



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 karakterasi 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 instrusi 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 it's 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 it's capabilities to both data transmission and as a distributed sensor. A 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 BUKU

**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	10
Kajian Pustaka	11
2.1 Instrusi dan Keamanan	11
2.2 Serat Optik	11
2.3 Multimode Interference (MMI)	12
2.4 Efek Mekanis pada Serat Optik	13
2.5 Serat Optik sebagai Distributed Sensor	13
2.6 Optical Time Domain Reflectometer (OTDR)	13
2.7 Backscattering	14
2.8 Reflective event	14
2.9 Modul OTDR Anritsu MU909015C	14
Metodologi	15
3.1 Tempat Penelitian	15
3.2 Prosedur Penelitian	15
3.3 Pembuatan Bentang Kawat	15
3.4 Penentuan Parameter OTDR	16
3.5 Uji Struktur Serat Optik	16
3.6 Uji Gangguan Displacement	17
3.7 Analisa Multi-Point	18
Hasil dan Pembahasan	19
4.1 Hasil uji di parameter OTDR	19
4.2 Hasil uji di setiap konfigurasi serat optik	21
4.3 Hasil uji 2 titik	27
4.4 Hasil uji Displacement	29
4.5 Pendekatan Model	34
Kesimpulan	35
5.1 Kesimpulan	35

5.2 Saran	35
Daftar Pustaka	37

Daftar Gambar

2.1	Ragam Intrusi	11
2.2	Struktur Serat	11
2.3	Muka Gelombang Serat Optik	12
2.4	Pandu Gelombang SMS	12
2.5	Struktur umum OTDR	13
2.6	Tipikal plot hasil OTDR	14
2.7	respon events hasil OTDR	14
2.8	Skema umum backscatter	14
3.1	Diagram Alir Penelitian	15
3.2	Skema Setup	16
3.3	panel antar-muka module	16
3.4	Uji Peturbasi	17
3.5	Uji Pagar	17
4.1	belum ada judul	19
4.2	belum ada judul	20
4.3	Trace SMF-SMF	21
4.4	Trace SMF	21
4.5	Trace SMF-SMF	22
4.6	Trace SMF-SMF	22
4.7	Trace SMF-SMF	22
4.8	Trace SMF-SMF	23
4.9	Trace SMF-SMF	23
4.10	Trace SM-MMFGI	23
4.11	Trace SM-MMFGI	24
4.12	Trace SMF-SMF	24
4.13	Trace SMF-SMF	24
4.14	Trace SM-MMFGI-SM	25
4.15	Trace SM-MMFGI-SM	25
4.16	Trace SMF-SMF	25
4.17	Trace SMF-SMF	26
4.18	Trace SM-MMFSI	26
4.19	Trace SMF-SMF	27
4.20	Trace SM-MMFSI-SM	27
4.21	Trace SMF-SMF	28
4.22	Uji Pagar	28
4.23	Trace SMF-SMF	29
4.24	Uji Pagar	29
4.25	Trace SMF-SMF	30
4.26	(a) Grafik trace dasar	30

4.27 (b) Nilai puncak event fiber <i>Splice</i> dan <i>End</i>	30
4.28 Trace SMF-SMF	31
4.29 (a) Respon fiber end	31
4.30 (b) Respon fiber splice	32
4.31 (a) Respon fiber end	32
4.32 (b) Respon fiber splice	32
4.33 belum ada judul	33
4.34 belum ada judul	34

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 internasional, 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/mendarat kini mulai tergantikan 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 kepresisionan 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 sesnsor 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.

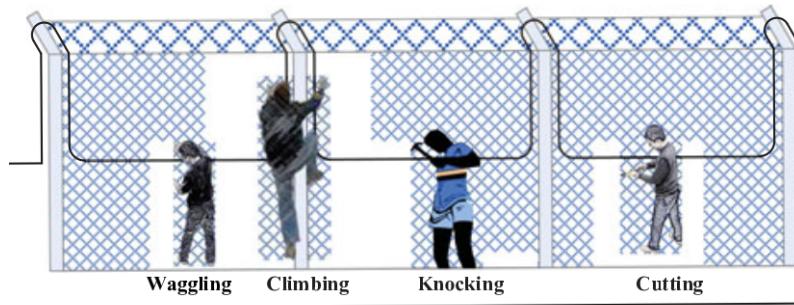
BAB II

Kajian Pustaka

2.1 Instrusi 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 kritis [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.

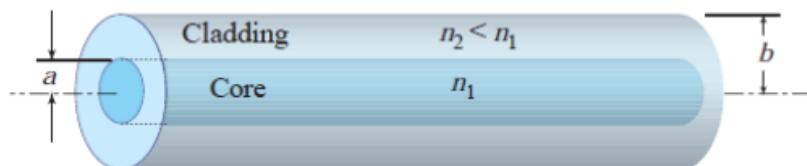
Terdapat ragam jenis intrusi, namun dalam penelitian ini diambil intrusi yang dilakukan dengan menembus batas perimeter berupa pagar. Tindak intrusi disini terbagi menjadi lompatan (jump), pendakian (climbing), pemotongan (cutting), menggoyang (wagging), maupun pemukulan (knocking) yang ditunjukkan pada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



Gambar 2.1: Sebagian ragam bentuk tindak intrusi

2.2 Serat Optik

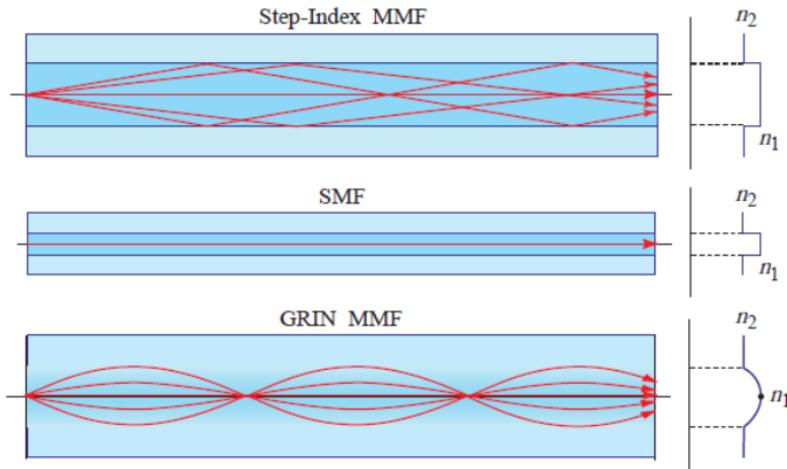
Serat optik merupakan pemandu gelombang silindris dielektrik yang terbuat dari material low-loss seperti plastik maupun gelas silika. Serat optik terdiri dari core dimana cahaya dipandu, dan cladding sebagai selubung core. Core memiliki indeks bias lebih tinggi daripada cladding.



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

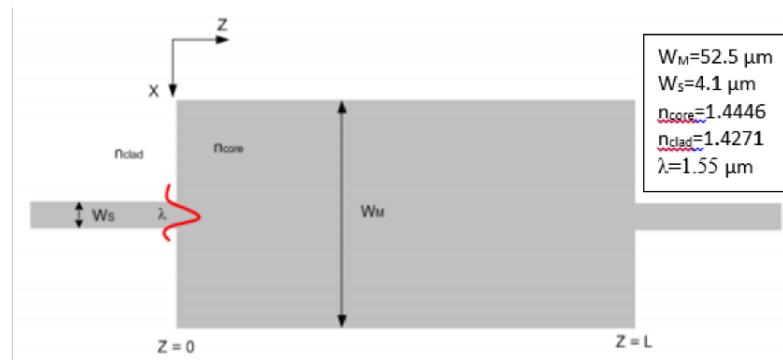
tanpa mengalami pembiasan. Berdasarkan moda perambatannya, serat optik dibagi menjadi dua jenis yaitu serat singlemode yang memiliki diameter core lebih kecil dan serat multimode yang memiliki diameter core lebih besar. Tipe perambatan sinar pada core serat optik dibagi dua yaitu step-index dan graded-index.



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 pemanjulan cahaya secara berulang didalam susunan core dan cladding pandu gelombang. Pemanjulan 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 den-

gan jarak tertentu secara periodik (jarak reimaging) . Jarak self imaging ditentukan oleh konstanta propagasi antar moda yang berdekatan (β_m dan β_{m+1}), dinyatakan sebagai berikut:

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

2.4 Efek Mekanis pada Serat Optik

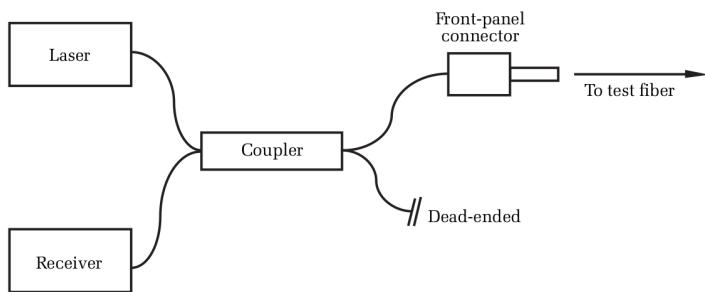
Efek mekanis disini adalah perlakuan mekanis terhadap serat yang dapat mempengaruhi daya yang dirambatkan oleh serat optik. Perlakuan yang dipilih disini adalah macro-bending dimana telah dilakukan penelitian bahwa macro-bending dapat mempengaruhi hasil trace OTDR [20].

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)

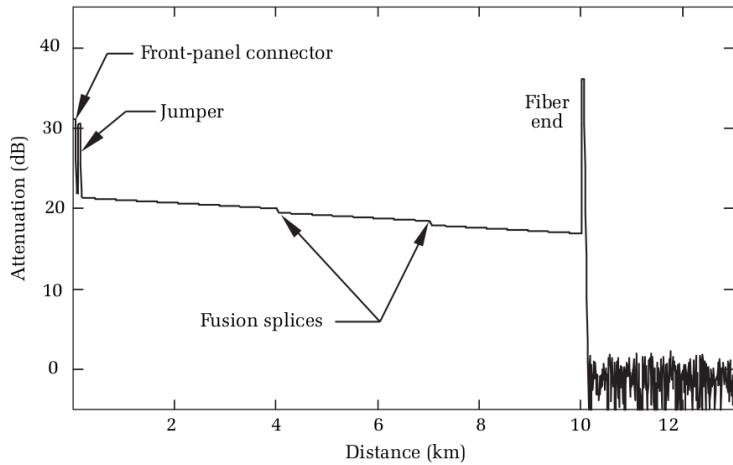
OTDR atau Optical Time Domain Reflectometer adalah alat untuk karakterisasi serat optik yang bekerja dengan mentransmisikan berkas laser dalam bentuk pulsa kemudian mengukur sinyal balik di setiap cacaht waktu [23]. Sinyal balik dalam OTDR merupakan hasil dari fenomena backscattering. Skema OTDR secara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



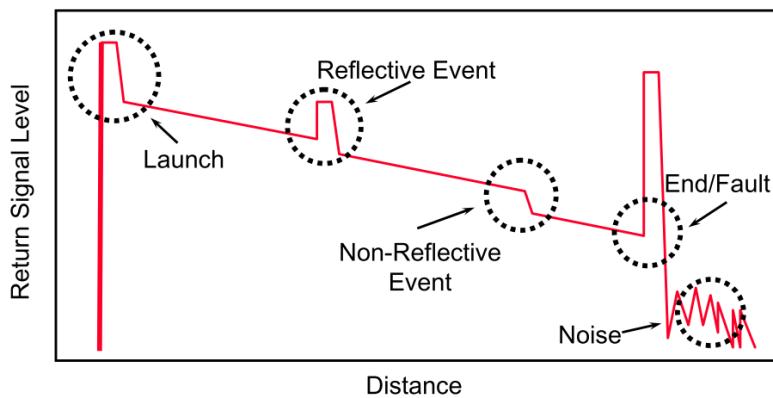
Gambar 2.5: Struktur umum OTDR

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

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



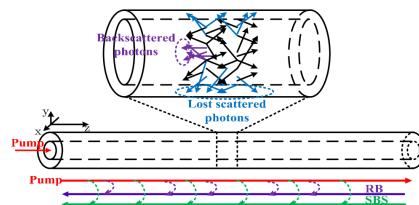
Gambar 2.6: Tipikal plot hasil OTDR



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 Reflective event

2.9 Modul OTDR Anritsu MU909015C

BAB III

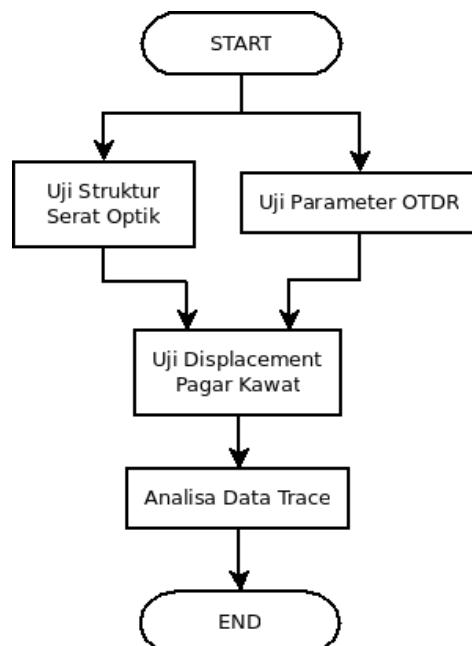
Metodologi

3.1 Tempat Penelitian

Penelitian ini akan dilakukan di Laboratorium Rekayasa Fotonika 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.

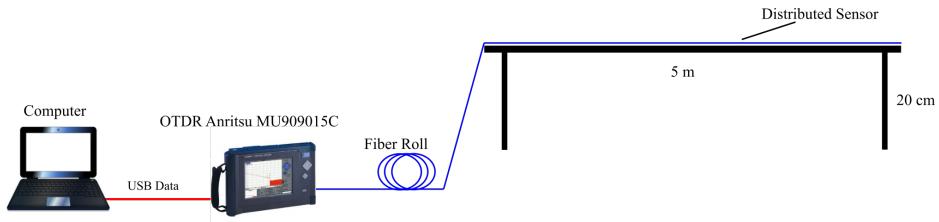


Gambar 3.1: Diagram Alir Penelitian

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

3.3 Pembuatan Bentang Kawat

Untuk dapat dilakukan penelitian tentang deteksi intrusi, maka direncanakan perakitan bentang kawat sebagai pengganti pagar. Skema akhir seluruhnya mencakup bentang kawat, OTDR, serat optik, gulungan, dan komputer. Berikut adalah gambaran setup yang akan dibangun ditunjukkan pada gambar berikut:



Gambar 3.2: Skema setup secara global

3.4 Penentuan Parameter OTDR

Tahap selanjutnya adalah penentuan nilai parameter OTDR yang dapat menghasilkan hasil trace dengan nilai fluktuasi minimum. Parameter yang dimaksud adalah nilai lebar pulsa (*Pulse-Width*) dan periode perataan sample (*averaging*). Nilai lebar pulsa yang diuji adalah 5ns, 10ns, 20ns, 50ns, dan 100ns. Sedangkan untuk perataan sample adalah untuk setiap 1s, 5s, 10s, 15s, 30s, 45s, dan 60s. Penentuan nilai-nilai parameter ini dapat dilakukan di module sendiri melalui software antar muka pada module OTDR.



Gambar 3.3: Panel antar-muka module

Dalam eksperimen ini digunakan parameter OTDR nilai Index of Reflection (IOR) sebesar 1.4670 dan BackScatter Coefficient (BSC) senilai -77 [27]. Sedangkan untuk panjang gelombang digunakan 1550 nm karena panjang gelombang ini peka terhadap gangguan.

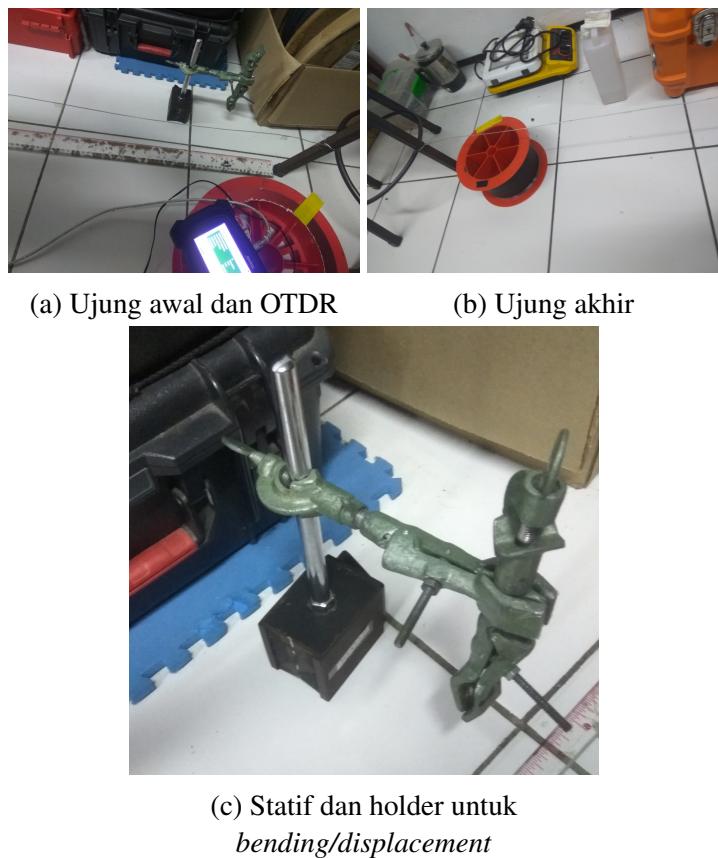
3.5 Uji Gangguan Displacement

Dengan memperhatikan setiap hasil uji perlakukan 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:

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



Gambar 3.4: Gambaran Uji Gangguan Pagar

- 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.

3.6 Analisa Multi-Point

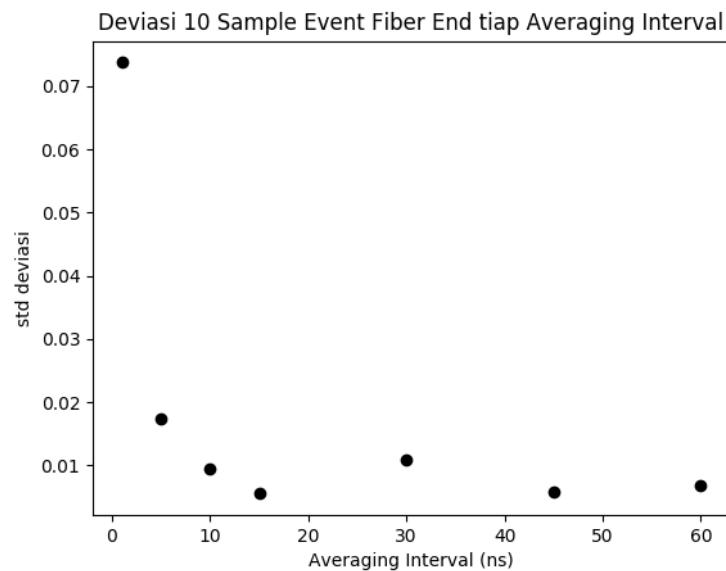
Tahapan terakhir dalam penelitian ini adalah tahap analisa hasil trace untuk menentukan jumlah gangguan multi-point pada pagar secara akurat. Analisa dilakukan dengan mengambil hasil trace sebagai sinyal periodik domain waktu untuk mendapatkan jumlah titik dengan amplitudo yang tergolong events. Hasil analisa ini kemudian digeneralisasi sehingga dapat dituangkan ke dalam bentuk algoritma yang dapat digunakan untuk menghitung jumlah gangguan. Hasil trace adalah berkas standar Bellcore SOR kemudian dengan modul py-OTDR dikonversi ke berkas nilai teks dan metadata JSON.

BAB IV

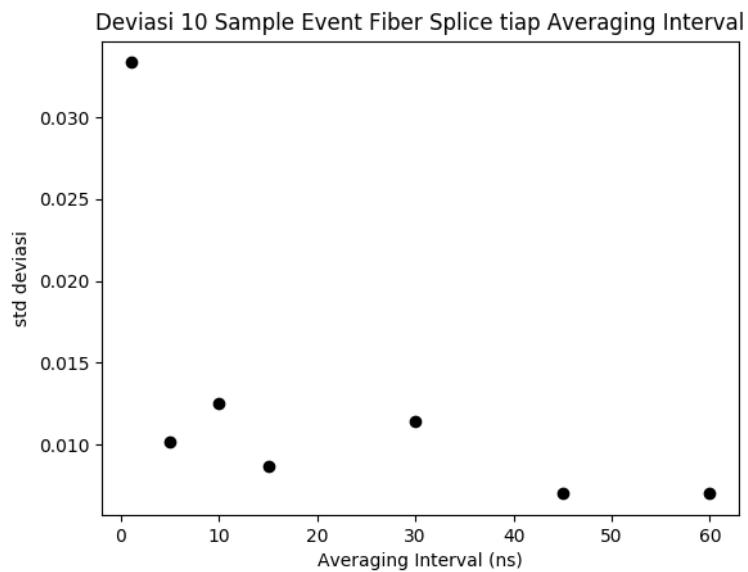
Hasil dan Pembahasan

4.1 Hasil uji di parameter OTDR

Berikut disajikan grafik sebagai komparasi nilai standar deviasi untuk setiap 10 sampel pada kategori selang averaging dan lebar pulsa berbeda-beda. Dengan hasil ini maka pengujian selanjutnya akan mengacu pada nilai averaging dan lebar pulsa paling rendah.



(a) standar deviasi setiap variasi averaging pada fiber end

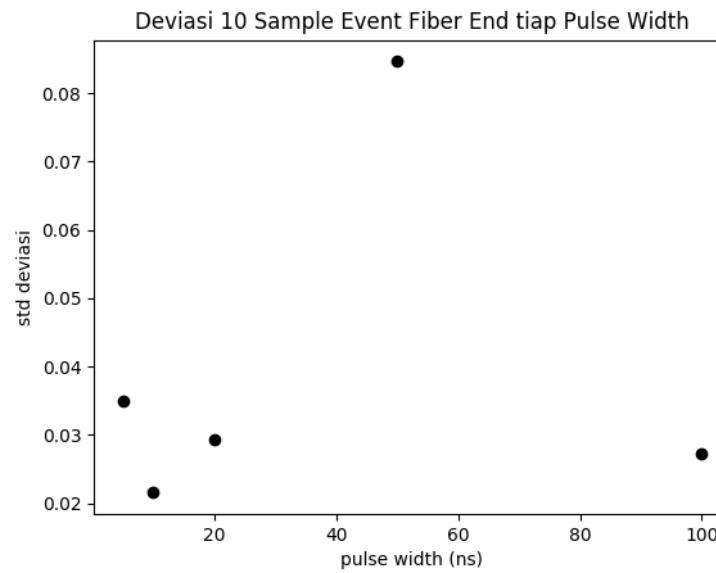


(b) standar deviasi setiap variasi averaging pada fiber splice

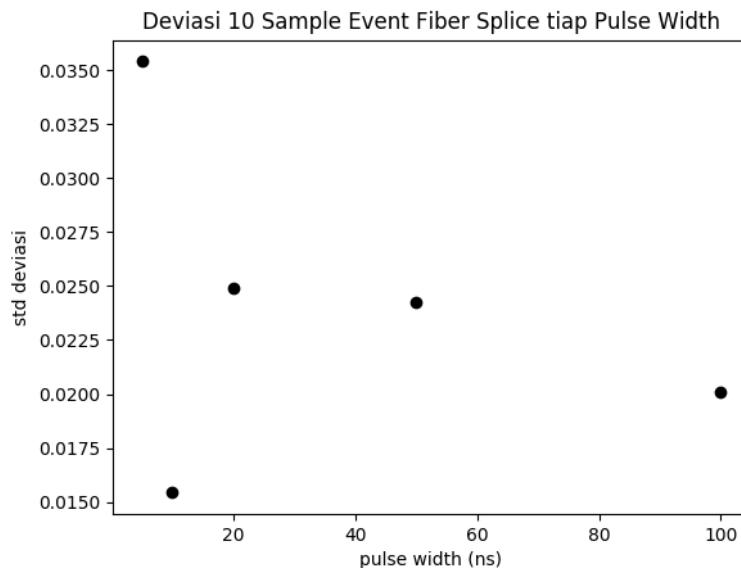
Gambar 4.1: standar deviasi setiap variasi averaging

Dengan memperhatikan dua grafik tersebut, dapat diketahui bahwa semakin lama selang averaging, maka semakin kecil deviasi untuk pengukuran berulang. Hal ini dapat dipahami

karena semakin lama selang averaging, maka semakin banyak sampel yang dirata-ratakan, sehingga fluktuasi pengukuran semakin kecil.



(a) standar deviasi setiap variasi lebar pulsa pada fiber end



(b) standar deviasi setiap variasi lebar pulsa pada fiber splice

Gambar 4.2: standar deviasi setiap variasi lebar pulsa

Selanjutnya dengan memperhatikan dua grafik di atas, dapat diketahui bahwa tidak setiap penambahan lebar pulsa akan berpengaruh terhadap fluktuasi respon.

4.2 Hasil uji di setiap konfigurasi serat optik

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

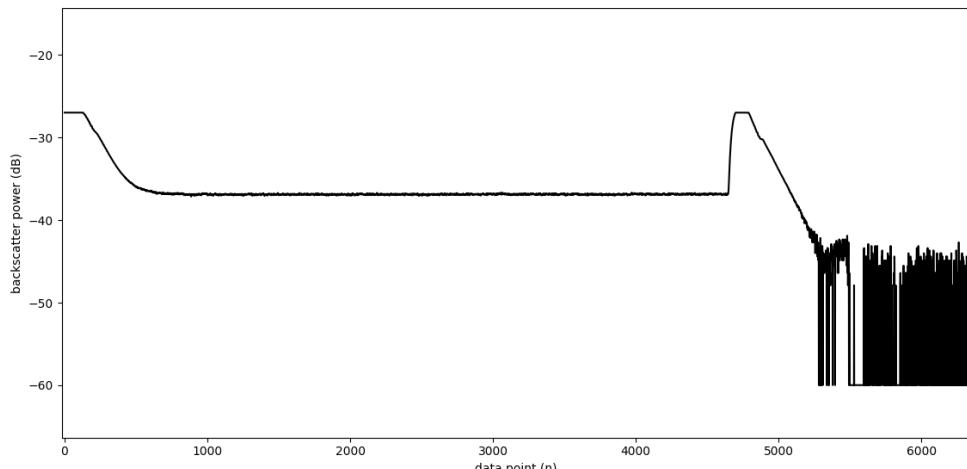
1. Single Mode

Konfigurasi pertama yang diambil trace adalah serat optik SingleMode. Pada konfigurasi ini, tidak diberikan gangguan untuk menjadi acuan dasar. Berikut skema konfigurasi:



Gambar 4.3: Rangkaian serat optik SingleMode

dan 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 4.4: Hasil trace OTDR pada SMF normal

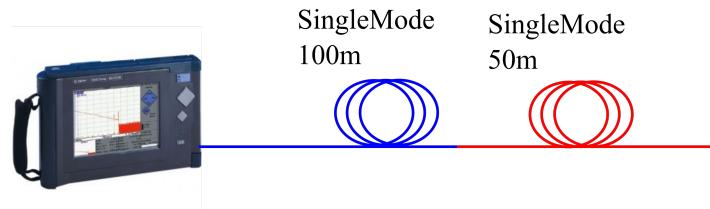
Apabila diperhatikan, maka grafik diatas terdiri dari 4 bagian, yaitu:

- Event Coupling, yaitu event akibat adanya kopling melalui konektor FC.
- Trace sepanjang fiber optik.
- Event Reflective, yaitu event akibat adanya perbedaan indeks bias yang signifikan di ujung fiber.
- Trace Noise, yaitu noise akibat panjang serat optik telah berakhir.

2. Single Mode – Single Mode

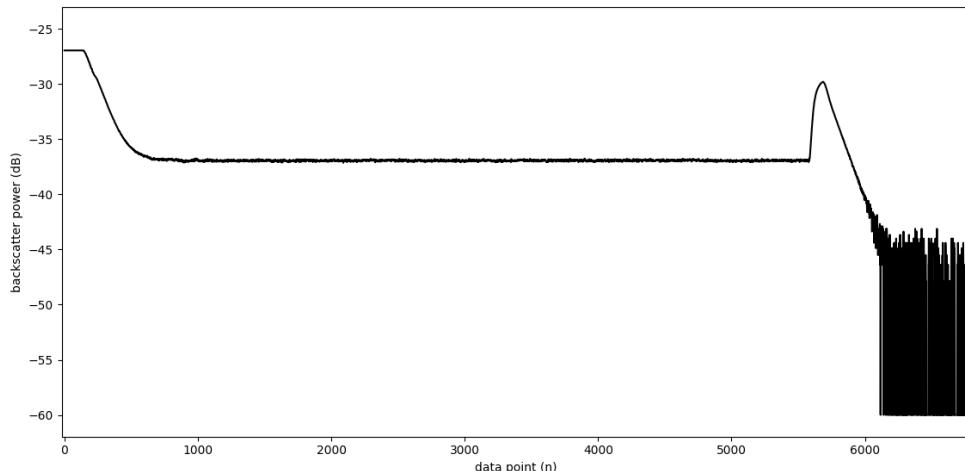
Berikut adalah hasil trace OTDR untuk serat optik SMF dengan dua splice yaitu antara 1 roll SMF 100m, 1 roll SMF 50m, dan 10 cm SMF dengan konektor FC (pigtailed).

Skema rangkaian serat optik (segmen merah adalah yang mendapat gangguan):



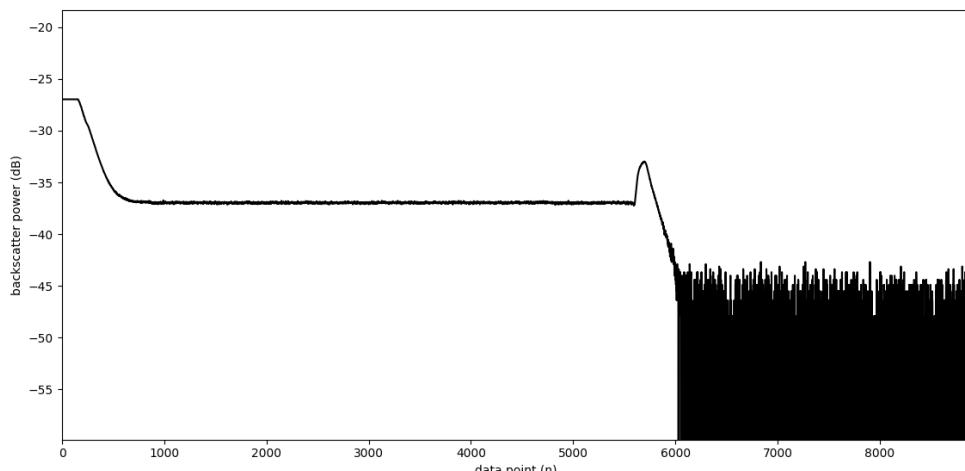
Gambar 4.5: Rangkaian serat optik SingleMode-SingleMode

Selanjutnya berikutnya adalah grafik hasil trace OTDR kondisi tanpa gangguan:



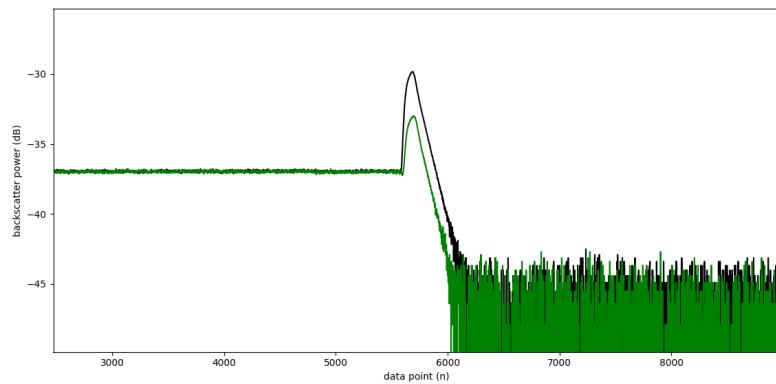
Gambar 4.6: Hasil trace OTDR pada SM-SM normal

dan berikutnya adalah grafik hasil trace OTDR kondisi dengan gangguan:



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

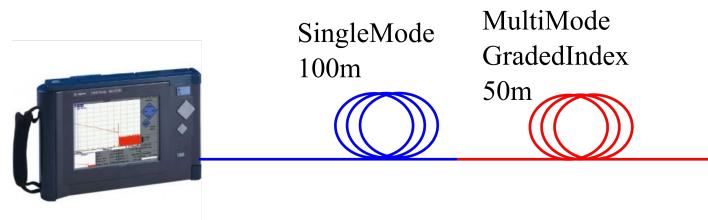
Apabila kedua grafik dibandingkan, maka perubahannya yang dapat terlihat adalah turunnya daya pada event ujung fiber. Sedangkan pada bagian lainnya didapatkan identik. Berikut adalah grafiknya (grafik hitam adalah kondisi tanpa gangguan):



Gambar 4.8: Komparasi kedua grafik pada bagian event ujung fiber

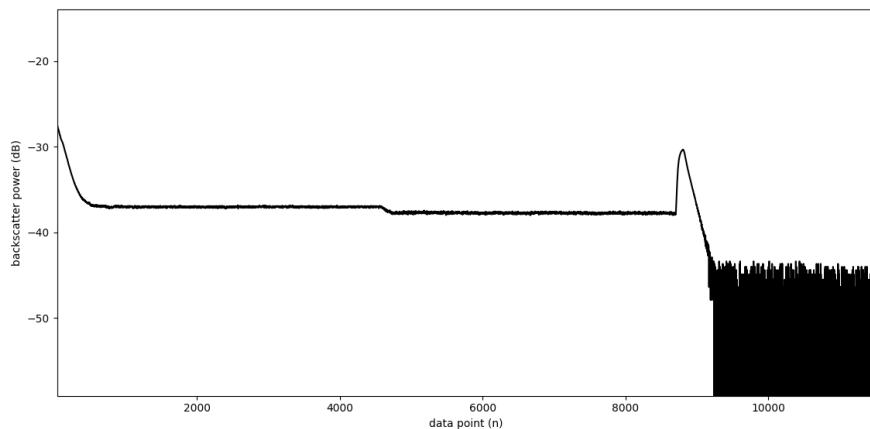
3. Single Mode – Multi Mode Graded Index

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). Skema rangkaian serat optik (segmen merah adalah yang mendapat gangguan):

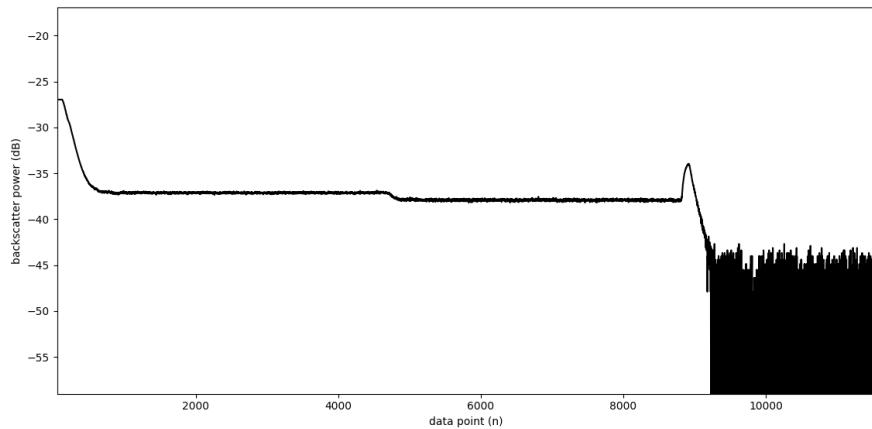


Gambar 4.9: Rangkaian serat optik SingleMode-MultiModeGradedIndex

Selanjutnya berikutnya adalah grafik hasil trace OTDR:



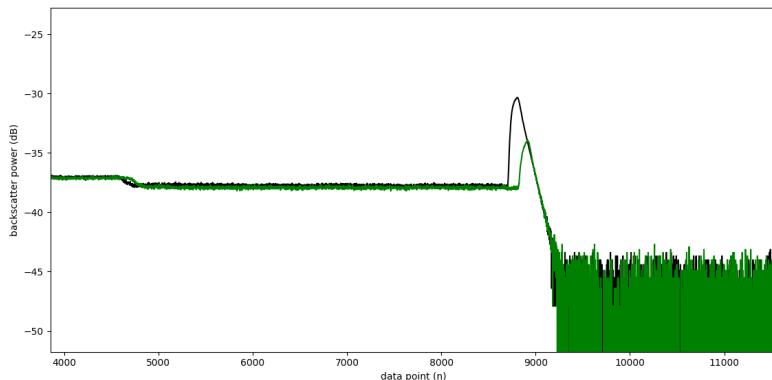
Gambar 4.10: Hasil trace OTDR pada SM-MMFGI normal



Gambar 4.11: Hasil trace OTDR pada SM-MMFGI dengan gangguan

dan berikutnya adalah grafik hasil trace OTDR kondisi dengan gangguan:

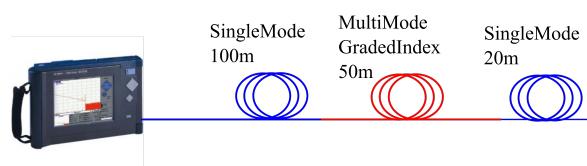
Apabila kedua grafik dibandingkan, maka perubahannya yang dapat terlihat adalah turunnya daya pada event ujung dan splice fiber. Sedangkan pada bagian lainnya didapatkan identik. Berikut adalah grafiknya (grafik hitam adalah kondisi tanpa gangguan):



Gambar 4.12: Komparasi kedua grafik pada bagian event ujung fiber

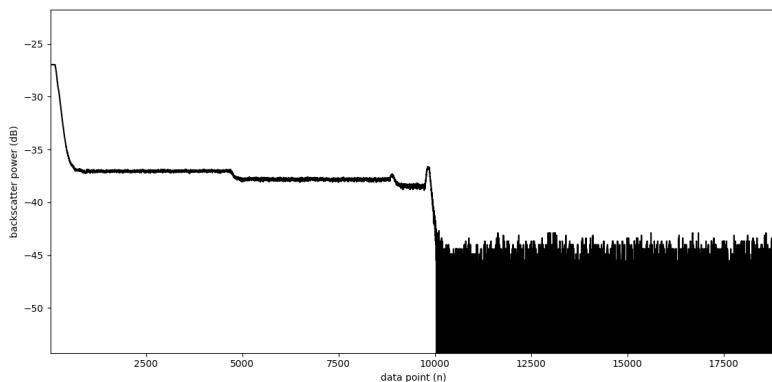
4. Single Mode – Multi Mode Graded Index - Single Mode

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) Skema rangkaian serat optik (segmen merah adalah yang mendapat gangguan):



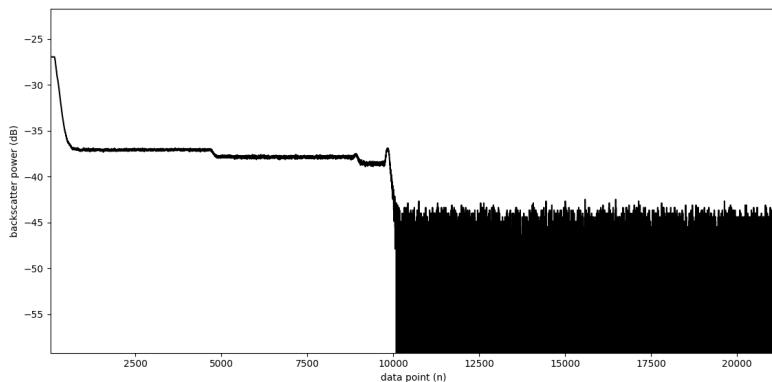
Gambar 4.13: Rangkaian serat optik SingleMode-MultiModeGradedIndex-SingleMode

Selanjutnya berikutnya adalah grafik hasil trace OTDR:



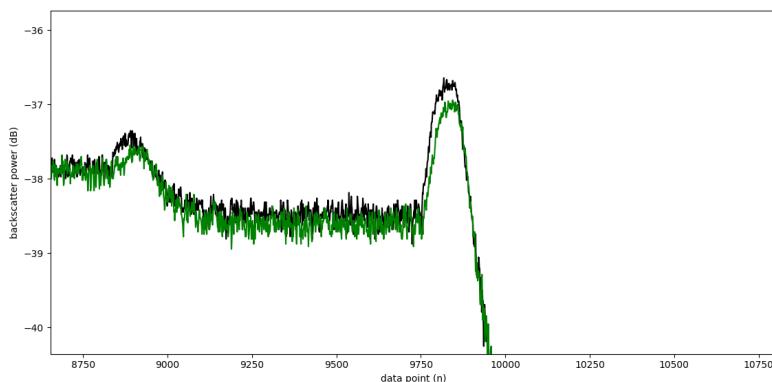
Gambar 4.14: Hasil trace OTDR pada SM-MMFGI-SM normal

dan berikutnya adalah grafik hasil trace OTDR kondisi dengan gangguan:



Gambar 4.15: Hasil trace OTDR pada SM-MMFGI-SM dengan gangguan

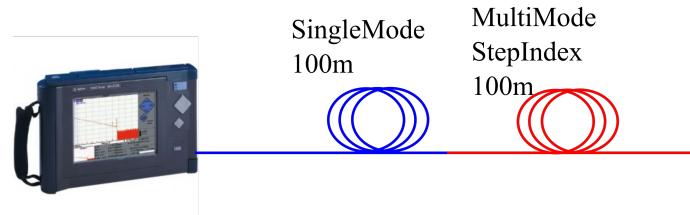
Apabila kedua grafik dibandingkan, maka perubahannya yang dapat terlihat adalah turunnya daya pada event ujung dan splice fiber. Sedangkan pada bagian lainnya didapatkan identik. Berikut adalah grafiknya (grafik hitam adalah kondisi tanpa gangguan):



Gambar 4.16: Komparasi kedua grafik pada bagian event ujung fiber

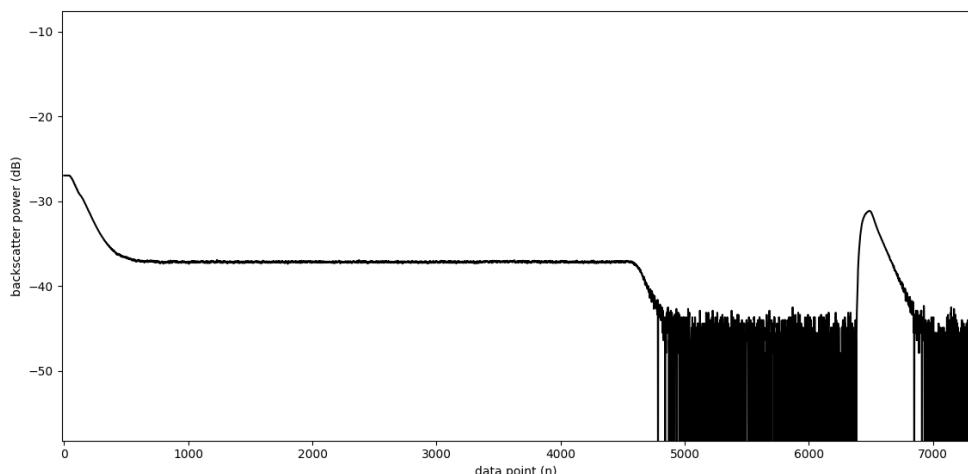
5. Single Mode – Multi Mode Step Index

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 (pig-tailed) Skema rangkaian serat optik (segmen merah adalah yang mendapat gangguan):



Gambar 4.17: Rangkaian serat optik SingleMode-MultiModeStepIndex

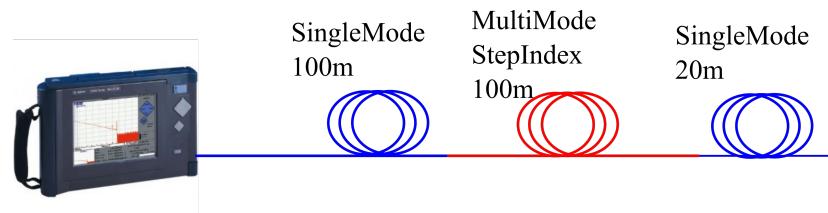
Hasil trace pada rangkaian serat optik ini didapat tidak merespon gangguan yang dikenakan pada segmen MultiModeStepIndex. Sehingga grafik trace tidak memiliki perbedaan antara tanpa dan dengan adanya gangguan.



Gambar 4.18: Hasil trace OTDR pada baik SM-MMFSI normal maupun SM- MMFSI dengan gangguan

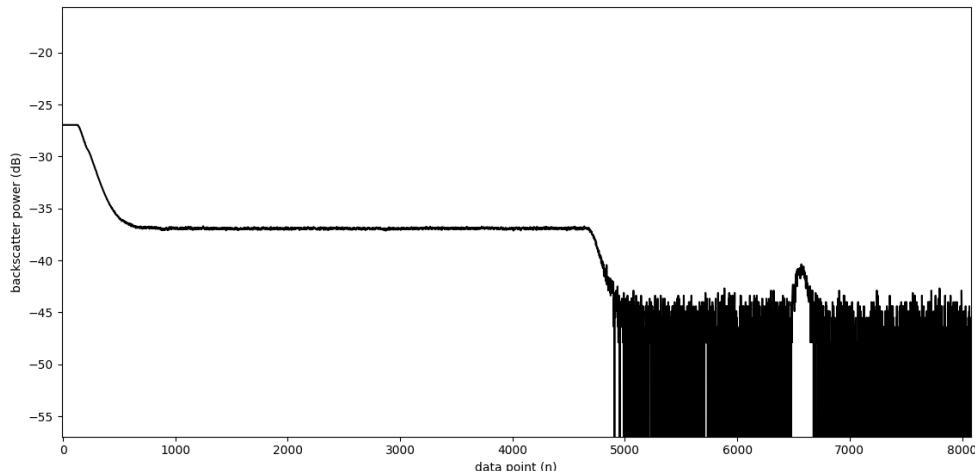
6. Single Mode – Multi Mode Step Index- Single Mode

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). Skema rangkaian serat optik (segmen merah adalah yang mendapat gangguan):



Gambar 4.19: Rangkaian serat optik SingleMode-MultiModeStepIndex-SingleMode

Hasil trace pada rangkaian serat optik ini didapat tidak merespon gangguan yang dikenakan pada segmen MultiModeStepIndex. Sehingga grafik trace tidak memiliki perbedaan antara tanpa dan dengan adanya gangguan.

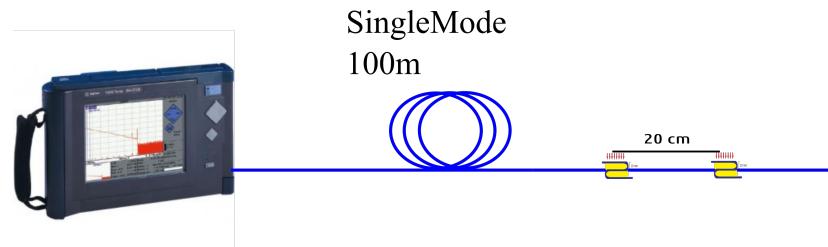


Gambar 4.20: Hasil trace OTDR pada baik SM-MMFSI-SM normal maupun SM-MMFSI-SM dengan gangguan

4.3 Hasil uji 2 titik

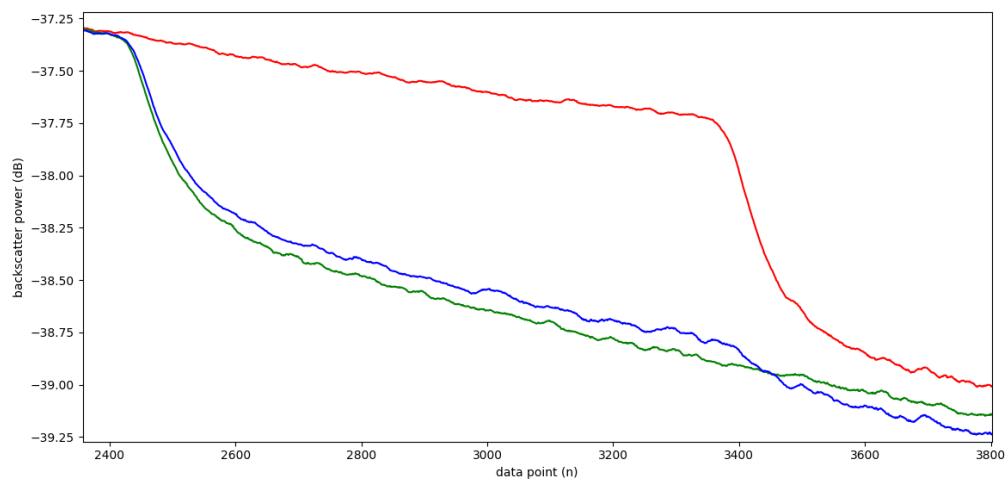
Selanjutnya dengan setup SingleMode saja, dilakukan uji dengan gangguan sebanyak 2 titik yang terpisah 20cm. Didapatkan 2 drop daya backscatter dimana drop pertama sebesar 3dB dan drop kedua 0.5dB. Hasil ini hanya didapatkan untuk fiber jenis single-mode di sepanjang sensor.

Skema rangkaian serat optik:

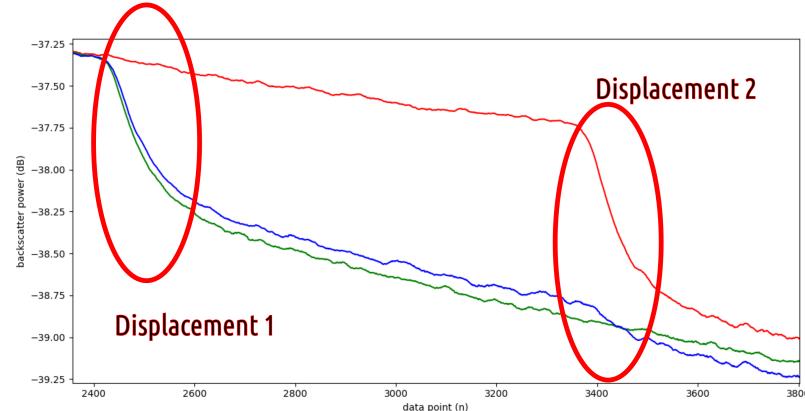


Gambar 4.21: Rangkaian serat optik SingleMode 2 gangguan

Berikut hasil trace untuk uji 2 titik



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



(b) Dua posisi drop daya

Gambar 4.22: Grafik hasil Trace SM untuk 2 titik uji

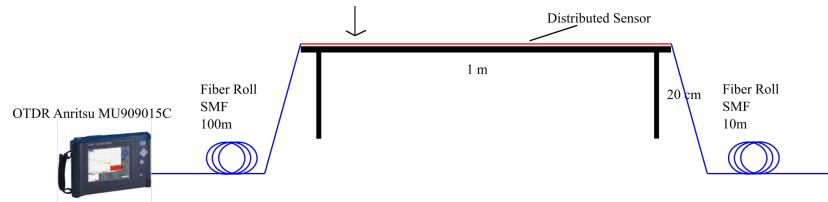
Jika diperhatikan maka didapat dua drop daya backscatter, namun untuk gangguan kedua terlihat masih sulit dibedakan dengan noise yang memiliki rentang tidak jauh berbeda.

4.4 Hasil uji Displacement

Dengan memperhatikan hasil-hasil sebelumnya, maka dilakukan uji displacement dengan menggunakan:

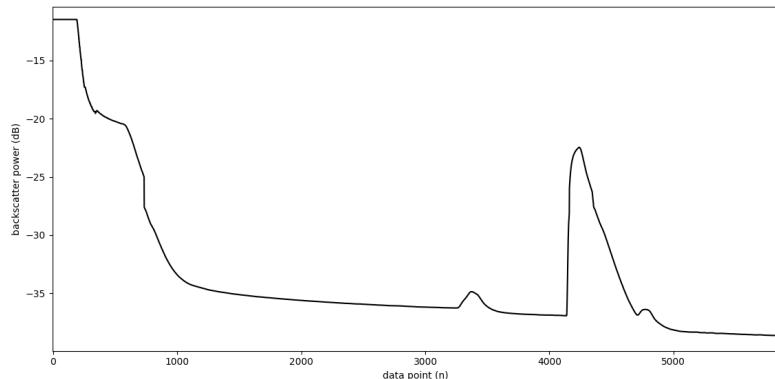
- Konfigurasi serat optik SingleMode-MultiModeGradedIndex-SingleMode
- Lebar pulsa adalah 10 ns dan selang averaging adalah 45 ms

Skema untuk pengujian dengan MultiModeGradedIndex 1 meter adalah:

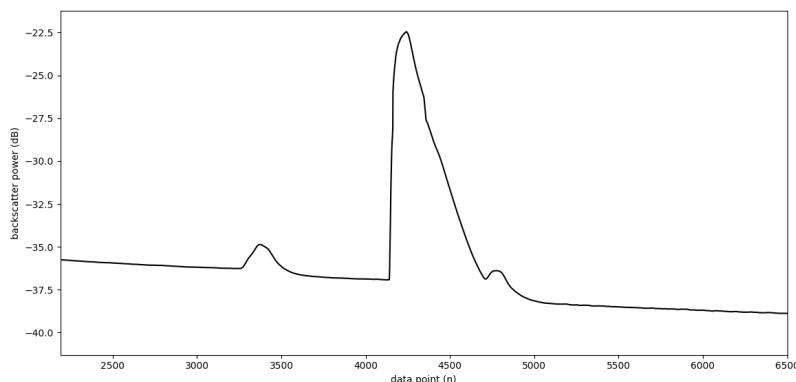


Gambar 4.23: Skema uji SingleMode-MultiModeGradedIndex 1m

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



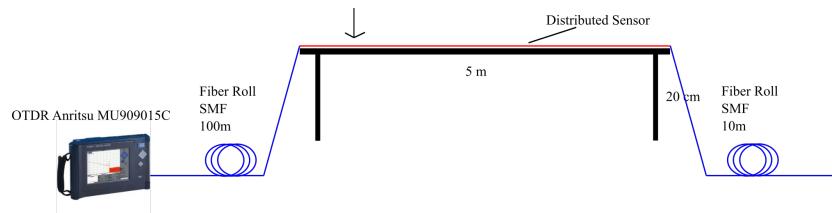
(a) Grafik trace dasar



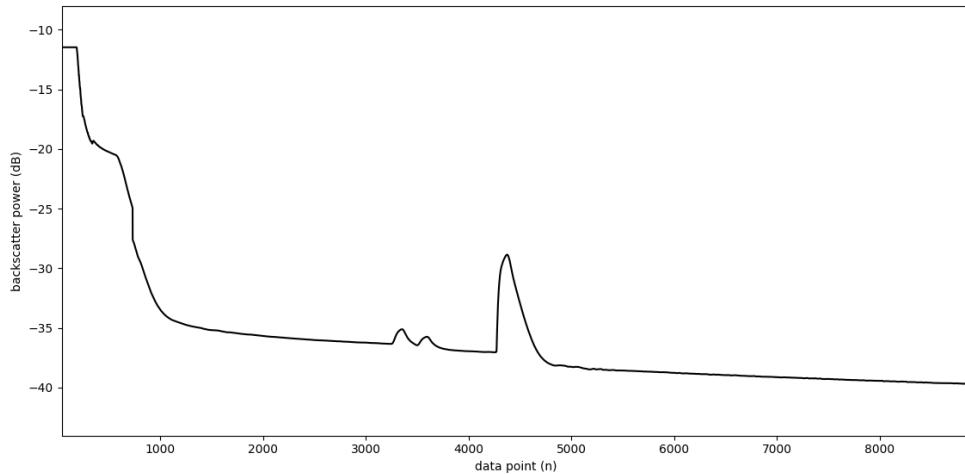
(b) Nilai puncak event fiber *Splice* dan *End*

Gambar 4.24: Grafik hasil Trace untuk panjang 1 meter

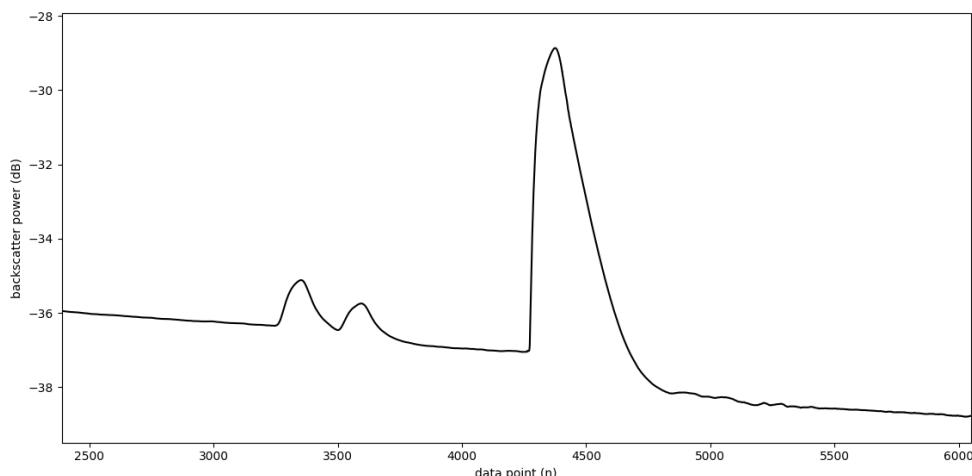
Selanjutnya skema untuk pengujian dengan MultiModeGradedIndex 5 meter adalah: dan grafik hasil trace secara umum di semua pengujian 5 meter adalah sebagai berikut:



Gambar 4.25: Skema uji SingleMode-MultiModeGradedIndex-SingleMode 1m

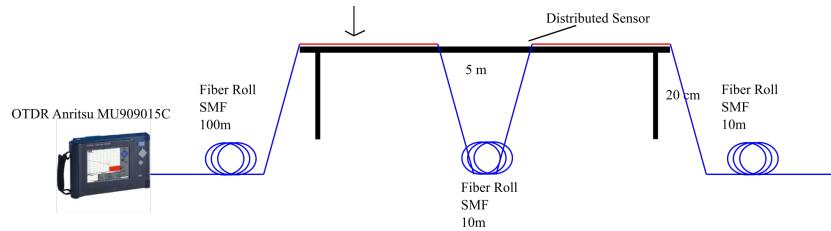


Gambar 4.26: (a) Grafik trace dasar



Gambar 4.27: (b) Nilai puncak event fiber *Splice* dan *End*

Terakhir skema untuk pengujian dengan MultiModeGradedIndex 1 meter dengan 2 segment adalah:



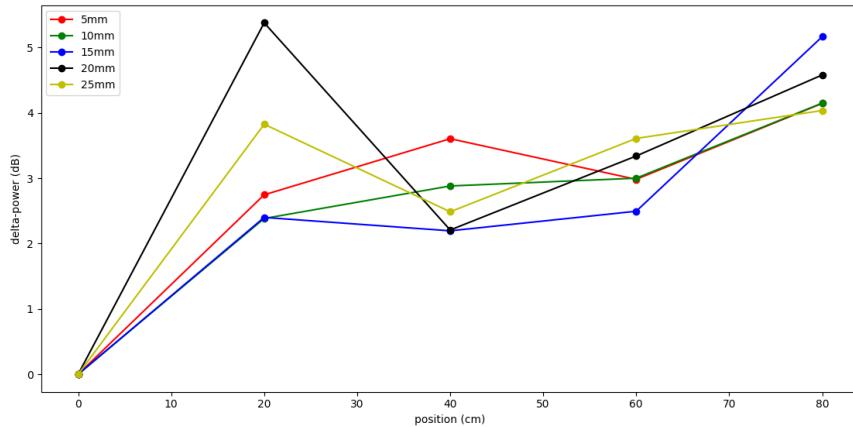
Gambar 4.28: Skema uji SingleMode-MultiModeGradedIndex-SingleMode 1m

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

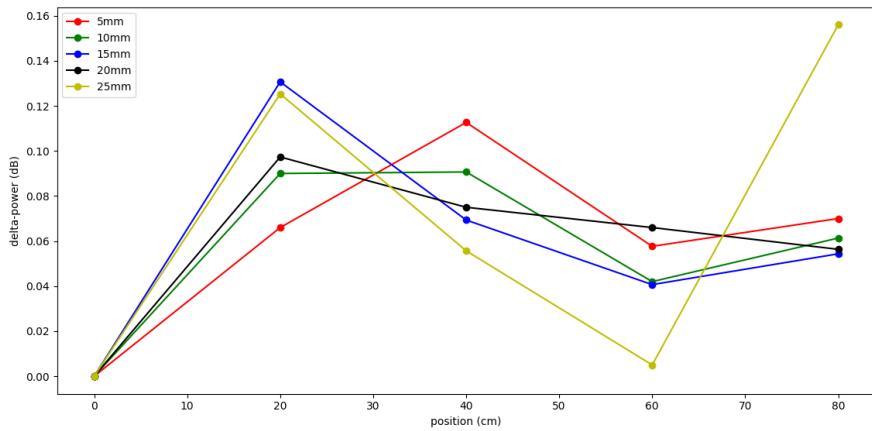
$$\Delta P = \text{abs}(\max(E_1) - \max(E_0)) \quad (2)$$

Dengan E_1 adalah event tertentu pada kondisi ada gangguan dan E_0 event tertentu pada kondisi tanpa gangguan.

Berikut adalah grafik respon pada event *splice* dan *end*.



Gambar 4.29: (a) Respon fiber end

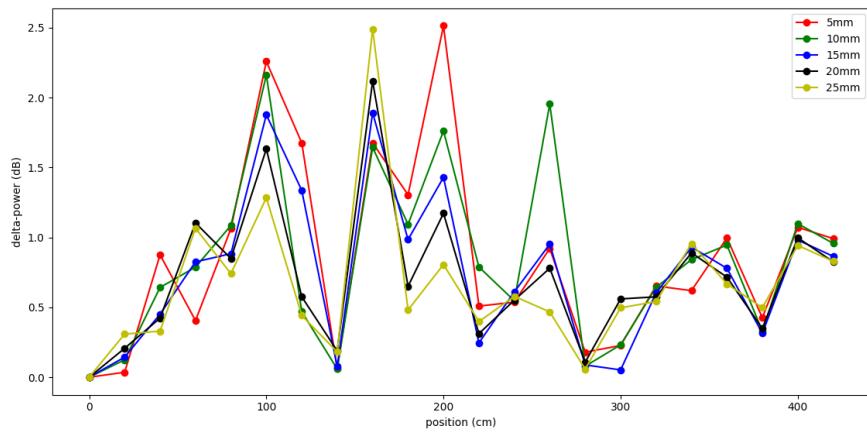


Gambar 4.30: (b) Respon fiber splice

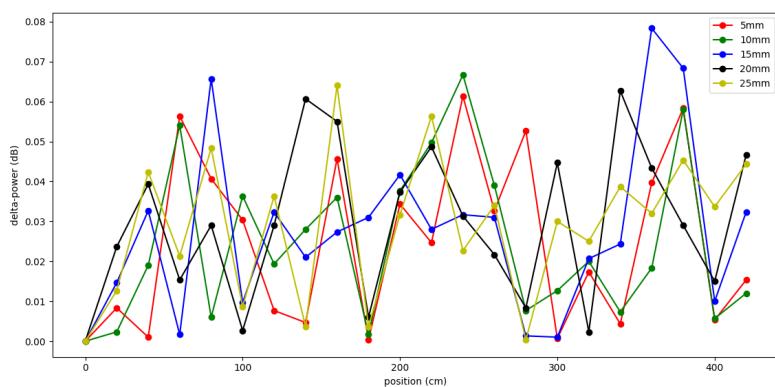
Dapat terlihat bahwa respon puncak event fiber-end adalah gradien positif terhadap posisi displacement.

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

Selanjutnya untuk grafik 5 meter adalah sebagai berikut:



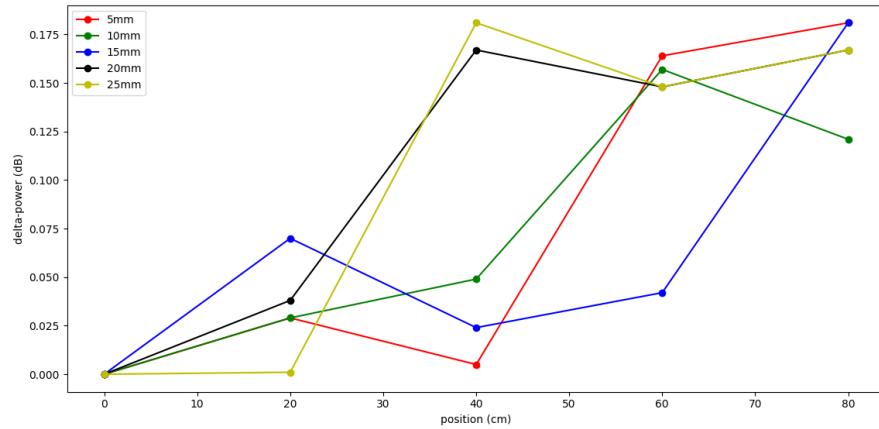
Gambar 4.31: (a) Respon fiber end



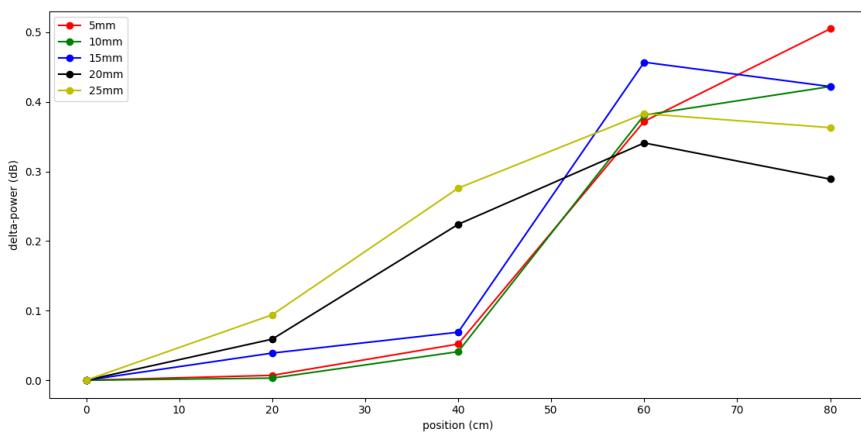
Gambar 4.32: (b) Respon fiber splice

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.

Selanjutnya uji untuk 2 segmen multimode, hasil grafiknya:



(a) Respon Fiber End pada segmen pertama



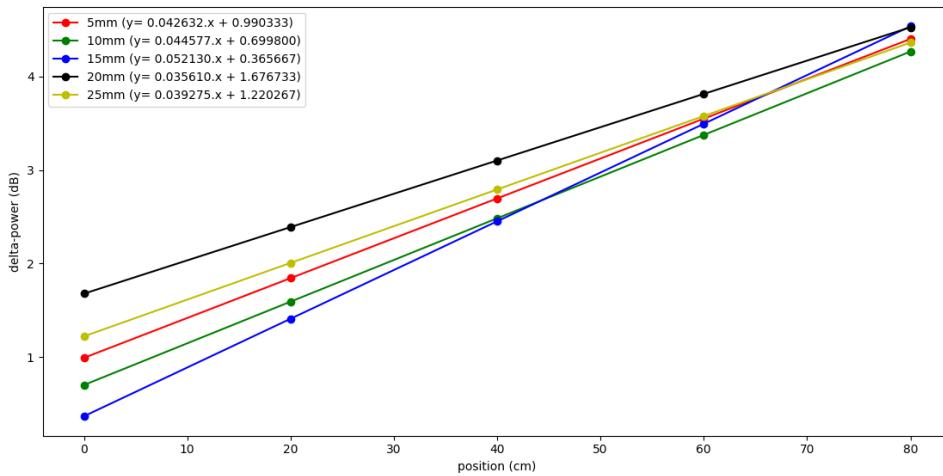
(b) Respon Fiber End pada segmen kedua

Gambar 4.33: Respon Fiber End pada setiap segmen

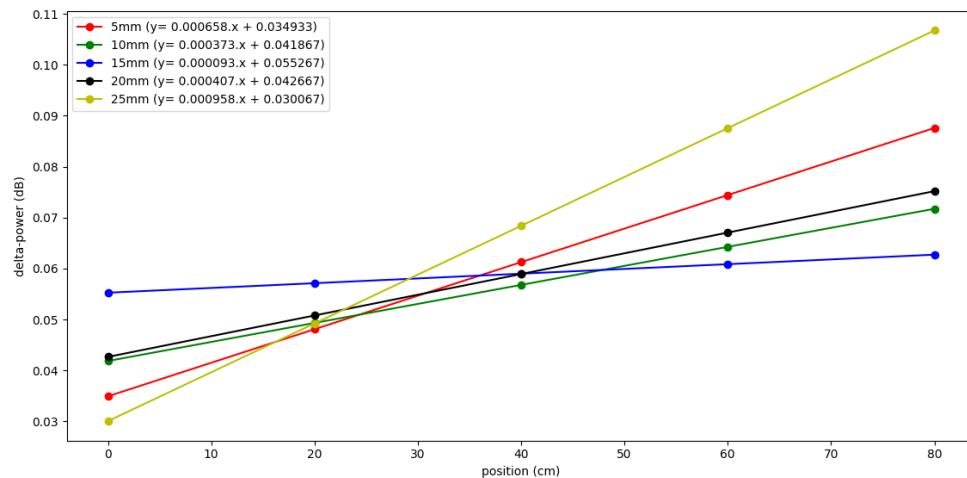
Dapat terlihat bahwa respon puncak event fiber-end adalah gradien positif terhadap posisi displacement. Perbedaan antara segmen pertama dan kedua ada pada rentang ΔP yang dihasilkan dimana segmen kedua lebih besar.

4.5 Pendekatan Model

Dengan memperhatikan hasil pada 1 meter, apabila diambil nilai posisi sebagai input sedangkan selisih power *backscatter* sebagai output. Maka kemudian dapat dicari pendekatan model yaitu semisal dengan regresi linear akan mendapatkan grafik respon. Berikut grafik dan persamaan pendekatan untuk 1 meter:



(a) Pendekatan Respon Fiber End pada segmen pertama



(b) Pendekatan Respon Fiber End pada segmen kedua

Gambar 4.34: Pendekatan Respon Fiber End pada setiap segmen

BAB V

Kesimpulan dan Saran

5.1 Kesimpulan

Berikut adalah kesimpulan untuk menjawab rumusan masalah:

- Gangguan mekanis (*Perturbation*) dapat dideteksi dengan instrumen OTDR berdasarkan respon nilai refleksi pada event *fiber end*.
- Dengan mendapatkan selisih nilai maksimum pada event *fiber end* saat ada gangguan dan tidak ada gangguan, dapat diperkirakan posisi displacement.
- Konfigurasi serat optik yang dapat diusulkan adalah SingleMode-MultiModeGradedIndex-SingleMode dengan panjang segmen Multimode adalah 1m.

5.2 Saran

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 φ-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.