



Tesis - TF142320

**STUDI EKSPERIMENTAL *MULTI-POINT*  
*INTRUSION DETECTOR* BERBASIS *OPTICAL*  
*TIME DOMAIN REFLECTOMETRY***

ACHMADI  
NRP. 2416 201 010

DOSEN PEMBIMBING  
Agus Muhamad Hatta, S.T, M.Si, Ph.D

PROGRAM MAGISTER  
BIDANG KEAHLIAN REKAYASA INSTRUMENTASI INDUSTRI  
JURUSAN TEKNIK FISIKA  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA  
2018



# **STUDI EKSPERIMENTAL *MULTI-POINT INTRUSION* *DETECTOR* BERBASIS OPTICAL TIME DOMAIN REFLECTOMETRY**

Nama Mahasiswa : Achmadi

NRP : 24 16 201 010

Pembimbing : Agus Muhamad Hatta, S.T, M.Si, Ph.D

## **ABSTRAK**

Penyusup (*intruder/attacker*) merupakan sebuah aktifitas yang tidak bisa dianggap untuk tidak mungkin terjadi apabila berkaitan dengan bangunan, area (perimeter), maupun objek lain dimana memiliki suatu nilai baik militer, ekonomi, maupun industri. Tindak penyusupan memiliki similaritas dengan tindak pencurian dan menjadi awal dari tindak kriminal yang lebih jauh. Tindak penyusupan melalui proses melewati sistem pengawasan atau penjagaan. Untuk pencegahannya, maka sistem deteksi penyusup telah menjadi bagian penting dalam banyak sistem keamanan. Dibutuhkan sistem deteksi yang akurat dan respon yang cepat. Serat optik telah dikenal mampu menjadi transmisi data maupun sebagai sensor. Serat optik dapat digunakan sebagai distributed sensor yang mampu menggantikan banyak sensor tipe titik. OTDR telah dikenal sebagai salah satu metode karakterisasi serat optik. Melalui OTDR akan didapatkan events yang terjadi pada serat optik secara *real-time*. Hasil *trace* OTDR dapat digunakan untuk deteksi penyusup. Penelitian ini bertujuan untuk merancang sistem deteksi penyusup menggunakan serat optik dan OTDR yang mampu menemukan penyusup dalam multi-point. Dalam penelitian ini diusulkan sebuah studi eksperimental untuk mendapatkan rancang bangun sistem sensor terdistribusi berbasis serat optik dan OTDR untuk deteksi penyusup. Studi eksperimental disini divariasikan baik konfigurasi serat optik itu sendiri dan juga divariasikan bentuk distribusi sensor. Untuk mendapatkan hasil *trace* maka digunakan modul Mini-OTDR Anritsu MU909015C, sedangkan untuk eksperimen akan dibangun konstruksi pagar yang akan menjadi tempat instalasi sensor. Sebagai pengganti tindak intrusi maka diberikan gaya tekan kepada sensor dengan nilai dan jumlah yang telah ditentukan. Luaran yang diharapkan dari penelitian ini adalah hasil rancang bangun sensor instruksi terdistribusi dan rancang bangun algoritma untuk mendapatkan posisi multi-point dari tindak intrusi.

**Kata Kunci:** Serat optik, OTDR, deteksi penyusup, *trace*, events, sensor terdistribusi



# **EXPERIMENTAL STUDY OF MULTI-POINT INTRUSION DETECTOR BASED ON OPTICAL TIME DOMAIN REFLECTOMETRY**

Nama Mahasiswa : Achmadi

NRP : 24 16 201 010

Pembimbing : Agus Muhamad Hatta, S.T, M.Si, Ph.D

## **ABSTRACT**

Intrusion by an intruder is an act that cannot be ignored due to a building, an area (perimeter), or any object regarding its either military, economical, or industrial values. Intrusion has high similarity to theft crime and can be root of more crime act. Intrusion is an act that by-passing any surveillance or security system. For prevention, a detection system become essential to many security system. This detection system has to be highly accurate and fast response. Optical fiber already known for its capabilities to both data transmission and as a distributed sensor. An distributed sensor mean single optical fiber section can replace many point-type sensors. OTDR already known as one of optical fiber characterization. Through OTDR, an events that occur on a optical fiber can be acquired by real-time. An trace result of OTDR can be used to intrusion detector. This research purposes is to get designs of an intrusion detector system using optical fiber and OTDR that can detect any multi-point intrusion. This research proposed an experimental study to get an intrusion detector using distributed sensor based optical fiber and OTDR. This experimental study proposed to test sensor variation in both optical fiber configuration and distributed sensor shape. To get trace result, this research use Anritsu MU909015C Mini OTDR module and for experiment, a fence construction is proposed as distributed sensor placement. As intrusion act, this research proposed to give a mechanical pressure to sensor with certain amount and magnitude. The expected output of this research are design of distributed sensor for intrusion detection and algorithm to get multi-point intrusion positions.

*Keywords:* optical fiber, OTDR, intrusion detection, trace, events, distributed sensor



**LEMBAR PENGESAHAN**

**DRAFT PROGRES I**

**Judul : STUDI EKSPERIMENTAL MULTI-POINT INTRUSION  
DETECTOR BERBASIS OPTICAL TIME DOMAIN REFLECTOMETRY**

Oleh : Achmadi

NRP : 24 16 201 010

**Telah diseminarkan pada :**

Hari :

Tanggal :

Tempat :

**Mengetahui / menyetujui :**

Dosen Penguji

Prof. Dr. Ir. Sekartedjo, M.Sc

NIP. 19500402 1979 01 1 001

Dosen Pembimbing

Agus M. Hatta, S.T, M.Si, Ph.D

NIP. 19780902 2003121 002

Dr. rer. nat. Ir. Aulia M.T. Nasution., M.Sc

NIP. 19671117 199702 1 001





## Daftar Isi

Abstrak . . . . .	ii
Abstract . . . . .	iv
Lembar Pengesahan . . . . .	vi
Pendahuluan . . . . .	9
1.1 Latar Belakang . . . . .	9
1.2 Rumusan Masalah . . . . .	10
1.3 Tujuan Penelitian . . . . .	10
1.4 Manfaat Penelitian . . . . .	11
Kajian Pustaka . . . . .	13
2.1 Instruksi dan Keamanan . . . . .	13
2.2 Serat Optik . . . . .	13
2.3 Multimode Interference (MMI) . . . . .	14
2.4 Efek Mekanis pada Serat Optik . . . . .	15
2.5 Serat Optik sebagai Distributed Sensor . . . . .	15
2.6 Optical Time Domain Reflectometer (OTDR) . . . . .	15
2.7 Backscattering . . . . .	16
2.8 Modul OTDR Anritsu MU909015C . . . . .	17
Metodologi . . . . .	19
3.1 Tempat Penelitian . . . . .	19
3.2 Prosedur Penelitian . . . . .	19
3.3 Pembuatan Pagar . . . . .	19
3.4 Jenis/Struktur Serat Optik . . . . .	21
3.5 Analisa Multi-Point . . . . .	22
Hasil . . . . .	23
4.1 Gangguan . . . . .	23
4.2 Parameter sementara OTDR . . . . .	23
4.3 Hasil uji di setiap konfigurasi . . . . .	24
4.4 Hasil uji 2 titik . . . . .	27
4.5 Uji Gangguan Displacement . . . . .	28
Daftar Pustaka . . . . .	33



## Daftar Gambar

2.1	Ragam Intrusi . . . . .	13
2.2	Struktur Serat . . . . .	13
2.3	Muka Gelombang Serat Optik . . . . .	14
2.4	Pandu Gelombang SMS . . . . .	14
2.5	Struktur umum OTDR . . . . .	15
2.6	Tipikal plot hasil OTDR . . . . .	16
2.7	respon events hasil OTDR . . . . .	16
2.8	Skema umum backscatter. . . . .	16
3.1	Diagram Alir Penelitian . . . . .	19
3.2	Skema Setup . . . . .	20
3.3	Parameter OTDR . . . . .	20
3.4	panel antar-muka module . . . . .	20
3.5	Trace Viewer pada Komputer . . . . .	20
3.6	Diagram Alir . . . . .	21
3.7	Diagram Alir . . . . .	22
4.1	Uji Peturbasi . . . . .	23
4.2	Uji Peturbasi . . . . .	23
4.3	Trace SMF . . . . .	24
4.4	Trace SMF-SMF . . . . .	24
4.5	Trace SMF-SMF . . . . .	24
4.6	Trace SM-MMFGI . . . . .	25
4.7	Trace SM-MMFGI . . . . .	25
4.8	Trace SM-MMFGI-SM . . . . .	25
4.9	Trace SM-MMFGI-SM . . . . .	25
4.10	Trace SM-MMFSI . . . . .	26
4.11	Trace SM-MMFSI-SM . . . . .	26
4.12	Trace SM-MMFSI-SM . . . . .	26
4.13	Uji Pagar . . . . .	27
4.14	Uji Pagar . . . . .	28
4.15	Uji Pagar . . . . .	29
4.16	(a) Grafik trace dasar . . . . .	29
4.17	(b) Nilai puncak event fiber <i>Splice</i> dan <i>End</i> . . . . .	30
4.18	(a) Respon fiber end . . . . .	30
4.19	(b) Respon fiber splice . . . . .	30
4.20	(a) Respon fiber end . . . . .	31
4.21	(b) Respon fiber splice . . . . .	31



## Daftar Tabel



# **BAB I**

## **Pendahuluan**

### **1.1 Latar Belakang**

Penyusupan (intrusion) merupakan sebuah aktifitas yang tidak bisa dianggap untuk tidak mungkin terjadi apabila berkaitan dengan bangunan, area (perimeter), maupun objek lain dimana memiliki suatu nilai baik militer, ekonomi, maupun industri[1]. Pembahasan mengenai penyusup ini erat kaitan dalam pembahasan pencurian (theft) dalam bidang kriminologi, sehingga perilaku penyusupan memiliki kemiripan yang tinggi dengan fenomena pencurian [2]. Kemiripan ini menempatkan definisi penyusupan tidak jauh terhadap definisi pencurian. Secara umum, penyusupan maupun pencurian adalah tindak kriminal yang melibatkan proses melewati maupun menerobos suatu sistem penjagaan atau pengawasan [3]. Menurut statistik international, tindak kriminal pencurian memang tidaklah setinggi kriminal lain yang berkaitan pembunuhan dan obat-terlarang [4]. Namun demikian tetap dilakukan pencegahan karena penyusupan adalah awal dari beragam tindak kriminal lebih lanjut [5].

Sistem pendeteksi penyusup saat ini telah mengalami perkembangan signifikan. Metode konvensional seperti patroli rutin/mendadak kini mulai terganti dengan sistem terintegrasi semisal *Motion Detector*, kamera pengintai, atau pagar listrik [6]. Salah satu metode baru adalah dengan menerapkan teknologi radar untuk mendapatkan objek-objek sekitar perimeter termasuk manusia [7]. Metode lain dalam deteksi penyusup adalah menggunakan propagasi gelombang radio (wireless) untuk mendapatkan gangguan (disturbance) yang diakibatkan oleh penyusup [8][9].

Sensor serat optik memiliki potensi besar untuk mendeteksi adanya tindak penyusupan dalam suatu area perimeter sebagaimana serat optik sendiri telah digunakan baik untuk bidang komunikasi dan juga sebagai sensor. Serat optik dapat menerima informasi baik secara spasial maupun temporal di sepanjang serat optik [10]. Penggunaan serat optik sebagai sensor sangat tepat karena serat optik tahan terhadap gangguan elektromagnet dan dapat bekerja di lingkungan yang berbahaya [11].

Sistem pendeteksi penyusup dengan berbasis serat optik juga telah banyak menarik perhatian untuk dilakukan riset dan pengembangan disebabkan penggunaannya yang versatile, untuk perlindungan pemukiman, perlindungan sistem komunikasi, atau untuk monitoring sistem perpipaan [12]. Sistem pendeteksi penyusup menjadi sangat dibutuhkan apabila jika dihadapkan pada kebutuhan keamanan pada bangunan-bangunan krusial [13]. Pentingnya keberadaan sistem keamanan yang baik, sehingga diperlukan sistem untuk mendeteksi adanya tindak penyusupan dalam satu perimeter [14].

Penggunaan Optical Time Domain Reflectometry (OTDR) telah banyak digunakan untuk karakterisasi suatu bagian tertentu dari serat optik [15]. Karakterisasi menggunakan OTDR memberikan hasil yang dengan tingkat keakuratan dan tingkat kepresisian yang tinggi [16]. Dengan teknologi OTDR, dapat dilakukan pengawasan secara real-time terhadap semua event yang dikenakan kepada suatu bagian tertentu dari serat optik dengan jangkauan panjang [17]. Saat ini OTDR telah menjadi bagian penting dari sistem komunikasi serat optik yang memiliki peran penting dari segi perawatan (maintenance) maupun pengecekan instalasi jaringan komunikasi serat optik [18].

Penggunaan teknik OTDR secara konvensional saat ini menyediakan karakterisasi serat optik berdasarkan hasil analisa terhadap nilai daya hamburan balik (backscattering) dimana didapatkan titik anomali dalam proses trace [15]. Dalam proses trace, apabila terdapat 2 atau lebih gangguan yang terjadi secara bersamaan, maka hanya gangguan yang paling dekat dengan near-end yang akan terlihat adanya anomali, sedangkan yang lebih jauh tidak tampak [19]. Hal ini menyebabkan deteksi penyusup yang ada saat ini lebih bersifat single-point dalam satu waktu.

Dalam penelitian ini akan dilakukan suatu studi eksperimental untuk mendapatkan rancang bangun serat sensor optik untuk mampu mendeteksi adanya penyusupan. Selain itu diusulkan pula rancang bangun algoritma untuk mendapatkan metode baru yang dapat diimplementasikan sehingga bisa dilakukan deteksi penyusup secara multi-point.

## **1.2 Rumusan Masalah**

Berdasarkan latar belakang tersebut, maka permasalahan yang akan dikaji dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Bagaimana konfigurasi sensor serat optik berbasis singlemode dan multimode untuk mendeteksi adanya intrusi?
2. Bagaimana pengaturan OTDR yang efektif untuk mendeteksi adanya intrusi?

## **1.3 Tujuan Penelitian**

Berdasarkan latar belakang tersebut, maka permasalahan yang akan dikaji dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Mendapatkan konfigurasi sensor serat optik berbasis singlemode dan multimode untuk mendeteksi adanya intrusi
2. Mendapatkan pengaturan OTDR yang efektif untuk mendeteksi adanya intrusi.



## **1.4 Manfaat Penelitian**

Studi eksperimental ini diharapkan dapat meningkatkan tingkat akurasi sistem deteksi penyusup berbasis serat optik terhadap gangguan multi-point melalui produk baik software antar muka (interface), pustaka (libraries) maupun hardware sebagai tambahan (add-on) yang dapat diimplementasikan kepada sistem OTDR yang telah tersedia di pasaran.



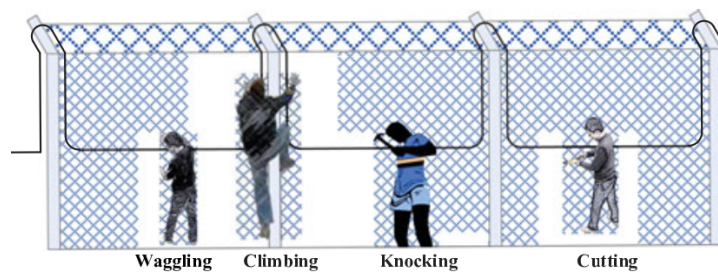
## BAB II

### Kajian Pustaka

#### 2.1 Instruksi dan Keamanan

Intrusi (intrusion) adalah sebuah fenomena dimana sebuah objek melintasi suatu area yang secara hukum terlarang untuk dilintasi. Intrusi ini sering terjadi pada bangunan-bangunan yang krusial dan kritikal [13]. Pengertian intrusi disini juga diartikan sebagai gangguan terhadap suatu area yang seharusnya tidak ada gangguan, dimana tujuan utama intrusi adalah melewati sistem penjagaan atau keamanan [3]. Intrusi yang dimaksud disini bukanlah intrusi dalam artian dalam bidang tektonik maupun bidang keamanan jaringan sistem informasi.

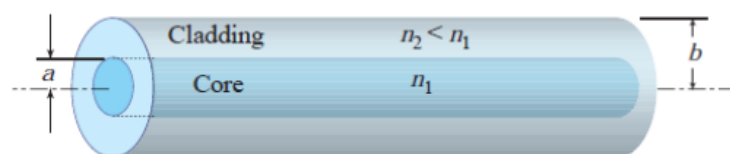
Terdapat ragam jenis intrusi, namun dalam penelitian ini diambil intrusi yang dilakukan dengan menembus batas perimeter berupa pagar. Tindak intrusi disini terbagi menjadi lompatan (jump), pendakian (climbing), pemotongan (cutting), menggoyang (wagging), maupun pemukulan (knocking) yang ditunjukkan pada gambar 2.1 [14].



Gambar 2.1: Sebagian ragam bentuk tindak intrusi

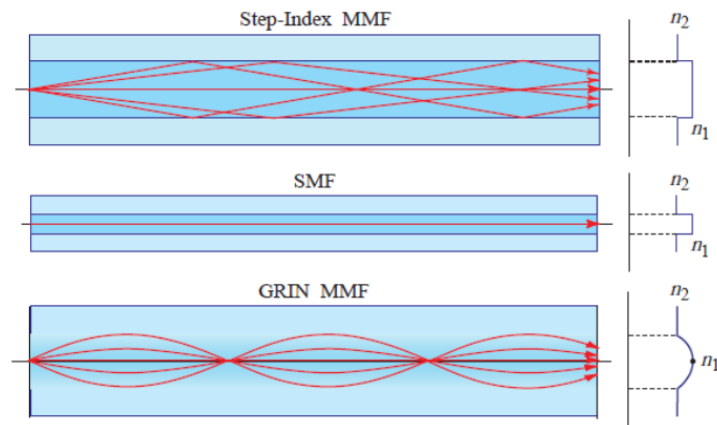
#### 2.2 Serat Optik

Serat optik merupakan pemandu gelombang silindris dielektrik yang terbuat dari material low-loss seperti plastik maupun gelas silika. Serat optik terdiri dari core dimana cahaya dipandu, dan cladding sebagai selubung core. Core memiliki indeks bias lebih tinggi daripada cladding.



Gambar 2.2: Struktur umum serat optik

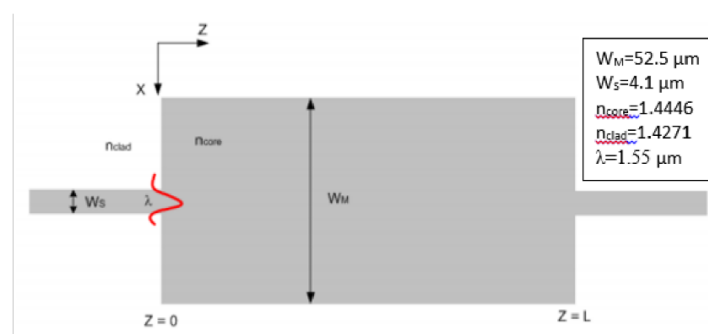
Sinar yang masuk pada boundary core-cladding dengan sudut yang lebih besar daripada sudut kritis akan mengalami peristiwa total internal reflection dan akan dipandu melalui core tanpa mengalami pembiasan. Berdasarkan moda perambatannya, serat optik dibagi menjadi dua jenis yaitu serat singlemode yang memiliki diameter core lebih kecil dan serat multimode yang memiliki diameter core lebih besar. Tipe perambatan sinar pada core serat optik dibagi dua yaitu step-index dan graded-index.



Gambar 2.3: Bentuk Geometri, Profil Indeks Bias dan Tipe Perambatan sinar pada MMF Step, SMF, dan MMF Graded

## 2.3 Multimode Interference (MMI)

Multimode Interference (MMI) merupakan fenomena yang terjadi akibat adanya pemantulan cahaya secara berulang didalam susunan core dan cladding pandu gelombang. Pemantulan yang berulang didalam core menyebabkan terjadinya interferensi internal, sehingga terjadi perubahan pola cahaya yang keluar dari core secara periodik. Interferensi yang terjadi dapat secara konstruktif maupun destruktif bergantung pada profil indeks bias, jejari, radius, dan panjang gelombang operasi yang digunakan. Interferensi konstruktif yang terjadi secara periodik ini disebut sebagai self imaging. Fenomena self imaging didalam pandu gelombang multimode dapat dijelaskan menggunakan modal propagation analysis (MPA).



Gambar 2.4: Skema pandu gelombang multimode pada serat optik SMS

Pada profil medan input ( $z = 0$ ), moda yang berasal dari serat singlemode tereksitasi menjadi distribusi moda yang mungkin terpandu kedalam pandu gelombang serat multimode. Sedangkan pada profil medan ( $z=L$ ), akan menghasilkan self imaging sebanyak  $n$  kali dengan jarak tertentu secara periodik (jarak reimaging). Jarak self imaging ditentukan oleh konstanta propagasi antar moda yang berdekatan ( $\beta_m$  dan  $\beta_{m+1}$ ), dinyatakan sebagai berikut:

$$L_i = 10 * \frac{\pi}{\beta_m + \beta_{m+1}} \quad (1)$$

## 2.4 Efek Mekanis pada Serat Optik

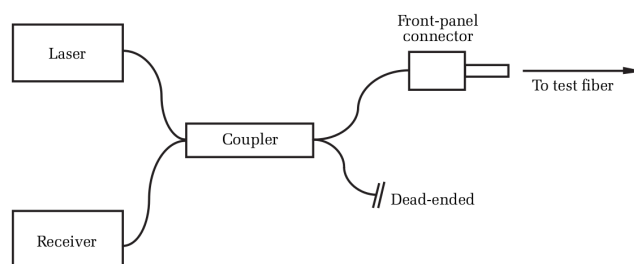
Efek mekanis disini adalah perlakuan mekanis terhadap serat yang dapat mempengaruhi daya yang dirambatkan oleh serat optik. Perlakuan yang dipilih disini adalah macro-bending dimana telah dilakukan penelitian bahwa macro-bending dapat mempengaruhi hasil trace OTDR [20].

## 2.5 Serat Optik sebagai Distributed Sensor

Selain sebagai perambat gelombang cahaya, serat optik saat ini juga digunakan sebagai sensor. Salah pencapaian dalam serat optik sebagai sensor adalah penggunaannya sebagai distributed sensor [21]. Pengertian distributed disini adalah bahwa sepanjang serat optik dapat berfungsi sebagai sensor dan menggantikan model sensor konvensional yang berbasis pengukuran satu titik [22]. Penggunaan distributed sensor ini tentu akan mengurangi biaya dan kompleksitas sistem.

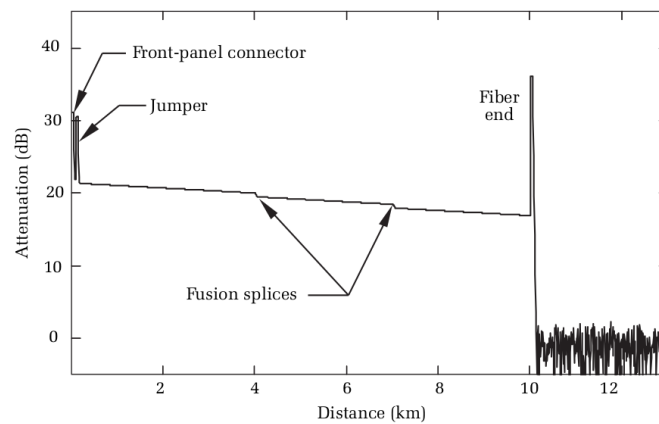
## 2.6 Optical Time Domain Reflectometer (OTDR)

OTDR atau Optical Time Domain Reflectometer adalah alat untuk karakterisasi serat optik yang bekerja dengan mentransmisikan berkas laser dalam bentuk pulsa kemudian mengukur sinyal balik di setiap cacah waktu [23]. Sinyal balik dalam OTDR merupakan hasil dari fenomena backscattering. Skema OTDR secara umum adalah sebagai berikut:



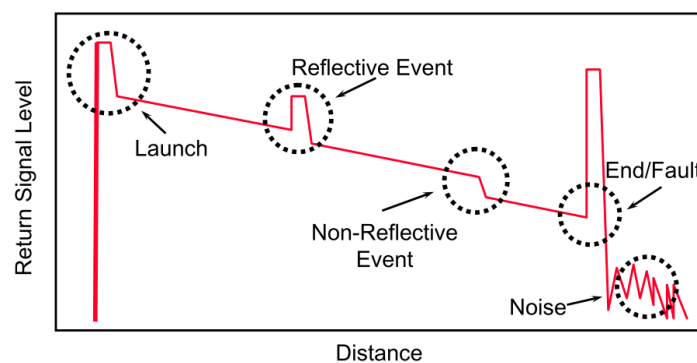
Gambar 2.5: Struktur umum OTDR

Hasil pengukuran OTDR atau yang sering disebut trace adalah berupa plot nilai pelemahan daya backscatter terhadap waktu atau panjang serat optik [24]. Berikut adalah tipikal plot trace dalam OTDR:



Gambar 2.6: Tipikal plot hasil OTDR

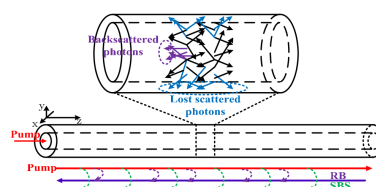
Di dalam hasil hasil trace akan menunjukkan respon terhadap events baik berupa reflective maupun non-reflective.



Gambar 2.7: respon events hasil OTDR [25]

## 2.7 Backscattering

Fenomena backscattering merupakan fenomena yang diakibatkan oleh respon material silikat dari serat optik terhadap pulsa laser yang ditransmisikan oleh OTDR. Scattering yang terjadi dapat berupa Raleigh (RB) maupun stimulated Brillouin (SBS) [26]. Berikut adalah skema umum dari backscattering:



Gambar 2.8: Skema umum backscatter.

## **2.8 Modul OTDR Anritsu MU909015C**





## BAB III

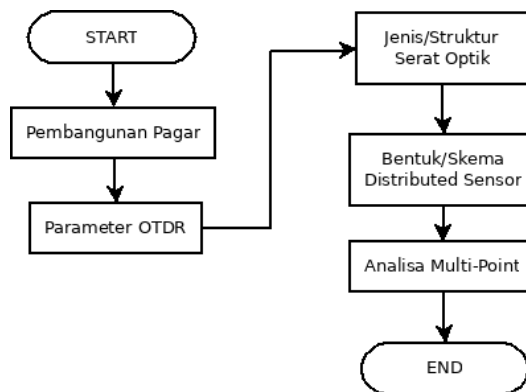
### Metodologi

#### 3.1 Tempat Penelitian

Penelitian ini akan dilakukan di Laboratorium Rekayasa Fotonika dan lingkungan sekitar gedung Jurusan Teknik Fisika ITS.

#### 3.2 Prosedur Penelitian

Prosedur penelitian terdiri dari beberapa tahapan yang dilakukan dari awal hingga akhir untuk tercapainya tujuan dari penelitian ini. Metode penelitian merupakan serangkaian kegiatan yang dilakukan dari awal hingga akhir untuk tercapainya tujuan penelitian ini.



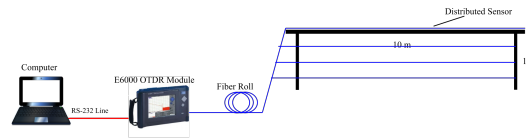
Gambar 3.1: Diagram Alir Penelitian

Prosedur penelitian dibagi menjadi beberapa tahapan yang akan dijelaskan rinci sebagai berikut :

#### 3.3 Pembuatan Pagar

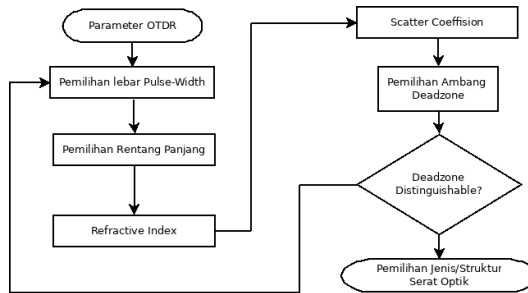
Untuk dapat dilakukan penelitian tentang deteksi intrusi, maka direncanakan pembangunan pagar tipe harmonika di belakang gedung E sepanjang 10 m dan setinggi 1 m berbahan kawat dengan rangka berbahan baja seamless tubular. Skema akhir seluruhnya mencakup pagar, OTDR, serat optik, gulungan, dan komputer. Distributed sensor divariasikan pada puncak pagar dan setiap jarak 25 cm pada tinggi harmonika pagar untuk dapat mendeteksi setiap kemungkinan tindak penyusupan [14]. Berikut adalah gambaran setup yang akan dibangun ditunjukkan pada Gambar 3.2.

Tahap selanjutnya adalah penentuan nilai parameter OTDR yang dapat menghasilkan hasil trace dengan events yang distinguishable. Parameter yang dimaksud



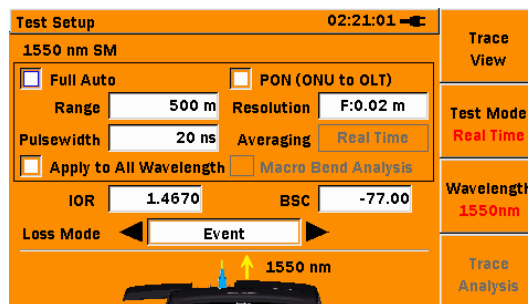
Gambar 3.2: Skema setup secara global

adalah nilai lebar pulsa (Pulse-Width) dan periode pulsa. Berikut gambar 3.3 diagram alir tahap ini:

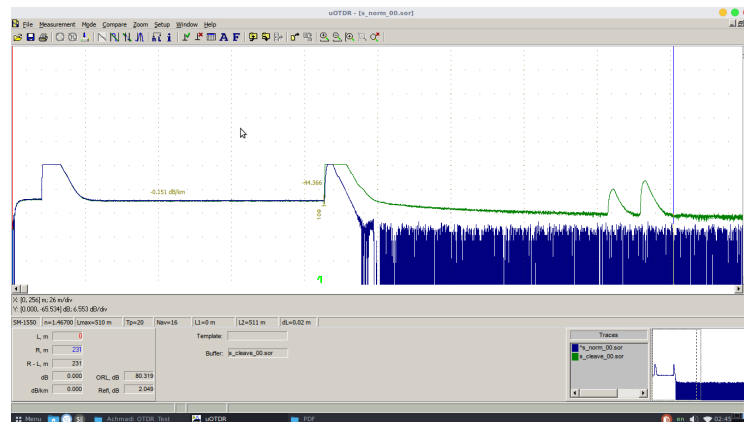


Gambar 3.3: Diagram Alir Penentuan Parameter OTDR

Penentuan nilai-nilai parameter ini dapat dilakukan di module sendiri melalui software antar muka pada module OTDR.



Gambar 3.4: Panel antar-muka module



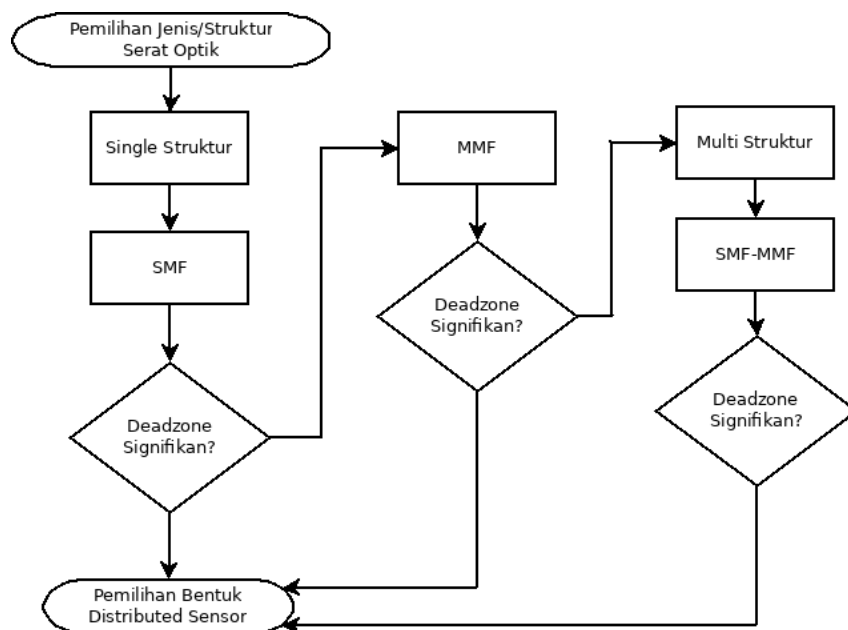
Gambar 3.5: Trace Viewer pada Komputer

### 3.4 Jenis/Struktur Serat Optik

Tahapan ini bertujuan untuk membandingkan penggunaan jenis dan struktur yang berbeda dari serat optik untuk mendapatkan hasil trace dengan events yang paling distinguishable. Variasi jenis serat optik adalah [27]:

- Single-Mode (step-index)
- Multi-Mode (graded-index)

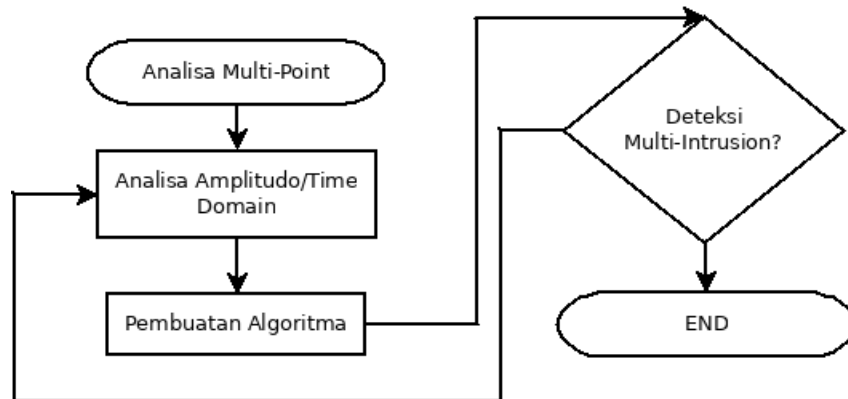
Sedangkan variasi struktur adalah 1) single-structure dan 2) multi-structure berstruktur Single-Multi-Single [28]. Berikut diagram alir tahapan ini:



Gambar 3.6: Diagram Alir pemilihan jenis/struktur serat optik

### 3.5 Analisa Multi-Point

Tahapan terakhir dalam penelitian ini adalah tahap analisa hasil trace untuk menentukan jumlah gangguan multi-point pada pagar secara akurat. Analisa dilakukan dengan mengambil hasil trace sebagai sinyal periodik domain waktu untuk mendapatkan jumlah titik dengan amplitudo yang tergolong events. Hasil analisa ini kemudian digeneralisasi sehingga dapat dituangkan ke dalam bentuk algoritma yang dapat digunakan untuk menghitung jumlah gangguan secara real-time. Berikut diagram alir tahapan ini:



Gambar 3.7: Diagram Alir analisa multi-point dari hasil trace

## BAB IV

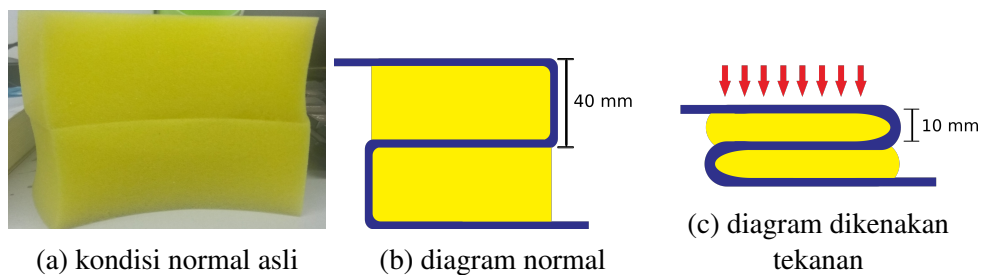
### Hasil dan Pembahasan

Berikut adalah hasil eksperimen awal untuk menguji respon OTDR dari serat optik dalam kondisi yang telah ditentukan kemudian diberi peturbation (gangguan) berupa macro-bending di satu tempat.

#### 4.1 Gangguan

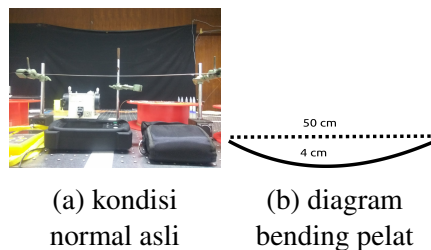
Gangguan yang digunakan untuk eksperimen awal disini berupa macro-bending yang berasal dari dua perlakuan, yaitu tekanan yang dikenakan pada busa elastis yang telah dililitkan serat optik dan tekanan yang dikenakan pada pelat besi lunak.

1. Berikut adalah gambaran busa elastis sebagai alat bantu untuk membentuk bending pada serat optik.



Gambar 4.1: Gambaran gangguan terhadap serat optik

2. Berikut adalah gambaran pelat besi lunak sebagai alat bantu untuk membentuk bending pada serat optik.



Gambar 4.2: Gambaran gangguan terhadap serat optik

#### 4.2 Parameter sementara OTDR

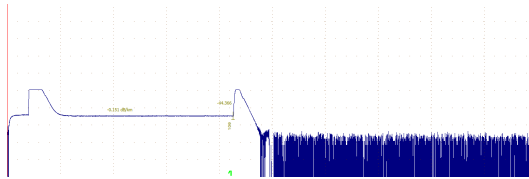
Dalam eksperimen ini digunakan parameter OTDR dari eksperimen serat optik SMS sebagai sensor arus [27], yaitu nilai Index of Reflection (IOR) sebesar 1.4670 dan BackScatter Coefficient (BSC) senilai -77. Sedangkan untuk panjang gelombang digunakan 1550 nm.

### 4.3 Hasil uji di setiap konfigurasi

Berikut dipaparkan hasil setiap konfigurasi disertai perbandingan, sehingga dapat diketahui perbedaan respon OTDR di setiap perlakuan.

#### 1. Single Mode

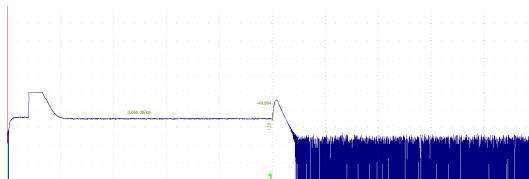
Berikut adalah hasil trace OTDR untuk serat optik SMF dengan satu splice yaitu antara 1 roll SMF 100m dengan 10 cm SMF dengan konektor FC (pigtailed)



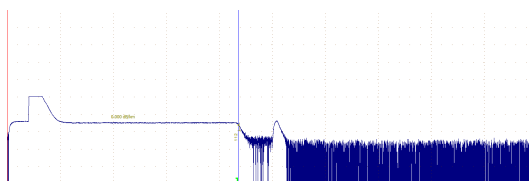
Gambar 4.3: Hasil trace OTDR pada SMF normal

#### 2. Single Mode – Single Mode

Berikut adalah hasil trace OTDR untuk serat optik SMF dengan dua splice yaitu antara 1 roll SMF 100m, 1 roll SMF 50m, dan 10 cm SMF dengan konektor FC (pigtailed).



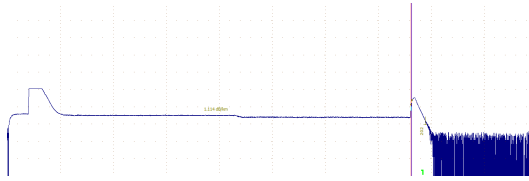
Gambar 4.4: Hasil trace OTDR pada SM-SM normal



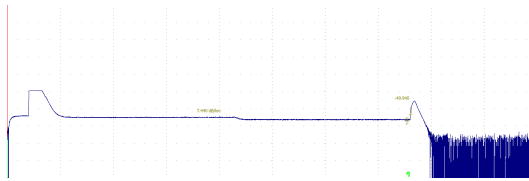
Gambar 4.5: Hasil trace OTDR pada SM-SM dengan gangguan

### 3. Single Mode – Multi Mode Graded Index

Berikut adalah hasil trace OTDR untuk serat optik SMF dengan dua splice yaitu antara 1 roll SMF 100m, 1 roll MMF-GI 100m, dan 10 cm SMF dengan konektor FC (pigtailed).



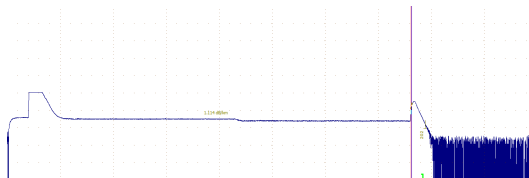
Gambar 4.6: Hasil trace OTDR pada SM-MMFGI normal



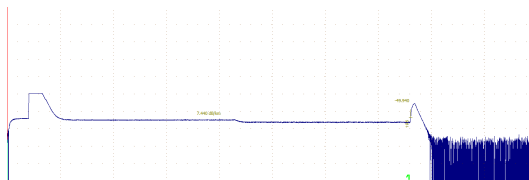
Gambar 4.7: Hasil trace OTDR pada SM-MMFGI dengan gangguan

### 4. Single Mode – Multi Mode Graded Index - Single Mode

Berikut adalah hasil trace OTDR untuk serat optik SMF dengan tiga splice yaitu antara 1 roll SMF 100m, 1 roll MMF-GI 100m, 1 roll SMF 20 m, dan 10 cm SMF dengan konektor FC (pigtailed)



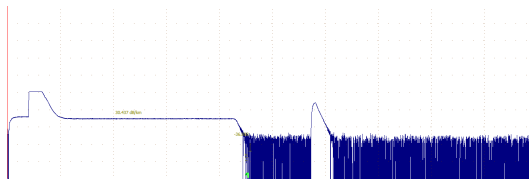
Gambar 4.8: Hasil trace OTDR pada SM-MMFGI-SM normal



Gambar 4.9: Hasil trace OTDR pada SM-MMFGI-SM dengan gangguan

### 5. Single Mode – Multi Mode Step Index

Berikut adalah hasil trace OTDR untuk serat optik SMF dengan tiga splice yaitu antara 1 roll SMF 100m, 1 roll MMF-SI 100m, dan 10 cm SMF dengan konektor FC (pigtailed)



Gambar 4.10: Hasil trace OTDR pada baik SM-MMFSI normal maupun SM- MMFSI dengan gangguan

## 6. Single Mode – Multi Mode Step Index- Single Mode

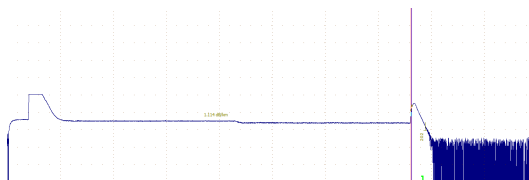
Berikut adalah hasil trace OTDR untuk serat optik SMF dengan tiga splice yaitu antara 1 roll SMF 100m, 1 roll MMF-SI 50m, 1 roll SMF 20 m, dan 10 cm SMF dengan konektor FC (pigtailed).



Gambar 4.11: Hasil trace OTDR pada baik SM-MMFSI-SM normal maupun SM-MMFSI-SM dengan gangguan

## 7. Single Mode – Multi Mode Graded dengan pembanding OPM-OLS

Berikut adalah hasil trace OTDR untuk serat optik SMF dengan tiga splice yaitu antara 1 roll SMF 100m, 1 roll MMF-SI 50m, 1 roll SMF 20 m, dan 10 cm SMF dengan konektor FC (pigtailed) dengan bending pelat besi lunak dimana pelat pada panjang 20m setelah splice antara SMF dan MMF.



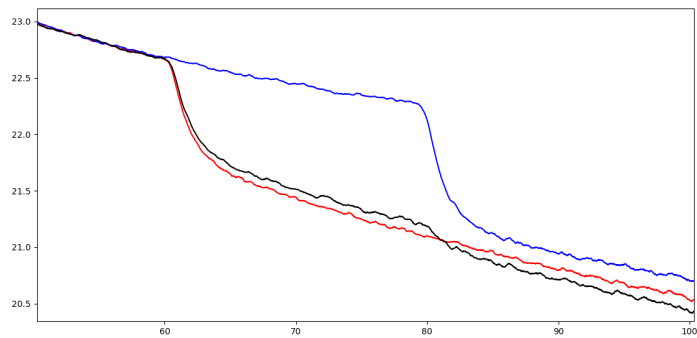
Gambar 4.12: Hasil trace OTDR pada baik SM-MMFSI-SM normal maupun SM-MMFSI dengan gangguan

Sebagai acuan untuk mengetahui adanya interferensi pada serat optik multimode, diukur transmisi antara sebelum dan sesudah bending. Pengukuran menggunakan Fiber Tester dan OPM JW3208 pada panjang gelombang yang sama dengan trace OTDR yaitu 1550 nm. Hasil sementara menunjukkan bahwa terjadi selisih transmisi pada nilai stabil 50 nW pada bending menurut setup di atas. Namun tidak terjadi perubahan pada trace OTDR baik sebelum atau sesudah bending.

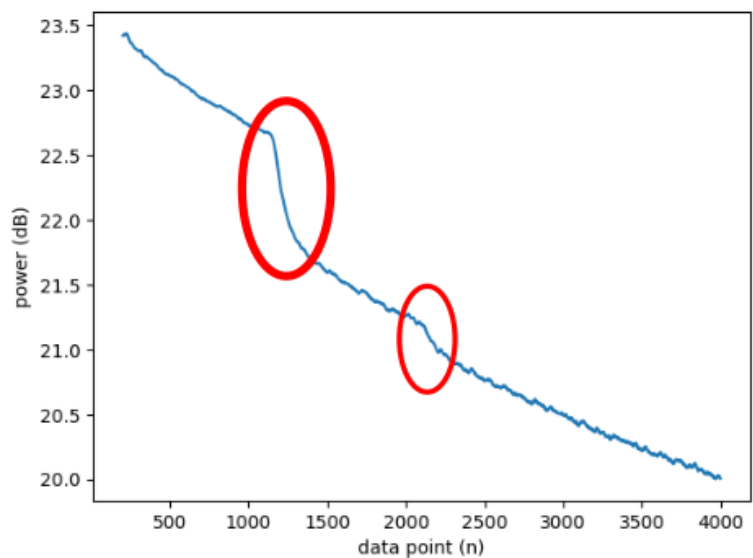


#### 4.4 Hasil uji 2 titik

Selanjutnya dengan setup yang sama, dilakukan uji dengan gangguan sebanyak 2 titik yang terpisah 20mm (sesuai resolusi OTDR). Didapatkan 2 drop daya backscatter dimana drop pertama sebesar 3dB dan drop kedua 0.5dB. Hasil ini hanya didapatkan untuk fiber jenis single-mode di sepanjang sensor. Berikut hasil trace untuk uji 2 titik



(a) Komparasi uji trace untuk gangguan posisi pertama, kedua, dan keduanya



(b) Dua posisi drop daya

Gambar 4.13: Grafik hasil Trace SM untuk 2 titik uji

## 4.5 Uji Gangguan Displacement

Dengan memperhatikan setiap hasil uji perlakuan sebelumnya, maka selanjutnya dilakukan uji eksperimen displacement dengan bantuan kawat sebagai pengganti pagar. Konfigurasi yang dipilih adalah Singlemode-Multimode-Singlemode. Setup yang dilakukan adalah dengan membentangkan kawat yang disatukan dengan serat optik, kemudian dilakukan uji *bending* atau *displacement*. [29][30][31] Panjang yang digunakan adalah 1 meter dan 5 meter mengingat standar panjang unit pagar adalah 2,4 meter. [32]

Berikut adalah setup pengujian:



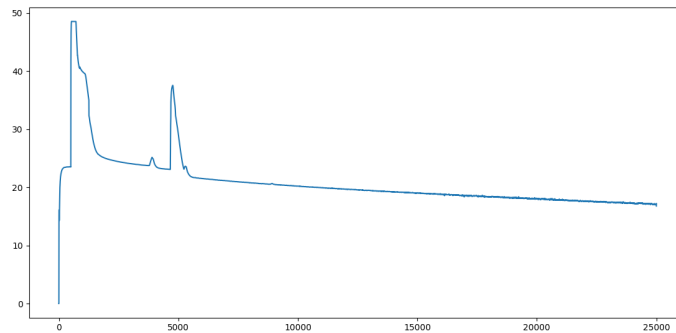
Gambar 4.14: Gambaran Uji Gangguan Pagar

Sedangkan *displacement* yang dilakukan adalah sejauh 5mm, 10mm, 15mm, 20mm, dan 25mm vertikal ke bawah. Nilai yang diperhatikan adalah nilai puncak pada dua event, yaitu

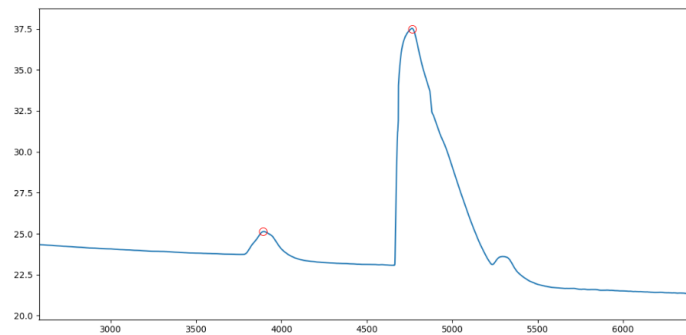
- fiber *splice*, yaitu *splice* antara singlemode dan multimode
- fiber *splice*, yaitu *splice* antara multimode dan singlemode. Splice kedua ini hanya muncul pada setup fiber 5 meter
- fiber *end*, yaitu ujung akhir fiber singlemode terakhir.

Sedangkan posisi displacement adalah setiap penambahan jarak konstan 20cm.

Grafik hasil trace secara umum di semua pengujian 1 meter adalah sebagai berikut:



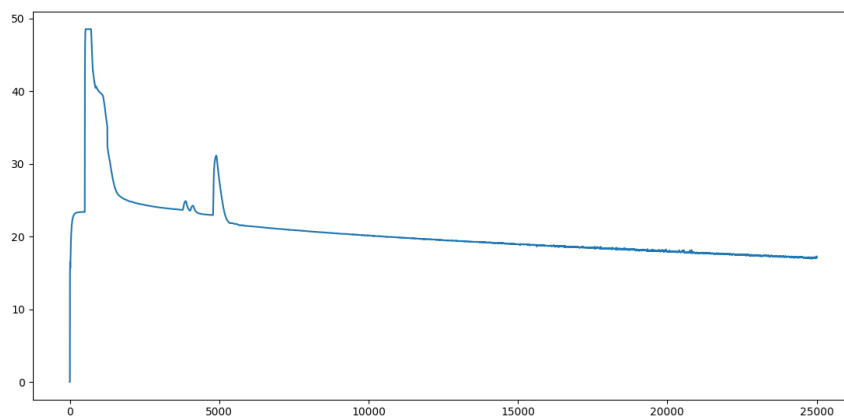
(a) Grafik trace dasar



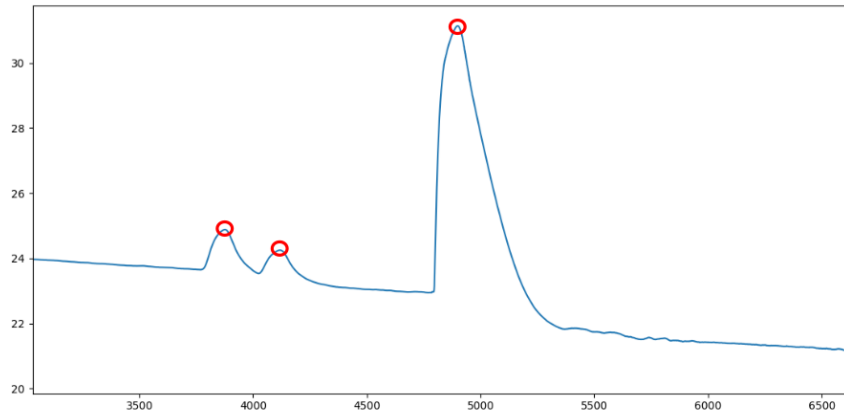
(b) Nilai puncak event fiber *Splice* dan *End*

Gambar 4.15: Grafik hasil Trace untuk panjang 1 meter

dan grafik hasil trace secara umum di semua pengujian 5 meter adalah sebagai berikut:

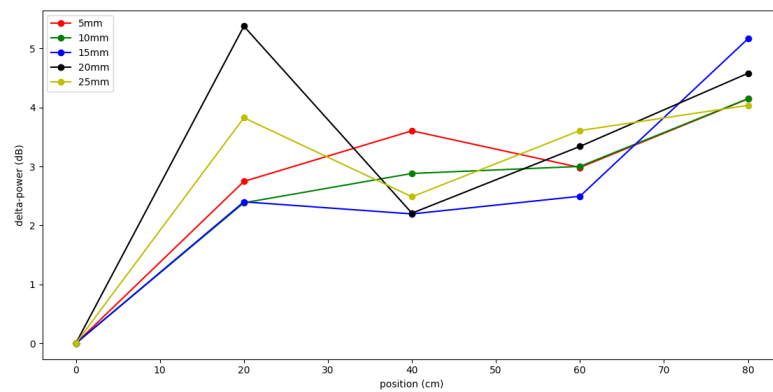


Gambar 4.16: (a) Grafik trace dasar

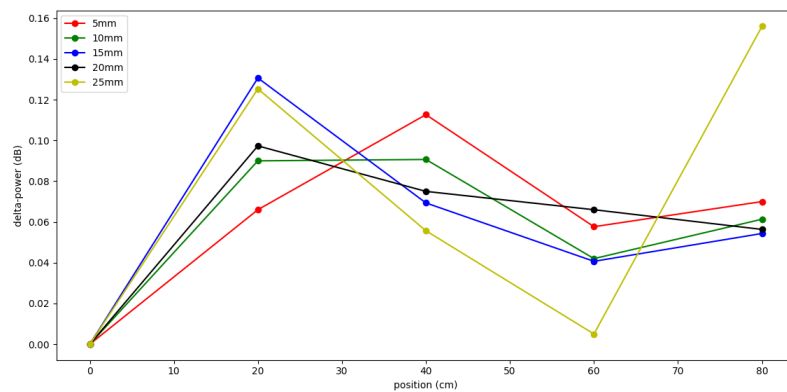


Gambar 4.17: (b) Nilai puncak event fiber *Splice* dan *End*

Selanjutnya, didapatkan selisih semua nilai puncak event terhadap kondisi tanpa gangguan, sehingga dapat ditemukan respon fiber di setiap posisi dan ukuran *displacement*. Berikut adalah grafik respon pada event *splice* dan *end*.



Gambar 4.18: (a) Respon fiber end

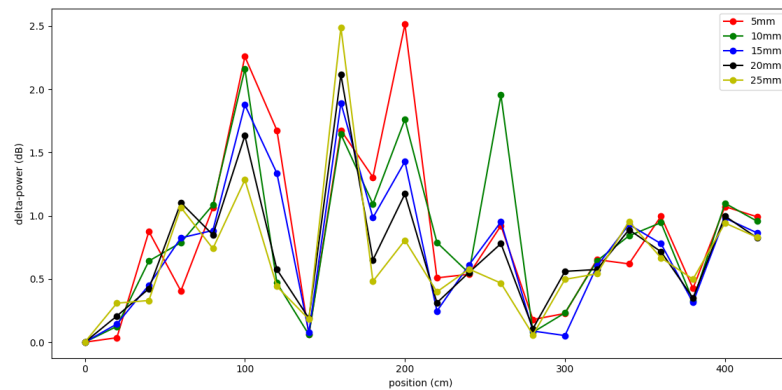


Gambar 4.19: (b) Respon fiber splice

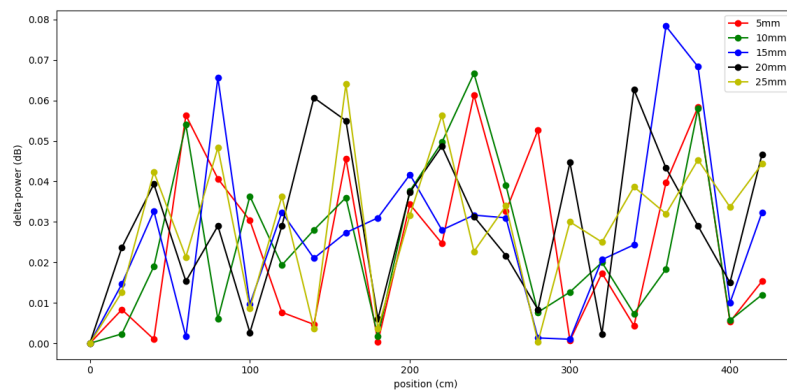
Dapat terlihat bahwa respon puncak event fiber-end adalah gradien positif terhadap posisi displacement, yang apabila dimodelkan secara matematis berupa:

Sedangkan untuk event fiber-splice tidak memberikan respon signifikan terhadap jarak.

Selanjutnya untuk grafik 5 meter adalah sebagai berikut:



Gambar 4.20: (a) Respon fiber end



Gambar 4.21: (b) Respon fiber splice

Dapat terlihat untuk panjang fiber 5 meter, fiber-end memiliki respon terhadap posisi displacement, namun bukan berupa gradien positif. Sedangkan untuk event fiber-splice tidak menunjukkan respon yang memiliki arti sebagaimana pada event splice pada panjang 1 meter.



## Daftar Pustaka

- [1] P. Assets and M. Information, “Building Safety and Security Protecting Assets , Managing Information.”
- [2] M. Felson, R. V. Clarke, and B. Webb, *Opportunity Makes the Thief: Practical theory for crime prevention*, 1998. [Online]. Available: <http://www.popcenter.org/library/reading/pdfs/thief.pdf>
- [3] S. Chapman, “Enhance Video Surveillance Effectiveness with Perimeter and Open Area Intrusion Detection : Top 5 Technologies.”
- [4] A. Alvazzi del Frate, “International Statistics on Crime and Justice,” Tech. Rep., 2010.
- [5] L. Nesbitt, J. Hewitt, and I. Hughes, ““ Delivering Safety and Security through Prevention , Reassurance and Response ’ The University of Oxford - Security Services ‘ Design against Crime ’ Philosophy Document Design & Layout and Physical Security,” 2014.
- [6] AFL, “Optical Fiber Perimeter Intrusion Detection System,” pp. 1–8, 2011.
- [7] P. Cory, H. R. Everett, and T. H. Pastore, “Radar-based intruder detection for a robotic security system,” *Control*, vol. 3525, no. Figure 1, pp. 62–72, 1998. [Online]. Available: <http://oai.dtic.mil/oai/oai?verb=getRecord{%&}metadataPrefix=html{%&}identifier=ADA422373>
- [8] M. Elmorsy and E. S. Elmallah, “On Path Exposure in Probabilistic Wireless Sensor Networks,” pp. 433–440, 2013.
- [9] M. Elmorsy, “Breach Path to Target Area Detection Reliability in Wireless Sensor Networks,” pp. 253–261, 2014.
- [10] Y. J. Rao, J. Z. Li, Z. L. Ran, and K. L. Xie, *Distributed intrusion detection based on combination of  $\phi$ -OTDR and POTDR*, 2008, vol. 7004. [Online]. Available: <http://proceedings.spiedigitallibrary.org/proceeding.aspx?doi=10.1117/12.786921>
- [11] K. Bremer, M. Wollweber, F. Weigand, M. Rahlves, M. Kuhne, R. Helbig, and B. Roth, “Fibre Optic Sensors for the Structural Health Monitoring of Building Structures,” *Procedia Technol.*, vol. 26, pp. 524–529, 2016. [Online]. Available: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S2212017316304121>

- [12] M. Lai, K. Peng, Y. Luo, X. Li, Y. Li, F. Ai, D. Liu, and Q. Sun, "Ultra-long Distance Distributed Intrusion Detecting System Assisted With In-line Amplification," *IEEE Photonics J.*, vol. 9, no. 2, pp. 1–10, 2017. [Online]. Available: <http://ieeexplore.ieee.org/document/7888953/>
- [13] M. Quwaider, "Real-time intruder surveillance using low-cost remote wireless sensors," *Commun. Syst. (ICICS)*, 2017 8th ..., pp. 194–199, 2017. [Online]. Available: <http://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/7921970/>
- [14] X. Huang, H. Zhang, K. Liu, T. Liu, Y. Wang, and C. Ma, "Hybrid Feature Extraction-Based Intrusion Discrimination in Optical Fiber Perimeter Security System," *IEEE Photonics J.*, vol. 9, no. 1, pp. 1–12, 2017. [Online]. Available: <http://ieeexplore.ieee.org/document/7776799/>
- [15] X. Dong, A. Wang, J. Zhang, H. Han, T. Zhao, X. Liu, and Y. Wang, "Combined Attenuation and High-Resolution Fault Measurements Using Chaos-OTDR," *IEEE Photonics J.*, vol. 7, no. 6, 2015.
- [16] H. He, L.-y. Shao, H. Li, Z. Zhang, B. Luo, W. Pan, and L. Yan, "SNR Enhancement for Phase-Sensitive OTDR Based on Two-Dimensional Bilateral Filtering Algorithm," vol. 0655, no. 3, pp. 3–5, 2016.
- [17] T. Optical and T. Domain, "More On Optical Time Domain Reflectometers ( OTDRs )," pp. 1–9, 2007.
- [18] G. Nettest, "Understanding OTDRs," 2000.
- [19] X. Bao and L. Chen, "Recent progress in distributed fiber optic sensors," *Sensors (Basel)*, vol. 12, no. 7, pp. 8601–8639, 2012. [Online]. Available: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/23012508>
- [20] A. Maharinda and A. Kusumawardhani, "Pengukuran Pengaruh Kelengkungan Serat Optik terhadap Rugi Daya Menggunakan," pp. 1–5, 2010.
- [21] J. P. Dakin, "Distributed Optical Fiber Sensors," vol. C, 1992.
- [22] Y. Wu, J. Gan, Q. Li, Z. Zhang, X. Heng, and Z. Yang, "Distributed Fiber Voice Sensor Based on Phase-Sensitive Optical Time-Domain Reflectometry," *IEEE Photonics J.*, vol. 7, no. 6, 2015.
- [23] "Test Equipment and Measurements." International Communication Union.
- [24] D. R. Anderson, L. Johnson, and F. G. Bell, *Troubleshooting Optical-Fiber Networks*, 2004.
- [25] Anritsu, "OTDR Theory Training," p. 36, 2010.



- [26] Q. Feng, W. Li, Q. Zheng, J. Wang, H. Li, Q. Hu, and S. Yu, "Investigations of Backscattering Effects in Optical Fibers and Their Influences on the Link Monitoring," *IEEE Photonics J.*, vol. 9, no. 2, pp. 1–9, 2017. [Online]. Available: <http://ieeexplore.ieee.org/document/7879245/>
- [27] H. L. I, K. Sekartedjo, and A. M. Hatta, "Perancangan Sensor Arus Listrik Searah ( DC ) Berbasis Serat Optik Singlemode-Multimode-Singlemode ( SMS ) Menggunakan Optical Time Domain Reflectometer ( OTDR )," no. Dc, pp. 1–7, 2014.
- [28] D. Marathussalichah, K. Sekartedjo, and A. M. Hatta, "PERANCANGAN SENSOR BEBAN BERBASIS SERAT OPTIK BERSTRUKTUR SINGLEMODE-MULTIMODE-SIGLEMODE ( SMS ) UNTUK SISTEM WEIGH-IN- MOTION ( WIM )," pp. 1–6.
- [29] K. Tian, Y. Xin, W. Yang, T. Geng, J. Ren, Y. X. Fan, G. Farrell, E. Lewis, and P. Wang, "A curvature sensor based on twisted single-mode-multimode-single-mode hybrid optical fiber structure," *J. Light. Technol.*, vol. 35, no. 9, pp. 1725–1731, 2017.
- [30] Y. Gong, T. Zhao, Y. J. Rao, and Y. Wu, "All-fiber curvature sensor based on multimode interference," *IEEE Photonics Technol. Lett.*, vol. 23, no. 11, pp. 679–681, 2011.
- [31] A. Arifin, A. M. Hatta, Sekartedjo, M. S. Muntini, and A. Rubiyanto, "Long-range displacement sensor based on SMS fiber structure and OTDR," *Photonic Sensors*, vol. 5, no. 2, pp. 166–171, 2015.
- [32] T. L. Negara, "Menimbang bahwa dalam Peraturan Menteri Perhubungan Mengingat Organisasi Kementerian Negara ( Lembaran Negara," 2015.