070171                            | 0.10879   | 0.152412  | 0.188377  |
| 1                    | 0.053739                            | 0.091172  | 0.133405  | 0.168209  | 0.070129                            | 0.10876   | 0.152394  | 0.188396  |
| 1.1                  | 0.053714                            | 0.091157  | 0.1334    | 0.168216  | 0.070103                            | 0.108744  | 0.152389  | 0.188402  |
| 1.2                  | 0.053668                            | 0.091138  | 0.13339   | 0.168193  | 0.070056                            | 0.108724  | 0.152378  | 0.188377  |
| 1.3                  | 0.053639                            | 0.091096  | 0.133353  | 0.168184  | 0.070026                            | 0.10868   | 0.152339  | 0.188368  |
| 1.4                  | 0.05361                             | 0.091071  | 0.133333  | 0.168148  | 0.069995                            | 0.108654  | 0.152318  | 0.18833   |
| 1.5                  | 0.053566                            | 0.091045  | 0.133311  | 0.168131  | 0.06995                             | 0.108627  | 0.152295  | 0.188311  |
| 1.6                  | 0.053529                            | 0.090997  | 0.133264  | 0.168109  | 0.069912                            | 0.108577  | 0.152246  | 0.188289  |
| 1.7                  | 0.053497                            | 0.090967  | 0.133237  | 0.168063  | 0.069879                            | 0.108546  | 0.152218  | 0.18824   |
| 1.8                  | 0.053483                            | 0.090916  | 0.133187  | 0.168036  | 0.069864                            | 0.108493  | 0.152166  | 0.188212  |
| 1.9                  | 0.053412                            | 0.090885  | 0.133156  | 0.168008  | 0.069792                            | 0.108461  | 0.152134  | 0.188183  |
| 2                    | 0.05336                             | 0.090852  | 0.133125  | 0.167955  | 0.069738                            | 0.108427  | 0.152101  | 0.188128  |
| 2.4                  | 0.053334                            | 0.090815  | 0.133096  | 0.167958  | 0.069711                            | 0.108389  | 0.152071  | 0.18813   |
| 2.5                  | 0.0533                              | 0.09078   | 0.13306   | 0.1679    | 0.069675                            | 0.108352  | 0.152034  | 0.188069  |
| 2.6                  | 0.053246                            | 0.090725  | 0.133002  | 0.167863  | 0.06962                             | 0.108295  | 0.151974  | 0.188031  |
| 2.8                  | 0.053176                            | 0.090653  | 0.132929  | 0.167766  | 0.069547                            | 0.108221  | 0.151897  | 0.18793   |
| 3                    | 0.053087                            | 0.09056   | 0.132832  | 0.167689  | 0.069455                            | 0.108125  | 0.151797  | 0.18785   |
| 4                    | 0.053024                            | 0.090504  | 0.132782  | 0.167646  | 0.06939                             | 0.108066  | 0.151745  | 0.187806  |
| 5                    | 0.052956                            | 0.090438  | 0.132717  | 0.167562  | 0.06932                             | 0.107998  | 0.151678  | 0.187718  |
| 6                    | 0.052868                            | 0.090348  | 0.132624  | 0.16749   | 0.06923                             | 0.107905  | 0.151582  | 0.187644  |
| 7.1                  | 0.052798                            | 0.090316  | 0.132563  | 0.16746   | 0.069157                            | 0.107871  | 0.151518  | 0.187612  |
| 7.2                  | 0.052761                            | 0.090257  | 0.132529  | 0.167393  | 0.069119                            | 0.107811  | 0.151483  | 0.187542  |
| 7.3                  | 0.052743                            | 0.090245  | 0.132509  | 0.167371  | 0.0691                              | 0.107799  | 0.151462  | 0.18752   |
| 7.4                  | 0.052738                            | 0.090222  | 0.132488  | 0.167343  | 0.069095                            | 0.107775  | 0.151441  | 0.187491  |
| 7.5                  | 0.052725                            | 0.090199  | 0.132468  | 0.167317  | 0.069082                            | 0.107751  | 0.151419  | 0.187464  |
| 7.6                  | 0.052699                            | 0.090179  | 0.132447  | 0.167291  | 0.069055                            | 0.107731  | 0.151398  | 0.187436  |
| 7.8                  | 0.051924                            | 0.089349  | 0.131765  | 0.16634   | 0.068256                            | 0.106873  | 0.150693  | 0.186452  |
| 7.9                  | 0.051903                            | 0.08933   | 0.131616  | 0.166313  | 0.068234                            | 0.106854  | 0.150539  | 0.186425  |
| 8                    | 0.051901                            | 0.08931   | 0.131595  | 0.166312  | 0.068232                            | 0.106834  | 0.150518  | 0.186424  |
| 8.1                  | 0.051879                            | 0.089291  | 0.131575  | 0.16629   | 0.068209                            | 0.106814  | 0.150496  | 0.186401  |
| 9                    | 0.051879                            | 0.089275  | 0.131473  | 0.166275  | 0.068209                            | 0.106797  | 0.150391  | 0.186385  |
| 10.1                 | 0.051844                            | 0.089159  | 0.13135   | 0.166146  | 0.068173                            | 0.106677  | 0.150264  | 0.186251  |

|      |          |          |          |          |          |          |          |          |
|------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| 10.2 | 0.051715 | 0.089041 | 0.131223 | 0.166124 | 0.06804  | 0.106555 | 0.150132 | 0.186228 |
| 10.3 | 0.051696 | 0.089041 | 0.131181 | 0.166011 | 0.068021 | 0.106555 | 0.150088 | 0.186112 |
| 10.4 | 0.051641 | 0.089041 | 0.131138 | 0.165918 | 0.067964 | 0.106556 | 0.150045 | 0.186016 |
| 10.5 | 0.051531 | 0.088923 | 0.131096 | 0.165876 | 0.06785  | 0.106434 | 0.150001 | 0.185972 |
| 10.6 | 0.051512 | 0.088904 | 0.131075 | 0.165854 | 0.067831 | 0.106413 | 0.149979 | 0.185949 |
| 10.7 | 0.051162 | 0.088906 | 0.131078 | 0.165834 | 0.06747  | 0.106416 | 0.149982 | 0.185929 |
| 10.8 | 0.051144 | 0.088902 | 0.131074 | 0.165832 | 0.067451 | 0.106412 | 0.149978 | 0.185927 |
| 10.9 | 0.050945 | 0.088884 | 0.131055 | 0.165817 | 0.067246 | 0.106394 | 0.149959 | 0.185911 |
| 11.1 | 0.050721 | 0.088056 | 0.130161 | 0.164867 | 0.067015 | 0.105538 | 0.149034 | 0.184928 |
| 11.2 | 0.050684 | 0.088036 | 0.13014  | 0.16484  | 0.066977 | 0.105518 | 0.149013 | 0.184901 |
| 11.3 | 0.049912 | 0.087149 | 0.129247 | 0.16389  | 0.066181 | 0.104602 | 0.148089 | 0.183917 |
| 11.4 | 0.049141 | 0.086362 | 0.128344 | 0.162943 | 0.065386 | 0.103789 | 0.147157 | 0.182937 |
| 11.5 | 0.048188 | 0.08538  | 0.127242 | 0.161772 | 0.064403 | 0.102775 | 0.146018 | 0.181726 |
| 11.6 | 0.047237 | 0.084399 | 0.126143 | 0.160716 | 0.063422 | 0.101763 | 0.144881 | 0.180633 |
| 11.7 | 0.04647  | 0.083518 | 0.125256 | 0.160492 | 0.062631 | 0.100854 | 0.143964 | 0.180401 |
| 11.8 | 0.045522 | 0.082502 | 0.12417  | 0.158498 | 0.061654 | 0.099804 | 0.142843 | 0.178338 |
| 11.9 | 0.045504 | 0.082463 | 0.124128 | 0.158476 | 0.061635 | 0.099764 | 0.142799 | 0.178316 |
| 12   | 0.044557 | 0.081448 | 0.123035 | 0.157315 | 0.060659 | 0.098717 | 0.141669 | 0.177114 |

