



TUGAS AKHIR - TF 141581

**PENGARUH *PACKAGING* ALUMINIUM PADA  
SENSOR *STRAIN* BERBASIS SERAT OPTIK  
BERSTRUKTUR *SINGLEMODE-MULTIMODE*  
*-SINGLEMODE (SMS)***

DAMAYANTI SARI  
NRP 2414 105 016

Dosen Pembimbing  
Agus Muhammad Hatta, S.T, M.Si, Ph.D  
Detak Yan Pratama, S.T, M.Sc

JURUSAN TEKNIK FISIKA  
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA  
2016

Halaman ini memang dikosongkan



FINAL PROJECT - TF 141581

***PACKAGING ALUMINIUM IMPACTING ON  
OPTICAL FIBER WITH SINGLEMODE-  
MULTIMODE-SINGLEMODE (SMS) FIBER  
STRUCTURE***

DAMAYANTI SARI  
NRP 2414 105 016

Supervisors  
Agus Muhammad Hatta, S.T, M.Si, Ph.D  
Detak Yan Pratama, S.T, M.Sc

ENGINEERING PHYSICS DEPARTMENT  
FACULTY OF INDUSTRIAL TECHNOLOGY  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA  
2016

Halaman ini memang dikosongkan

**PENGARUH *PACKAGING* ALUMINIUM PADA  
SENSOR *STRAIN* BERBASIS SERAT OPTIK  
BERSTRUKTUR *SINGLEMODE-MULTIMODE-  
SINGLEMODE* (SMS)**

**TUGAS AKHIR**

Oleh :  
**Damayanti Sari**  
**NRP. 2414 105 016**

Surabaya, 19 Juli 2016  
Mengetahui/Menyetujui

**Pembimbing I,**



**Agus M. Hatta, S.T., M.Si., Ph.D.**  
**NIPN. 19780902 200312 1 002**

**Pembimbing II,**



**Detak Yan Pratama, S.T., M.Sc.**  
**NIPN. 19840101 201212 1 002**



Halaman ini memang dikosongkan

**PENGARUH *PACKAGING* ALUMINIUM PADA  
SENSOR *STRAIN* BERBASIS SERAT OPTIK  
BERSTRUKTUR *SINGLEMODE-MULTIMODE-  
SINGLEMODE* (SMS)**

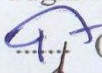



**TUGAS AKHIR**

Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu Syarat  
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik  
pada  
Bidang Studi Rekayasa Fotonika  
Program S-1 Jurusan Teknik Fisika  
Fakultas Teknologi Industri  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

**DAMAYANTI SARI**  
NRP. 2414105016

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir:

1. Agus M. Hatta, S.T., M.Si., Ph.D.  (Pembimbing I)
2. Detak Yan Pratama, S.T., M.Sc.  (Pembimbing II)
3. Dr. rer. nat. Ir. Aulia M.T.N, M.Sc.  (Ketua Penguji)
4. Prof. Dr. Ir. Sekartedjo, M.Sc.  (Penguji I)

**SURABAYA  
JULI 2016**

Halaman ini memang dikosongkan



**PENGARUH *PACKAGING* ALUMINIUM PADA  
SENSOR *STRAIN* BERBASIS SERAT OPTIK  
BERSTRUKTUR *SINGLEMODE-MULTIMODE-  
SINGLEMODE* (SMS)**

**Nama Mahasiswa** : Damayanti Sari  
**NRP** : 2414 105 016  
**Jurusan** : Teknik Fisika FTI-ITS  
**Dosen Pembimbing** : Agus M. Hatta, ST., MSi., Ph.D  
Detak Yan Pratama, ST., MSc

**Abstrak**

Pengujian *bare fiber strain sensor* dan pengujian *packaged strain sensor* berbasis serat optik berstruktur *Singlemode-Multimode-Singlemode* (SMS) menggunakan jenis serat optik *multimode step-index* dengan material *packaging* berupa aluminium telah dilakukan baik secara perhitungan maupun eksperimen. *Packaging sensor strain* dilakukan untuk melindungi serat optik dari kerusakan. Pengujian performansi sensor dilakukan dengan cara mengukur daya *output* dari sensor berdasarkan *strain* yang diberikan. Pengujian sensor *strain* menggunakan panjang gelombang operasi 1550 nm pada *range strain* 0-1060  $\mu\epsilon$ . Berdasarkan hasil perhitungan sensitivitas sensor *strain* pada panjang 44.35 mm adalah sebesar 0.0023 dBm/ $\mu\epsilon$  sedangkan berdasarkan hasil eksperimen sensitivitas sensor sebesar 0.0022 dBm/ $\mu\epsilon$ . Berdasarkan hasil perhitungan sensitivitas *packaged fiber strain sensor* sebesar 0.0021 dBm/micro *strain* sedangkan berdasarkan hasil eksperimen sensitivitas *packaged fiber strain sensor* sebesar 0.0015 dBm/ $\mu\epsilon$ .

**Kata Kunci**-Sensor *Strain*, Serat Optik Berstruktur SMS, *Multimode Step-Index*, *Packaging Sensor Strain*

Halaman ini memang dikosongkan

**PACKAGING ALUMINIUM IMPACTING ON OPTICAL  
FIBER WITH SINGLEMODE-MULTIMODE-  
SINGLEMODE (SMS) FIBER STRUCTURE**

**Name of Student** : Damayanti Sari  
**NRP** : 2414 105 016  
**Department** : Engineering Physics FTI-ITS  
**Supervisors** : Agus M. Hatta, ST., MSi., Ph.D  
Detak Yan Pratama, ST., MSc

***Abstract***

*Bare fiber strain sensor and packaged fiber strain sensor of a step-index Singlemode-Multimode-Singlemode (SMS) fiber structure with packaging aluminium are investigated numerically and experimentally. Optical fiber need to be packaged to protect the optical fiber. Performancion test of the strain sensor investigated power output due to strain. Investigation of strain sensor is using wavelength operation 1550 nm and range of strain sensor is 0-1060  $\mu\epsilon$ . Based on numerically test sensitivity of bare fiber strain sensor on the length 44.35 mm is 0.0023 dBm/ $\mu\epsilon$ , but based on experimentally test sensitivity of sensor is 0.0022 dBm/  $\mu\epsilon$ . Based on numerically test sensitivity of packaged fiber strain sensor is 0.0021 dBm/ $\mu\epsilon$ , but based on experimentally test sensitivity of sensor is 0.0015 dBm/  $\mu\epsilon$ .*

***Keywords***-Strain Sensor, SMS Fiber Optik Structure, Multimode Step-Index, Packaging Strain Sensor

Halaman ini memang dikosongkan

## DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL .....	i
LEMBAR PENGESAHAN .....	v
ABSTRAK .....	ix
ABSTRACT .....	xi
KATA PENGANTAR.....	xiii
DAFTAR ISI.....	xv
DAFTAR GAMBAR.....	xvii
DAFTAR TABEL .....	xix
PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Permasalahan.....	2
1.3 Tujuan .....	2
1.4 Batasan Masalah.....	3
<b>DASAR TEORI .....</b>	<b>5</b>
2.1 Pengertian Sensor.....	5
2.2 Karakteristik Statik Sensor.....	5
2.3 Prinsip Kerja Serat Optik ...	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
2.4 Serat Optik <i>Singlemode-Multimode-Singlemode</i> ..	9
2.5 Efek <i>Multimode Interference</i> (MMI) .....	12
2.6 Sensor <i>Strain</i> Berbasis Serat Optik Berstruktur <i>Singlemode-Multimode-Singlemode</i> (SMS).....	13
2.7 Modulus <i>Young</i> .....	15
<b>METODOLOGI PENELITIAN .....</b>	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
3.1 Peralatan Penelitian.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
3.2 Metodologi Penelitian .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
<b>ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN .....</b>	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
4.1 Hasil Pengujian Kestabilan Sumber Cahaya	<b>Error! Bookmark not defined.</b>

4.2	Hasil Pengujian <i>Bare fiber strain sensor</i> .....	<b>Error!</b>
		<b>Bookmark not defined.</b>
4.3	Hasil Perhitungan Sensor <i>Strain</i> yang Setelah diberi <i>Packaging</i> .....	44
<b>PENUTUP</b> .....		<b>55</b>
5.1	Kesimpulan.....	55
5.2	Saran.....	56
<b>DAFTAR PUSTAKA</b> .....		<b>57</b>
<b>LAMPIRAN</b>		
LAMPIRAN A (DATA PENELITIAN)		
LAMPIRAN B (SPESIFIKASI ALAT)		

## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar 2.1</b> Serat Optik <i>Singlemode</i> [11]	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
<b>Gambar 2.2</b> Serat Optik <i>Step-Index</i> [13]	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
<b>Gambar 2.3</b> Serat Optik <i>Graded Index</i> [13] .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
<b>Gambar 2.4</b> Struktur Serat Optik SMS [12] .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
<b>Gambar 2.5</b> <i>Multimode Interference</i> pada Serat Optik SMS [13] .....	12
<b>Gambar 2.6</b> Fenomena <i>Self Imaging</i> pada Serat Optik SMS [13] .....	13
<b>Gambar 2.7</b> Kurva <i>Stress-Strain</i> Pada Serat Optik [16] ....	16
<b>Gambar 2.8</b> Kurva <i>Stress-Strain</i> pada Aluminium [17] ....	17
<b>Gambar 2.9</b> <i>Fiber Strain Sensor Welded to Steel Structure</i> [18] .....	18
<b>Gambar 2.10</b> FBG <i>Strain Sensor</i> [19] ....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
<b>Gambar 2.11</b> <i>Stainless Steel Tube-Packaged FBG Strain Sensor</i> [8] .....	18
<b>Gambar 3.1</b> Diagram Alir Proses Pengerjaan Tugas Akhir .....	22
<b>Gambar 3.2</b> Proses Penyambungan Serat Optik menggunakan <i>Fusion Splicer</i> .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
<b>Gambar 3.3</b> Hasil Penyambungan Serat Optik SMS .....	26
<b>Gambar 3.4</b> Diagram Alir Pengujian Sensor <i>Strain</i> secara Teoritis .....	27
<b>Gambar 3.5</b> Skema Pengujian Kestabilan Sumber Cahaya .....	28
<b>Gambar 3.6</b> Set Up Pengujian Serat Optik Berstruktur <i>Singlemode-Multimode-Singlemode</i> (SMS) Sebagai Sensor <i>Strain</i> .....	29

<b>Gambar 3.7</b> Set Up Pengujian Sensor <i>Strain</i> Secara Eksperimen.....	29
<b>Gambar 3.8</b> Desain <i>Packaging</i> Sensor <i>Strain</i> .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
<b>Gambar 3.9</b> <i>Packaged Strain</i> Sensor	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
<b>Gambar 4.1</b> Grafik Uji Kestabilan Sumber Cahaya Laser ( $\lambda=1550$ nm).....	34
<b>Gambar 4.2</b> Hasil Pengujian Sensor <i>Strain</i> Secara Perhitungan Pada L MMF = 59.7 Mm .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
<b>Gambar 4.3</b> Hasil Pengujian Sensor <i>Strain</i> Secara Eksperimen Pada L MMF = 59.7 Mm	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
<b>Gambar 4.4</b> Hasil Pengujian Sensor <i>Strain</i> L MMF = 59.7 mm.....	37
<b>Gambar 4.5</b> Hasil Perhitungan <i>Bare Fiber Strain Sensor</i> L MMF = 44.35 mm .....	40
<b>Gambar 4.6</b> Hasil Eksperimen <i>Bare Fiber Strain Sensor</i> L MMF = 44.35 mm .....	40
<b>Gambar 4.7</b> Hasil Pengujian <i>Bare Fiber Strain Sensor</i> L MMF = 44.35 mm .....	41
<b>Gambar 4.8</b> Hasil Perhitungan <i>Packaged Fiber Strain Sensor</i> L MMF = 44.35 mm.....	44
<b>Gambar 4.9</b> Hasil Eksperimen <i>Packaged Fiber Strain Sensor</i> L MMF = 44.35 mm.....	45
<b>Gambar 4.10</b> Hasil Pengujian <i>Packaged fiber strain sensor</i> L MMF = 44.35 mm.....	46
<b>Gambar 4.11</b> Hasil Perhitungan Pengujian <i>Packaged Fiber Strain Sensor</i> Berdasarkan Variasi Nilai Modulus Young .	50



## DAFTAR TABEL

<b>Tabel 2.1</b> Modulus Elastisitas Material [15,17] .....	<b>Error!</b>
<b>Bookmark not defined.</b>	
<b>Tabel 3.1</b> Parameter jenis serat optik berstruktur SMS .....	24
<b>Tabel 4.1</b> Karakteristik Statik Sensor <i>Strain</i> L MMF=59.7 mm .....	38
<b>Tabel 4.2</b> Karakteristik Statik <i>Fiber Strain Sensor</i> L MMF=44.35 mm .....	43
<b>Tabel 4.3</b> Karakteristik Statik <i>Packaged fiber strain sensor</i> L MMF=44.35 mm .....	48
<b>Tabel 4.4</b> Karakteristik Statik Pengujian <i>Packaged fiber strain sensor</i> Berdasarkan Variasi Nilai Modulus Young ..	51

Halaman ini memang dikosongkan

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Regangan (*strain*) adalah perbandingan antara perubahan panjang ( $\Delta l$ ) dengan panjang mula-mula ( $L_0$ ). Pengukuran *strain* dapat digunakan untuk mengukur berat badan digital, alat pengukur keretakan pada pondasi ataupun dinding bangunan, monitoring struktur bangunan, deformasi material serta dapat pula diaplikasikan di dunia industry [1]. Teknologi yang telah banyak digunakan digunakan untuk mengukur *strain* adalah *strain gauge*, namun sensor *strain gauge* ini memiliki kekurangan yaitu dapat terjadi interferensi elektromagnetik karena transmisi sinyal berbentuk sinyal elektrik. Kekurangan lain dari sensor ini yaitu *wiring* yang rumit dan memiliki dampak kehilangan sinyal sangat besar karena akan menghasilkan resistansi yang besar pada jarak yang jauh.

Perkembangan teknologi mengenai sensor *strain* kini telah berkembang dengan menggunakan sensor serat optik. Teknologi serat optik ini banyak digunakan karena memiliki beberapa kelebihan antara lain tahan terhadap interferensi gelombang elektromagnetik, *bandwidth* lebar, sensitivitas yang sangat tinggi, memiliki akurasi yang tinggi, tidak mudah korosi, tidak menimbulkan ledakan akibat loncatan electron seperti halnya pada sensor elektrik [2].

Serat optik berstruktur *Singlemode-Multimode-Singlemode* (SMS) telah banyak diaplikasikan karena memiliki keunggulan yaitu proses fabrikasi yang mudah serta biaya yang murah. Proses pembuatan dari serat optik *Singlemode-Multimode-Singlemode* (SMS) yaitu dengan cara menyambungkan bagian kedua ujung serat optik *multimode* dengan dua buah serat optik single mode menggunakan *fusion splicer*.

Serat optik *Singlemode-Multimode-Singlemode* (SMS) telah diaplikasikan untuk sensor refraktrometer, tegangan dan *strain* [3] [4] [5]. Dalam pengukuran *strain* maka serat optik harus di uji regangan agar bisa diketahui berapa besar perubahan intensitas cahaya atau perubahan daya yang dihasilkan. Serat optik yang berukuran sangat kecil dan tipis cenderung rentan untuk patah yang akan berpengaruh pada daya yang dihasilkan, sehingga serat optik perlu diberikan *packaging* agar bisa diaplikasikan di lapangan. Beberapa penelitian mengenai *packaging* untuk serat optik sebagai sensor *strain* yang telah dilakukan antara lain penelitian mengenai pengembangan metode pengukuran *strain* menggunakan serat optik berstruktur *Singlemode-Multimode-Singlemode* pada tahun 2011 [6], sensor *strain* menggunakan serat optik yang diberi *packaging* aluminium pada tahun 2015 [7] , desain dan aplikasi *fiber bragg grating* sensor untuk Sistem *Monitoring* Kesehatan Struktur (SMKS) pada tahun 2013 [8].

Maka pada tugas akhir ini akan dilakukan penelitian tentang pengaruh *packaging* aluminium pada sensor *strain* berbasis serat optik berstruktur *Singlemode-Multimode-Singlemode* (SMS) sebagai sensor *strain*.

## 1.2 Permasalahan

Berdasarkan latar belakang penelitian yang telah dipaparkan maka permasalahan yang diangkat dalam tugas akhir ini adalah bagaimana pengaruh *packaging* aluminium pada sensor *strain* berbasis serat optik berstruktur berbasis *Singlemode-Multimode-Singlemode* (SMS).

## 1.3 Tujuan

Adapun tujuan dari penelitian tugas akhir ini adalah untuk mengetahui pengaruh *packaging* aluminium pada sensor *strain* berbasis serat optik berstruktur *Singlemode-Multimode-Singlemode* (SMS).

#### 1.4 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah pada tugas akhir ini, antara lain:

1. Sumber cahaya yang digunakan adalah laser dengan panjang gelombang 1550 nm.
2. Struktur *packaging* SMS sebagai sensor *strain* antara lain serat optik *singlemodemultimode-singlemode* yang diberi *pacakaging* aluminium.
3. Pengujian *strain* dilakukan menggunakan *microdisplacement* pada *range* perubahan panjang mulai dari 0  $\mu\text{m}$  – 100  $\mu\text{m}$  dengan kenaikan pergeseran sebesar 10  $\mu\text{m}$ .
4. Pengaturan kecepatan putaran *microdisplacement* diabaikan.
5. Pengujian dan analisa data hanya mengamati perubahan daya berdasarkan perubahan *strain* yang diberikan.
6. Karakteristik sensor yang dihitung yaitu *range*, *span*, linearitas dan sensitivitas.

Halaman ini memang dikosongkan

## BAB II DASAR TEORI

### 2.1 Pengertian Sensor

Sensor merupakan suatu *device* yang memberikan sinyal keluaran sebagai fungsi dari masukan besaran fisis tertentu. Sensor merupakan salah satu bagian dari *transducer* yang berfungsi untuk melakukan *sensing* atau “menangkap” adanya perubahan *energy external* yang masuk pada bagian *input transducer*, sehingga perubahan energy yang ditangkap oleh sensor akan dikirim ke konverter agar bisa diubah menjadi energy listrik [10].

### 2.2 Karakteristik Statik Sensor

Besarnya Nilai karakteristik statik dari setiap elemen dinyatakan seperti berikut [9]:

a. *Range*

*Range* adalah nilai minimal dan maksimal masukan ( $I_{min}, I_{max}$ ) dan keluaran ( $O_{min}, O_{max}$ ) sensor.

b. *Span*

*Span* adalah variasi maksimum *input* atau *output* suatu system pengukuran. *Span* dihitung berdasarkan persamaan 9.5

$$Input\ Span = Input_{max} - Input_{min} \quad (2.1)$$

$$Output\ Span = Output_{maksimum} - Output_{minimum} \quad (2.2)$$

c. Linearitas : Suatu system dikatakan linear jika hubungan *input* dengan *output* merupakan suatu garis lurus. Nilai output linear pada suatu system dinyatakan dengan persamaan 9.7.

$$Output_{Ideal} = K \times Input + a \quad (2.3)$$

$$K = \frac{Output_{max} - Output_{min}}{Input_{max} - Input_{min}} \quad (2.4)$$

d. Sensitivitas : perbandingan antara perubahan *output* dengan perubahan *input* dari suatu system pengukuran.

Sensitivitas dapat dihitung menggunakan persamaan 9.9.

$$K = \frac{Output_{max} - Output_{min}}{Input_{max} - Input_{min}} \quad (2.5)$$

### 2.3 Prinsip Kerja Serat Optik

Serat optik dapat membawa informasi apabila terjadi pemantulan sempurna atau disebut juga *Total Internal Reflection* (TIR). TIR terjadi pada saat cahaya yang menjalar pada serat optik yang memiliki perbedaan indeks bias antara *core* dan *cladding* sehingga menyebabkan sebagian cahaya dipantulkan dan sebagian yang lain diteruskan ke dalam bahan transparan kedua. Cahaya yang diteruskan mengalami pembiasan ketika memasuki bahan kedua dan membentuk sudut dari garis normal. Hal ini disebabkan karena pembiasan bergantung pada kecepatan cahaya yang berbeda pada indeks bias yang berbeda. TIR terjadi apabila sudut datang lebih besar dari sudut kritis sehingga cahaya dapat dipandu dalam serat optik. Pembiasan dapat dinyatakan menggunakan persamaan Hukum Snell [10], yaitu :

$$\frac{\sin i_1}{\sin i_2} = \frac{n_2}{n_1} \quad (2.6)$$

Dalam menentukan sudut kritis ditentukan dengan persamaan 2.3.

$$\theta_{kritis} = \text{arc sin} \frac{n_2}{n_1} \quad (2.7)$$

#### 2.3.1 Jenis-Jenis Serat Optik

Berdasarkan struktur dan system transmisi cahaya, teknologi serat optik terbagi menjadi dua jenis, antara lain:

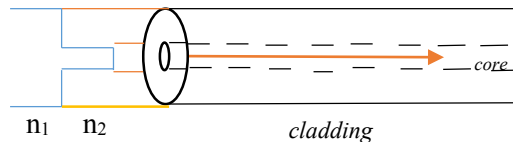
##### 1. Serat Optik *Singlemode*

Serat optik jenis *singlemode* merupakan teknologi serat optik yang hanya menggunakan 1 moda dengan diameter inti atau *core* yang bekisar antara 8-12 mikrometer.



Kelebihan dari serat optik *singlemode* yaitu mampu membawa data dengan *bandwidth* yang lebih besar dibandingkan dengan struktur serat optik *multimode*. Selain itu serat optik *singlemode* mampu membawa data dengan kecepatan 50x lebih cepat dibandingkan dengan struktur serat optik *multimode* [11].

Namun teknologi serat optik *singlemode* memiliki kekurangan yaitu membutuhkan cahaya dengan lebar spectral yang sangat kecil dan harganya *relative* mahal. Serat optik *singlemode* kurang tepat jika digunakan sebagai sensor karena jari-jari *core* yang sangat kecil dan hanya terdiri dari satu moda saja sehingga pada saat diberikan perlakuan maka *loss* yang dihasilkan sangat sedikit, akibatnya sensitivitas dari serat optik *singlemode* sangat rendah sehingga kurang tepat untuk digunakan sebagai sensor. Struktur serat optik dapat dilihat pada gambar 2.1.



**Gambar 2.1** Serat Optik *Singlemode* [10]

## 2. Serat *Multimode* Optik *Step-Index*

Serat optik *step-index* memiliki perbedaan indeks bias yang drastis antara *core* dan *cladding*. Serat optik *step-index* ini tepat digunakan untuk transmisi kecepatan rendah sehingga mampu menyebabkan berkurangnya *bandwidth*. Serat optik *multimode step-index* memiliki sensitivitas lebih tinggi dibandingkan dengan serat optik *multimode graded indeks* karena perbedaan yang besar antara indeks bias *core* dan indeks bias *cladding*.

Struktur serat optik *step-index* dapat dilihat pada gambar 2.2.



**Gambar 2.2** Serat Optik *Step-Index* [12]

Pada serat optik *step-index* nilai profil indeks bias tak terhingga yaitu ( $p=\infty$ ) sehingga fungsi *step-index* ( $n_2(r)$ ) berdasarkan hukum Snellius. Selain itu profil indeks bias juga dipengaruhi oleh nilai indeks bias *core* yang seragam dan lebih besar daripada nilai indeks bias pada *cladding* dalam serat optik *step-index*. Selisih indeks bias dinyatakan dalam persamaan 1 berikut ini [11]:

$$\Delta = \frac{n_1^2 - n_2^2}{2n_1^2} \approx \frac{n_1 - n_2}{n_1} \quad (2.8)$$

Pada peristiwa propagasi gelombang cahaya dalam serat optik *step-index* muncul *V-number* yaitu parameter penentu jumlah moda dan konstanta perambatan cahaya dalam serat optik. Persamaan parameter V-number dapat dinyatakan pada persamaan berikut:

$$V = \sqrt{(NA)^2 k_0^2 \alpha^2} = 2\pi \frac{\alpha}{\lambda} NA \quad (2.9)$$

Pada serat optik *multimode step-index* nilai *V-number* kurang dari 2405, dimana hanya terbentuk moda fundamental moda  $LP_{01}$  didalam penjalaran cahaya, sehingga semua moda dapat terpandu dalam *core* serat optik *multimode step-index*.

Penentuan jumlah moda yang dirambatkan dalam serat optik *multimode step-index* dapat didekati dengan persamaan matematis berikut [13].

$$M \approx \frac{4}{\pi^2} V^2 \approx \frac{4}{\pi^2} (2n_{core}^2 \Delta) k_0^2 a^2 \quad (2.10)$$

Dimana :

$NA = \text{Numerical Aperture}$

$k_0 = \text{vektor gelombang pada daerah vakum } (2\pi/\lambda) \text{ (m}^{-1}\text{)}$

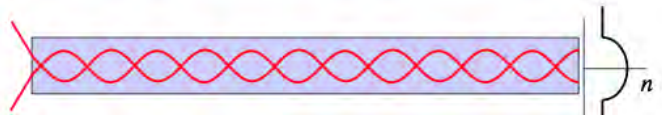
$a = \text{jari-jari } \textit{core fiber} \text{ (m)}$

$M = \text{jumlah moda didalam serat optik}$

$m = \text{bilangan interger.}$

### 3. Serat Optik *Multimode Graded Index*

Perbedaan indeks bias antara *core* dan *cladding* kecil pada serat optik *multimode graded indeks*. Serat optik *graded indeks* memiliki indeks bias *cladding* yang bertingkat sehingga *bandwith* serat optik *multimode graded indeks* lebih besar dibandingkan dengan serat optik *multimode step-index*. Struktur serat optik *graded-index* dapat dilihat pada gambar 2.3.



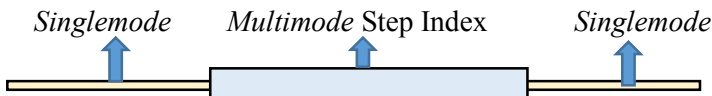
**Gambar 2.3** Serat Optik *Graded Index* [12]

### 2.4 Serat Optik *Singlemode-Multimode-Singlemode*

Serat optik *Singlemode-Multimode-Singlemode* atau yang biasa disebut dengan serat optik SMS merupakan struktur serat optik yang disambungkan dengan urutan jenis serat optik *Singlemode-Multimode-Singlemode*.

Penyambungan serat optik dilakukan dengan cara menghubungkan ujung-ujung serat optik yang identik secara *axial*. Penyambungan serat optik menggunakan alat yang disebut dengan *fusion splicer*. Pada serat optik yang berstruktur SMS hanya *fundamental mode* yang ter-*couple* masuk pada *input* dan ter-*couple* keluar pada ujung serat optik *multimode*. Kondisi tersebut dapat terjadi pada *spot size* dari *fundamental mode* serat optik antara *Singlemode-Multimode-Singlemode* benar-benar sesuai sehingga tidak menimbulkan *misalignment* aksial pada sambungan serat optik SMS. Namun jika kondisi tersebut tidak dapat dipenuhi maka *high order mode* dari serat optik *multimode* akan terkesitasi atau ter-*coupling* keluar pada *input* atau *output* ujung serat optik *multimode*. Daya yang ter-*couple* pada *output* serat optik *singlemode* diharapkan sangat sensitif terhadap beda fasa yang dibentuk oleh mode-mode pada ujung serat optik *multimode*, dan *propagation constant* pada setiap mode hampir sama. Kinerja dan performansi pada serat optik berstruktur *Singlemode-Multimode-Singlemode* sangat bergantung pada panjang gelombang operasi dan berdasarkan panjang dari serat optik *multimode*. Adapun kelebihan dari serat optik yang berstruktur *Singlemode-Multimode-Singlemode* antara lain yaitu fabrikasi yang mudah serta sensitivitas yang tinggi [11].

Dengan optimasi panjang pada *multimode* dapat menciptakan interferensi maximum atau minimum pada transmisi di spektrum. Struktur serat optik dapat dilihat pada gambar 2.4.



**Gambar 2.4** Struktur Serat Optik SMS [11]

Ketika sambungan serat optik *singlemode* dan *multimode* diasumsikan tersambung secara sempurna, maka daya *output* pada sambungan *lead-out* merupakan eksitasi dari beberapa moda sirkular simetri yang pertama. Pada sambungan yang pertama, ujung *input* adalah  $z = 0$  diasumsikan memiliki distribusi medan  $\psi(r, 0)$  yang sebanding dengan *fundamental moda* yang terandu pada  $LP_{0m}$ . profil distribusi medan dalam serat optik *multimode* diasumsikan  $\psi_m(r)$ , maka persamaan profil medan adalah sebagai berikut :

$$\psi(z = 0) = \psi_s = \sum A_m \psi_m(r) \quad (2.11)$$

Dimana  $A_m$  merupakan koefisien eksitasi setiap moda atau amplitude penjalaran cahaya pada setiap moda yang dapat didekati dengan persamaan berikut:

$$A_m = \frac{\int_0^\infty \psi_s \psi_m r dr}{\int_0^\infty |\psi_m|^2 r dr} \quad (2.12)$$

Dalam serat optik *multimode* pada jarak tertentu ( $z=L$ ) maka distribusi gelombang cahaya dapat didekati dengan persamaan berikut :

$$\psi(z = L) = \sum A_m \psi_m e^{-i\beta_m L} \quad (2.13)$$

Nilai daya *output* dari serat optik SMS dapat dihitung dengan persamaan 2.14 [11]

$$P_{SM} = \left| \int_0^\infty \psi_s \psi(z = L) r dr \right|^2 \quad (2.14)$$

Dimana :

$\psi(r, L)$  = profil distribusi medan ( $z=L$ )

$L$  = panjang serat optik *multimode*

$A_m$  = koefisien eksitasi tiap moda

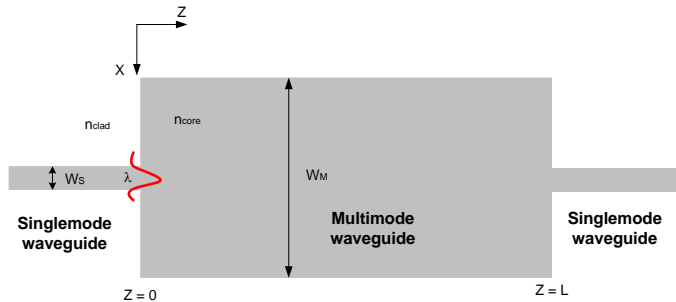
$\psi_m$  = profil distribusi medan *multimode*

$j$  = bilangan imajiner

$\beta_m$  = konstanta propagasi moda ke- $m$

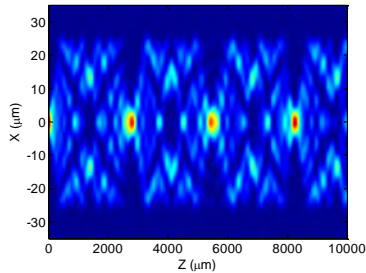
## 2.5 Efek *Multimode Interference* (MMI)

Pada penyambungan serat optik akan terjadi fenomena *multimode interference* dan *self imaging*. *Multimode Interference* (MMI) merupakan fenomena yang terjadi pada serat optik karena adanya pemantulan cahaya yang berulang dalam susunan *core* dan *cladding*. Pemantulan cahaya yang berulang dalam *core* menyebabkan terjadinya interferensi secara internal, sehingga akan menyebabkan pola perambatan cahaya yang keluar dari *core* berubah secara *periodic*. Serat optik berstruktur *Singlemode-Multimode-Singlemode* dapat digunakan sebagai sensor karena perbedaan jari-jari antara serat optik *singlemode* dengan serat optik *multimode* sehingga pada saat cahaya ditransmisikan pada serat optik *lead in singlemode* menuju ke *multimode fiber* maka ada cahaya yang *loss* kemudian hanya *fundamental mode* saja yang ter-*couple* menuju ke *multimode fiber* dan akan terjadi interferensi *destructive* atau *constructive* yang bergantung pada jari-jari, panjang gelombang operasi yang digunakan dan profil indeks bias. Interferensi konstruktif yang terjadi secara *periodic* disebut dengan fenomena *self imaging* [12]. Skema pemanduan gelombang pada serat optik *multimode* dapat dilihat pada gambar 2.5.



**Gambar 2.5** *Multimode Interference* pada Serat Optik SMS [12]

Profil medan *self imaging* dapat dilihat pada Gambar 2.6.



**Gambar 2.6** Fenomena *Self Imaging* pada Serat Optik SMS [12]

Pada profil medan *input* ( $z=0$ ), moda yang berasal dari serat optik *singlemode* akan terkesitasi menjadi distribusi moda yang mungkin terpandu ke dalam serat optik *multimode*. Pada profil medan ( $z=L$ ) akan terjadi *self imaging* sebanyak  $n$  kali pada jarak tertentu secara periodik yang disebut dengan jarak *reimaging* [12]. Jarak *self imaging* dapat dinyatakan dengan persamaan berikut:

$$L_i = 10 \frac{\pi}{\beta_m - \beta_{m+1}} \quad (2.15)$$

## 2.6 Sensor *Strain* Berbasis Serat Optik Berstruktur *Singlemode-Multimode-Singlemode* (SMS)

Ketika serat optik yang berstruktur *Singlemode-Multimode-Singlemode* (SMS) diberi *strain* maka jari-jari *core* dan *cladding* pada serat optik *singlemode* dan *multimode* akan berubah, panjang serat optik berubah, indeks bias *core* dan *cladding* pada serat optik *singlemode* dan *multimode* akan berubah dan indeks bias serat optik akan berubah.

Akibat perubahan tersebut maka terdapat banyak *loss* daya yang dihasilkan oleh serta optik *Singlemode-Multimode-Singlemode* (SMS) akibatnya daya *output* yang terdeteksi oleh detektor akan berbeda dengan daya *input* [2].

### 2.6.1 Pengaruh *Strain* terhadap Serat Optik *Single-Mode-Multimode-Single-Mode* (SMS) sebelum diberi *Packaging*

Pada saat diberi *strain* maka jari-jari *core* dan *cladding* pada serat optik *singlemode* dan *multimode* akan berubah, panjang serat optik berubah, indeks bias *core* dan *cladding* pada serat optik *singlemode* dan *multimode* akan berubah dan indeks bias serat optik akan berubah. Perubahan jari-jari *core* dan *cladding*, perubahan panjang serat optik dan perubahan indeks bias serat optik pada Serat optik berstruktur *Singlemode-Multimode-Singlemode* (SMS) sebelum diberi *packaging* saat diberi *strain* dinyatakan dengan persamaan berikut [2].

$$\Delta L = L\varepsilon \quad (2.16)$$

$$\Delta \alpha = -v_f \cdot \alpha_{(SMF,MMF)} \cdot \varepsilon \quad (2.17)$$

$$\Delta n = \frac{-n_{(SMF,MMF)}^2}{2} [p_{12} - \sigma_f(p_{11} + p_{12})] \varepsilon = -p_e \cdot \varepsilon \quad (2.18)$$

### 2.6.2 Pengaruh *Strain* terhadap Serat Optik *Singlemode-Multimode-Singlemode* (SMS) setelah diberi *Packaging*

Perubahan jari-jari *core* dan *cladding*, perubahan panjang serat optik dan perubahan indeks bias serat optik pada Serat optik berstruktur *Singlemode-Multimode-Singlemode* (SMS) setelah diberi *packaging* saat diberi *strain* dinyatakan dengan persamaan berikut [14].

$$\Delta L = L\varepsilon \quad (2.19)$$



$$\Delta a_p = (-v_f + v_p) \cdot a_{(SMF,MMF)} \cdot \varepsilon \quad (2.20)$$

$$\Delta n_p = \left[ \frac{-n_{(SMF,MMF)}^3 (2v_p - 1)}{2 E_p} \varepsilon (p_{11} + p_{12} + p_{12}) \right] \quad (2.21)$$

Dimana

$\Delta L$	: Perubahan Panjang
$\varepsilon$	: <i>Strain</i>
$\Delta a$	: Perubahan Jari-Jari pada Serat Optik
$v_f$	: Poisson Ratio Serat Optik (0.16)
$v_p$	: Poisson Ratio <i>Packaging</i> (Aluminium=0.334)
$a_{(SMF,MMF)}$	: Jari-Jari <i>Core</i> SMF (4.15 $\mu$ m), MMF Jari-Jari <i>Core</i> MMF (52.5 $\mu$ m)
$\Delta n$	: Perubahan Indeks Bias
$n_{(SMF,MMF)i}$	: Indeks Bias <i>Core</i> (1.4504) dan Indeks Bias <i>Cladding</i> (1.4447), Indeks Bias <i>Core</i> (1.4446) dan Indeks Bias <i>Cladding</i> (1.4271)
$p_{12}$	: Koefisien <i>Strain</i> Optik (0.12)
$p_{11}$	: Koefisien <i>Strain</i> Optik (0.27)
$p_e$	: Koefisien Fotoelastisitas (0.22)
$\Delta a_p$	: Perubahan Jari-Jari Setelah diberi <i>Packaging</i>
$E_p$	: Modulus Elastisitas Material <i>Packaging</i> (Aluminium : 70 GPa)

## 2.7 Modulus Young

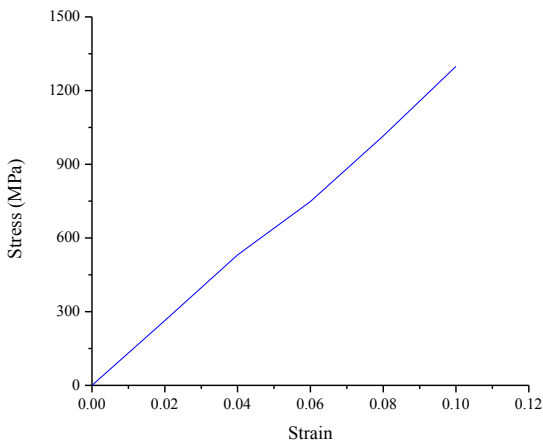
Modulus *Young* atau modulus elastisitas adalah ukuran kekakuan suatu material. Semakin besar nilai modulus *young* maka semakin kecil regangan yang dihasilkan atau material akan semakin kaku. Begitu juga sebaliknya semakin kecil nilai modulus *young* maka material akan mudah untuk diregangkan.

Berikut ini adalah data modulus *young* pada berbagai material, dapat dilihat pada Tabel 2.1.

**Tabel 2.1** Modulus Elastisitas Material [15,17]

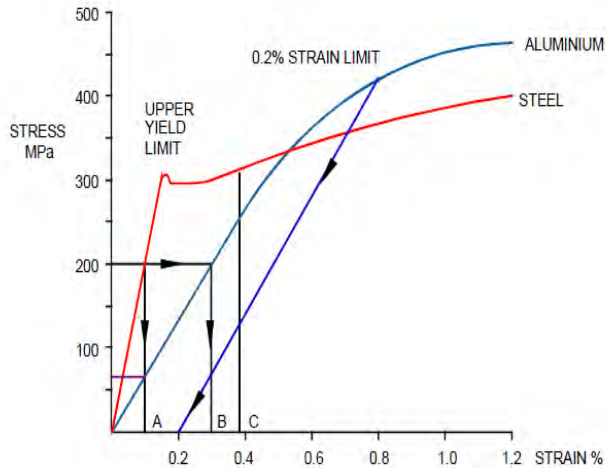
Material	Modulus Elastis (GPa)
Standard <i>Fiber Without Coating</i>	69.22+-0.42
Standard <i>fiber with coating</i>	16.56+-0.39
Photosensitive <i>fiber without coating</i>	68.6+-1.47
Aluminium and its alloy	70

Kurva *stress-strain* pada serat optik dapat dilihat pada gambar 2.7. Pada gambar 2.7 dapat dilihat bawah *fracture point* atau titik patah dari serat optik adalah pada 0.11 yang berarti bahwa serat optik akan patah jika diregangkan diatas 0.11. *Strain* maksimum yang dapat diberikan pada serat optik adalah 0.11. Pada penelitian ini maksimum *strain* yang diebrikan adalah  $100 \mu\text{m}:94350 \mu\text{m} = 0.001$ , sehingga pengujian *strain* yang telah dilakukan dalam penelitian ini berada pada daerah elastis serat optik.



**Gambar 2.7** Kurva *Stress-Strain* Pada Serat Optik [15]

Kurva *stress-strain* pada material aluminium dapat dilihat pada Gambar 2.8. Pada gambar 2.8 dapat dilihat bahwa aluminium dapat diregangkan hingga 0.32% atau 0.0032. Pada penelitian ini maksimum *strain* yang diberikan adalah  $100 \mu\text{m}:94350 \mu\text{m} = 0.001$ , sehingga pengujian *strain* masih yang telah dilakukan dalam penelitian ini berada pada daerah elastis aluminium.

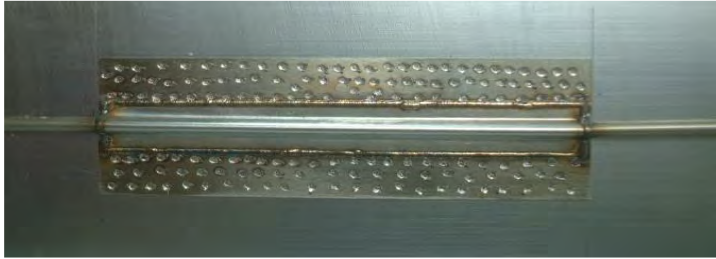


**Gambar 2.8** Kurva Stress-Strain pada Aluminium [16]

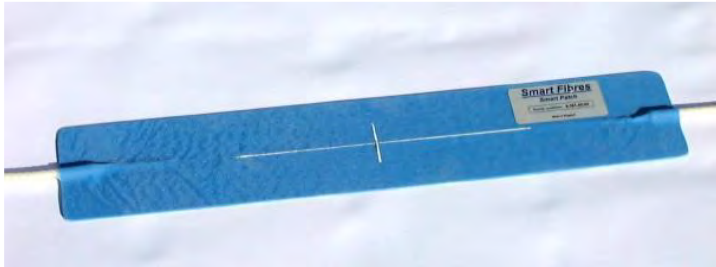
## 2.8 Desain *Packaged fiber strain sensor*

*Packaged fiber strain sensor* telah banyak dipasarkan dan sudah digunakan untuk berbagai aplikasi seperti untuk mengukur *strain* pada struktur bangunan, *pipelines*, dan jembatan.

Berikut ini adalah jenis-jenis desain *packaged fiber strain sensor* yang telah dikembangkan, dapat dilihat pada gambar 2.9, gambar 2.10 dan gambar 2.11.



**Gambar 2.9** *Fiber Strain Sensor Welded to Steel Structure* [17]



**Gambar 2.10** *FBG Strain Sensor* [18]



**Gambar 2.11** *Stainless Steel Tube-Packaged FBG Strain Sensor* [8]

Pada gambar 2.9 sensor *strain* menggunakan *Fiber Bragg Grating* (FBG) yang diberi *packaging* berupa material substrat. Aplikasi dari *packaged strain sensor* ini digunakan untuk mengukur *strain* pada *wind turbin*, pada jembatan, pada *gas pipeline*. Cara penggunaan sensor *strain* ini adalah dengan cara ditempelkan pada objek yang akan diukur.

Pada gambar 2.10 sensor *strain* menggunakan *Fiber Bragg Grating* (FBG) yang diberi *packaging stainless*. Aplikasi dari *packaged strain sensor* ini digunakan untuk mengukur *strain* pada struktur sipil, pada *pipelines* dan pada jembatan. Cara penggunaan sensor *strain* ini adalah dengan cara ditempelkan pada objek yang akan diukur.

Pada gambar 2.11 sensor *strain* menggunakan *Fiber Bragg Grating* (FBG) yang diberi *packaging* berupa *epoxy resin* dan *stainless steel tube*. Aplikasi dari *packaged strain sensor* ini digunakan untuk mengukur *strain* pada sistem *monitoring* kesehatan struktur. Cara penggunaan sensor *strain* ini adalah dengan cara ditanam pada *steel plate*.

Namun *packaged fiber strain sensor* yang telah banyak dipasarkan dan dikembangkan adalah menggunakan *Fiber Bragg Grating* (FBG), sehingga pada penelitian ini dirancang *packaged fiber strain* optik *sensor* berbasis serat optik *Singlemode-Multimode-Singlemode* (SMS) dengan menggunakan *packaging* berupa plat aluminium. Pemilihan material *packaging* berupa metal aluminium karena memiliki keuntungan yaitu tahan terhadap kelembaban udara dan dapat memiliki *lifetime* yang panjang [19]. Dimensi *packaging* berupa plat dipilih untuk mempermudah proses pengujian sensor *strain*.

Halaman ini memang dikosongkan

## **BAB III**

### **METODOLOGI PENELITIAN**

#### **1.1 Peralatan Penelitian**

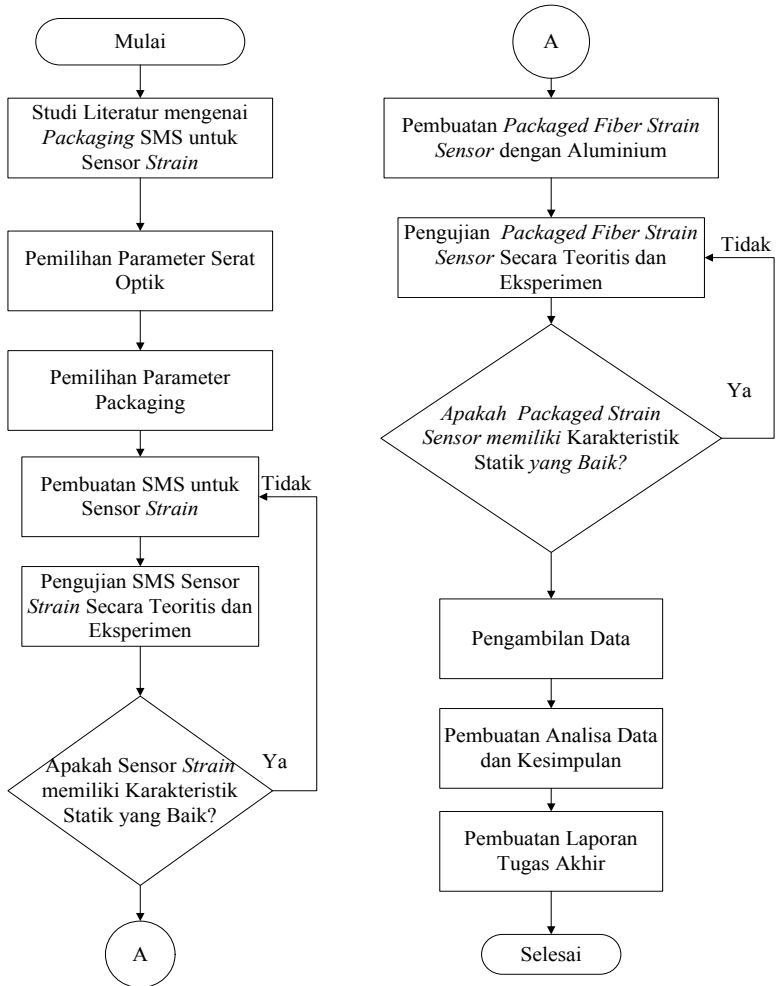
Pada penelitian mengenai pengaruh *packaging* aluminium pada *sensor strain* berbasis serat optik berstruktur *Singlemode-Multimode-Singlemode* (SMS) terdapat peralatan yang digunakan, antara lain :

- 1 Serat Optik *Singlemode Pigtail*
- 2 Serat Optik *Multimode Step Index*
- 3 *Fiber Stripper* untuk mengupas *cladding* pada serat optik.
- 4 Alkohol untuk membersihkan *cladding* yang tersisa pada serat optik.
- 5 *Fiber Cleaver* digunakan untuk memotong serat optik agar presisi panjang serat optik sesuai yang dikehendaki.
- 6 *Fusion Splicer* digunakan untuk menyambungkan antara serat optik yang satu dengan serat optik yang lain.
- 7 *Light Source* sumber cahaya yang digunakan untuk serat optik dengan panjang gelombang 1550 nm dan *input* -10 dBm.
- 8 *Optical Power Meter* sebagai Detektor perubahan *loss* daya *output* pada serat optik.
- 9 *Micro displacement* berfungsi untuk meregangkan serat optik.
- 10 *Epoxy* sebagai material perekat pada *packaging* serat optik.
- 11 *Aluminium* sebagai material *packaging* serat optik.

#### **1.2 Metodologi Penelitian**

Metodologi penelitian merupakan serangkaian kegiatan yang dilakukan mulai dari awal hingga akhir untuk ketercapaian tujuan tugas akhir.

Metode penelitian secara eksperimen yang dilakukan dalam tugas akhir ini dinyatakan dalam gambar 3.1.



**Gambar 1.1** Diagram Alir Proses Pengerjaan Tugas Akhir



Proses lengkap yang sudah dikerjakan yang disertai dengan langkah-langkah yang terperinci dijelaskan pada sub bab berikut :

#### 1. Studi Literatur

Pengerjaan tugas akhir berawal dari tahapan studi literature yang bertujuan untuk mengetahui konsep dasar perancangan *packaging* sensor *strain* berbasis serat optik, mengetahui komponen-komponen yang diperlukan serta karakteristik dari masing-masing komponen, memahami parameter-parameter yang dibutuhkan dalam merancang desain *packaging* sensor *strain*, mengetahui cara menghitung dan menganalisa hasil dari penelitian agar bisa mendeteksi perubahan *strain* berdasarkan perubahan daya yang terjadi pada serat optik. Pada pembuatan *packaging* serat optik SMS sebagai sensor *strain* ini akan dibuat variasi, sebagai berikut:

- a. Serat Optik menggunakan tipe *Multimode Step Index*.
- b. Menggunakan bahan epoxy sebagai perekat dan aluminium sebagai material *packaging*.
- c. Geometri sensor :
  - Panjang : 12.5 cm
  - Lebar : 5 cm
  - Ketebalan : 1 mm

#### 2. Pemilihan Parameter Serat Optik

Setelah studi literature dilakukan maka diperoleh referensi mengenai jenis serat optik yang dengan performa terbaik untuk digunakan sebagai sensor *strain*. Parameter sensor dilihat dari segi sensitivitas, *span* dan linearitas. Hasil yang diperoleh pada tahap ini adalah serat optik yang digunakan adalah serat optik *singlemode pigtail* dengan diameter *core-cladding* sebesar (8.2 $\mu$ m – 125  $\mu$ m) dan serat optik *multimode* yang digunakan adalah jenis *multimode step index* dengan diameter *core-cladding* sebesar (52.5 $\mu$ m – 125)  $\mu$ m. Modulus *strain* pada serat optik tanpa *coating* adalah sebesar 69.22 GPa.

Karakteristik jenis serat optik yang digunakan pada tugas akhir ini dapat dilihat pada table 3.1.

**Tabel 1.1** Parameter jenis serat optik berstruktur SMS

<b>Parameter</b>		<b>Singlemode</b>	<b>Multimode</b>
Jejari ( $\mu\text{m}$ )	<i>Core</i>	4,15	52.5
	<i>Cladding</i>	62,5	62,5
Indeks Bias	<i>Core</i>	1,4504	1,4446
	<i>Cladding</i>	1,4447	1.4271
Numerical Apperture		0,246	0,22 $\pm$ 0,02
Sudut Apperture ( $2\theta$ )		28,48°	25,40

### 3. Pemilihan Parameter *Packaging*

Parameter pemilihan *packaging* yang baik dilihat dari modulus *young* dan *poisson ratio* agar mampu meregang ketika ditarik dan memberikan nilai perubahan daya pada serat optik. Selain itu factor ketersediaan alat dan bahan juga menjadi aspek yang dipertimbangkan untuk desain *packaging* sensor SMS sebagai sensor *strain*. Hasil dari tahap ini diperoleh material *aluminium* sebagai material *packaging*. Modulus *strain* pada *aluminium* sebesar 70 GPa dan *poisson ratio* pada *aluminium* sebesar 0.334.

### 4. Pembuatan Serat Optik SMS untuk sensor *strain*.

Setelah mengetahui bahwa kualitas serat optik yang digunakan memiliki performansi baik maka langkah selanjutnya adalah melakukan penyambungan sensor *strain* menggunakan serat optik SMS (*Singlemode-Multimode-Singlemode*). Pada tahap ini telah dilakukan penyambungan serat optik antara *Singlemode-Multimode-Singlemode* (SMS) secara aksial. Penyambungan ini bertujuan agar gelombang cahaya pada moda *fundamental* dari serat optik saja yang dapat dipandu pada serat optik *multimode*.

Prosedur perancangan dan penyambungan serat optik berstruktur SMS secara rinci adalah sebagai berikut :

- a. Tahap awal dalam pembuatan serat optik berstruktur SMS adalah dengan cara mengupas bagian *jacket* dan *coating* pada serat optik baik itu *singlemode* dan *multimode* dengan menggunakan *fiber stripper*. Kemudian dibersihkan menggunakan kapas yang telah diberi alcohol agar tidak ada sisa-sisa *coating* yang menempel.
- b. Tahap kedua adalah memotong serat optik baik itu *singlemode* dan *multimode* menggunakan *fiber cleaver*. Panjang yang diinginkan untuk serat optik *singlemode* adalah sebesar 25 mm dan untuk serat optik *multimode* adalah sebesar 44.35 mm. Pemotongan serat optik menggunakan *fiber cleaver* bertujuan untuk memperoleh hasil potongan yang merata pada ujung serat optik agar serat optik dapat tersambung secara aksial.
- c. Tahap ketiga adalah melakukan penyambungan serat optik *Singlemode-Multimode-Singlemode* (SMS) menggunakan *fusion splicer*. Pada tahap penyambungan *loss* yang dihasilkan sebesar 0 dB agar serat optik dapat disambung secara merata dan tidak menghasilkan *losses*. Hasil penyambungan serat optik *Singlemode-Multimode-Singlemode* (SMS) menggunakan *fusion splicer* dapat dilihat pada gambar 3.2.

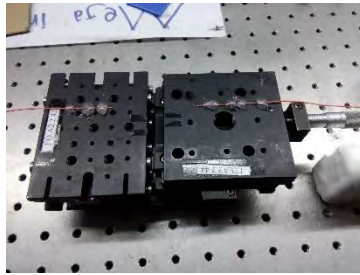


**Gambar 1.2** Proses Penyambungan Serat Optik menggunakan *Fusion Splicer*

- d. Tahap terakhir adalah dengan melakukan perekaman daya yang terukur dengan cara menghubungkan *fiber* optik berstruktur

*Singlemode-Multimode-Singlemode* (SMS) dengan sumber cahaya dan detektor. Jika rugi daya yang dihasilkan cukup besar maka perlu dilakukan perancangan ulang serat optik.

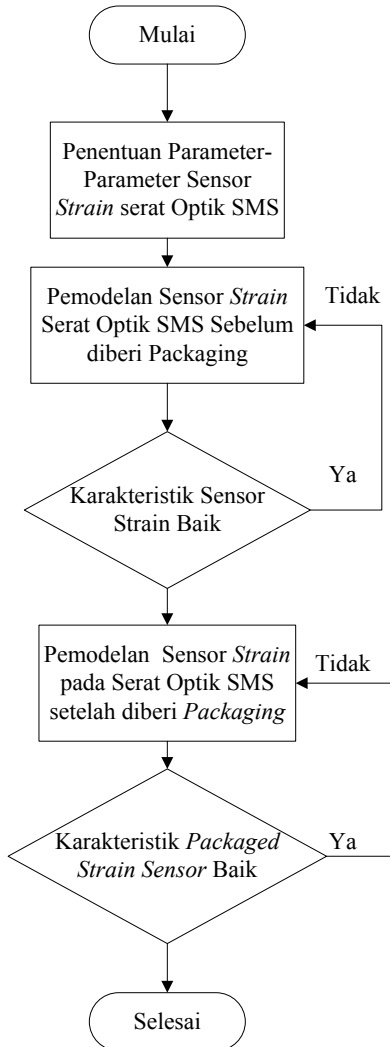
Hasil penyambungan serat optik berstruktur *Singlemode-Multimode-Singlemode* (SMS) dapat dilihat pada gambar 3.3.



**Gambar 1.3** Hasil Penyambungan Serat Optik SMS

5. Pengujian Serat Optik SMS sebelum Diberi *Packaging*  
Pengujian dilakukan secara teoritis maupun secara eksperimen.

Metode penelitian yang dilakukan secara perhitungan menggunakan *software* MATLAB dapat dilihat pada gambar 3.4.



**Gambar 1.4** Diagram Alir Pengujian Sensor *Strain* secara Teoritis

Pengujian secara teoritis dilakukan menggunakan *software* Matlab. Pertama dengan cara memasukkan parameter-parameter untuk sensor *strain* berbasis serat optik

berstruktur *Singlemode-Multimode-Singlemode* (SMS) dengan cara menggunakan persamaan 2.23 hingga persamaan 2.36. Kemudian melakukan pemodelan sensor *strain* sebelum diberi *packaging*. Langkah selanjutnya adalah menghitung karakteristik statik sensor *strain* sebelum diber *packaging*. Jika karakteristik statik sensor *strain* sudah baik maka dilakukan pemodelan sensor *strain* setelah diberi *packaging*. Dan terakhir adalah menghitung karakteristik statik sensor *strain* yang telah diberi *packaging* hingga diperoleh performa sensor yang baik.

Hasil penyambungan serat optik SMS kemudian diuji karakterisasi sebelum diberikan *strain*. Kemudian dilakukan pengujian sensor SMS berdasarkan *strain* yang diberikan yaitu mulai dari 0  $\mu\text{m}$ -1060  $\mu\text{m}$ . Hal ini bertujuan untuk melihat seberapa besar perubahan daya yang dihasilkan oleh serat optik SMS berdasarkan perubahan *strain* yang diberikan.

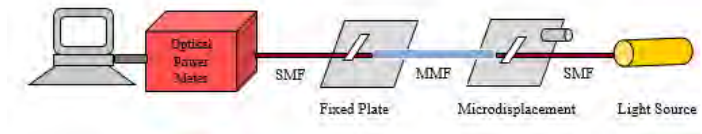
Sebelum melakukan pengujian *strain* maka langkah yang dilakukan adalah menguji kestabilan sumber cahaya. Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui lamanya waktu yang dibutuhkan sumber cahaya untuk mencapai kestabilan setelah sumber cahaya dinyalakan. *Set up* pengujian kestabilan cahaya dapat dilihat pada gambar 3.5.



**Gambar 1.5** Skema Pengujian Kestabilan Sumber Cahaya

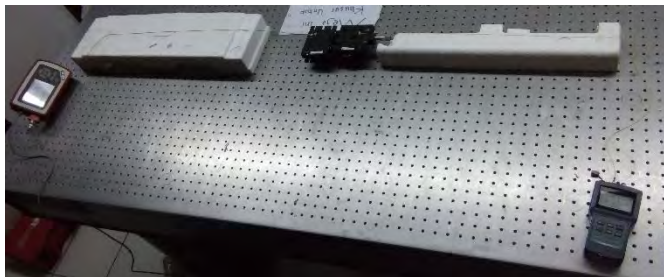
Proses uji kestabilan sumber cahaya dilakukan dengan cara mentransmisikan sumber cahaya pada serat optik dan detektor *Optical Power Meter* Thorlab. Laser dikatakan stabil apabila *output* daya yang terekam konstan dan tidak

fluktuatif. Pada tugas akhir ini dilakukan variasi *strain* menggunakan *micro displacement* pada *range* 0-1060  $\mu\text{m}$  dan dengan panjang serat optik sebesar 94.35 mm maka *range strain* yang digunakan adalah 0 – 1026  $\mu\epsilon$ . *Set up* pengujian serat optik berstruktur *Singlemode-Multimode-Singlemode* (SMS) sebagai sensor *strain* dapat dilihat pada gambar 3.6.



**Gambar 1.6** *Set Up* Pengujian Serat Optik Berstruktur *Singlemode-Multimode-Singlemode* (SMS) Sebagai Sensor *Strain*

Hasil perancangan set up pengujian sensor *strain* secara eksperimen dapat dilihat pada gambar 3.7.



**Gambar 1.7** *Set Up* Pengujian Sensor *Strain* Secara Eksperimen

Perancangan *Packaging* serat optik berstruktur *Singlemode-Multimode-Singlemode* (SMS) sebagai sensor *strain* menggunakan sumber cahaya laser *infrared* dengan panjang gelombang 1550 nm karena pada panjang gelombang ini baik untuk diaplikasikan sebagai sumber cahaya pada

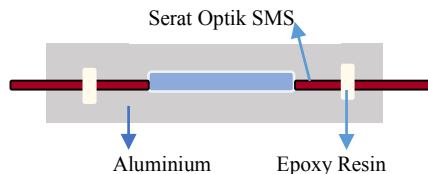
sensor karena mempunyai nilai rugi daya paling kecil pada serat optik silika ( $\text{SiO}_2$ ).

#### 6. Performa serat optik berstruktur SMS sudah bagus

Dari hasil pengujian *strain* maka dilihat hasilnya dari segi sensitivitas, *span* dan linearitasnya bagus. Apabila sensor SMS sudah memiliki performa yang bagus maka dapat beralih ke langkah selanjutnya.

#### 7. Desain *Packaging* Serat Optik SMS

Langkah selanjutnya adalah mendesain *packaging* serat optik SMS hal ini bertujuan agar sensor serat optik yang digunakan untuk sensor *strain* tidak mudah rusak. *Packaging* serat optik SMS menggunakan alat dan bahan sesuai dengan studi literature yang telah diperoleh agar hasilnya baik. Perancangan dilakukan dengan menghitung nilai-nilai dari parameter yang dibutuhkan yaitu dari segi modulus *strain* bahan yang digunakan. Nilai dari parameter tersebut berguna untuk menentukan jenis material yang digunakan serta ukuran material baik itu untuk *packaging* maupun untuk desain sensor *strain*. Pembuatan *packaging* serat optik terdiri resin perekat berupa epoxy dengan aluminium. Desain *packaging* sensor SMS dapat dilihat pada gambar 3.8.



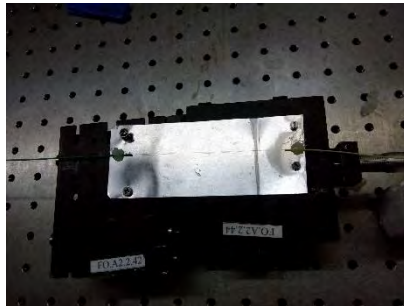
**Gambar 1.8** Desain *Packaging* Sensor *Strain*

#### 8. Pengujian Serat Optik SMS setelah Diberi *Packaging*

Langkah selanjutnya adalah menguji *packaging* sensor *strain* yang telah dibuat dengan mengubah *microdisplacement*, kemudian diamati apakah perubahan *strain* yang diberikan mampu menimbulkan perubahan daya keluaran yang dihasilkan oleh *packaging* sensor *strain* yang



menggunakan serat optik. Selain itu juga diamati apakah perancangan yang dibuat performanya sudah stabil atau belum dalam mendeteksi cahaya yang dilewatkan pada serat optik. Kemudian dari hasil pengujian dilihat seberapa besar perubahan daya *output* yang diperoleh dibandingkan dengan pengujian serat optik SMS sebelum diberi *packaging*. Hasil *packaging sensor strain* yang telah dirancang dapat dilihat pada gambar 3.9.



**Gambar 1.9** *Packaged Strain Sensor*

#### 9. Pengambilan Data

Apabila pengujian telah berhasil dan memiliki performansi yang baik, maka langkah selanjutnya adalah melakukan pengambilan data perubahan daya berdasarkan perubahan *strain* yang diberikan.

#### 10. Analisa dan Pembahasan *Packaging* Serat Optik SMS sebagai Sensor *Strain*

Kemudian dilakukan analisa apakah hasilnya sudah sesuai dengan teori atau belum. Selain itu dilakukan pembahasan terhadap hasil perancangan *packaging* sensor *strain* yang telah dibuat. Dari hasil pengujian dihitung karakteristik sensor antara lain linearitas dan sensitivitas.

Kemudian dilakukan penarikan kesimpulan dari hasil perancangan *packaging* sensor *strain*.

#### 11. Penulisan Laporan Tugas Akhir

Jika karakteristik statik perancangan *packaging* sensor *strain* bagus maka tahap penelitian dapat dilanjutkan dengan penulisan laporan mengenai hasil penyampaian penelitian yang telah dilakukan.

## **BAB IV**

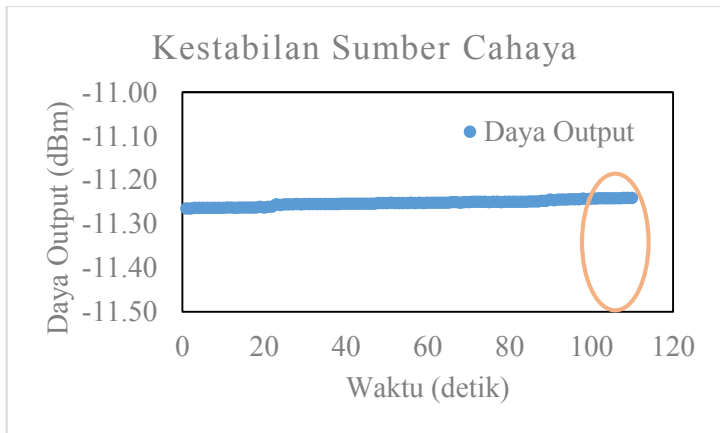
### **ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN**

Pada bab IV ini akan dibahas mengenai hasil penelitian yang telah dilakukan baik secara perhitungan menggunakan *software* MATLAB maupun secara hasil eksperimen yang telah dilakukan. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui performansi sensor *strain* serta untuk mengetahui pengaruh sensor *strain* yang telah diberi *packaging*. Adapun hasil penelitian yang telah dilakukan meliputi :

- a. Hasil Pengujian Kestabilan Sumber Cahaya  
Pada sub bab ini akan dijelaskan mengenai durasi waktu yang dibutuhkan untuk sumber cahaya yang digunakan dalam mencapai kondisi stabil. Hal ini dilakukan sebelum melakukan pengujian sensor *strain*, agar pada saat data pengujian sensor *strain* sumber cahaya dalam keadaan stabil.
- b. Hasil Pengujian Sensor *Strain* sebelum diberi *Packaging* baik secara Perhitungan maupun Eksperimen  
Pada sub bab ini akan dijelaskan mengenai hasil pengujian secara perhitungan maupun hasil pengujian secara eksperimen pada sensor *strain* sebelum diberi *packaging*.
- c. Hasil Pengujian Sensor *Strain* setelah diberi *Packaging* baik secara Perhitungan maupun Eksperimen  
Pada sub bab ini akan dijelaskan mengenai hasil pengujian secara perhitungan maupun hasil pengujian secara eksperimen pada sensor *strain* setelah diberi *packaging*.

## 2.1 Hasil Pengujian Kestabilan Sumber Cahaya

Langkah pertama yang dilakukan sebelum melakukan pengujian sensor *strain* adalah melakukan pengujian kestabilan cahaya yang berfungsi untuk mengetahui durasi waktu yang dibutuhkan oleh sumber cahaya untuk mencapai kondisi stabil. Hal ini perlu dilakukan untuk menghindari fluktuasi daya pada saat dilakukan pengujian sensor *strain*. Sumber cahaya yang digunakan pada penelitian ini adalah sumber cahaya infrared dengan panjang gelombang 1550 nm. Hasil pengujian kestabilan cahaya dapat dilihat pada gambar 4.1.



**Gambar 2.1** Grafik Uji Kestabilan Sumber Cahaya Laser ( $\lambda=1550$  nm)

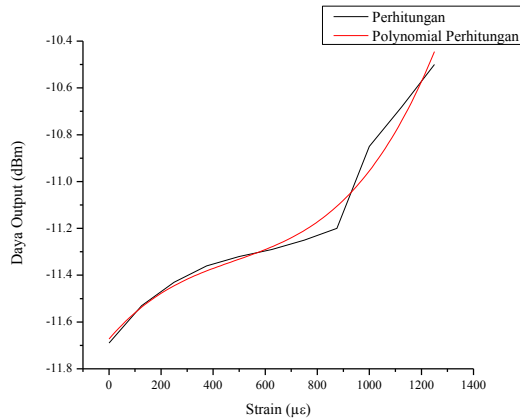
Data pengujian kestabilan laser diambil dengan selang waktu 10 detik. Dari gambar 4.1 dapat dilihat bahwa sumber cahaya laser infrared mulai stabil pada detik ke  $110 \times 10 = 1100$  detik. Pengujian sensor *strain* dapat dilakukan pada detik ke 1100 agar daya yang dihasilkan stabil.

## 2.2 Hasil Pengujian *Bare fiber strain sensor*

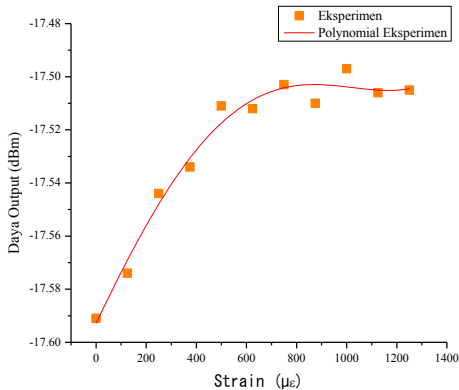
Pada penelitian ini telah dilakukan pengujian sensor *strain* baik secara teoritis maupun secara eksperimen, dipilih 2 variasi panjang berdasarkan referensi yang diperoleh yaitu pada panjang serat optik *multimode* 59.7 mm dan 44.35 mm. Penentuan panjang serat optik *multimode* diperlukan pada saat awal karena beberapa alasan. Alasan pertama bahwasannya pemilihan panjang serat optik optimum disesuaikan dengan desain *packaging* yang akan dirancang, sehingga panjang serat optik yang digunakan kurang dari panjang *packaging sensor strain* yaitu sebesar 12.5 cm. Kedua, dalam melakukan pemilihan panjang serat optik *multimode* tidak terlalu panjang karena rentan patah dan tidak terlalu pendek karena kesulitan dalam fabrikasi. Ketiga, pemilihan panjang serat optik *multimode* didasarkan pada daerah linear yang bertujuan untuk memudahkan dalam hal analisis. Dan terakhir, sensor yang dirancang harus memiliki nilai sensitivitas, *range* dan *span* yang baik, hal tersebut menandakan bahwa sensor memiliki karakteristik statik yang baik. Kriteria sensor yang baik diperoleh pada panjang serat optik *multimode* 44.35 cm yaitu memiliki nilai sensitivitas, *range*, dan *span* yang baik.

Hasil pengujian sensor *strain* pada panjang serat optik *multimode* 59.7 mm dapat dilihat pada gambar 4.2. Berdasarkan hasil pengujian baik secara teoritis maupun secara eksperimen dengan panjang serat optik *Multimode* 59.7 mm menunjukkan bahwa trend daya *output* semakin meningkat ketika *strain* yang diberikan semakin besar. Hal ini dikarenakan daya keluaran pada sambungan lead-out serat optik *Multimode* yang dideteksi oleh detektor mendekati titik *self imaging*.

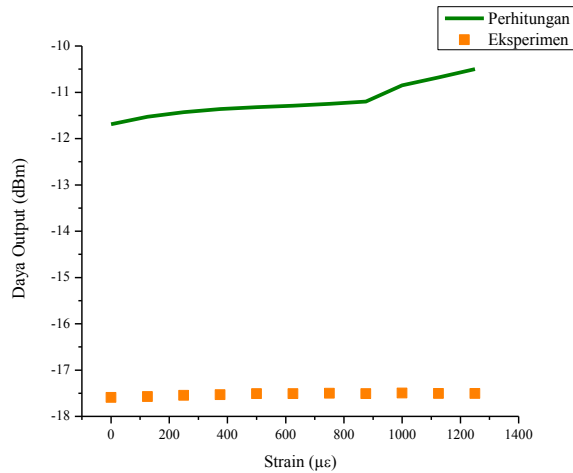
Hasil pengujian sensor *strain* pada panjang serat optik 59.7 mm dapat dilihat pada gambar 4.2 dan gambar 4.3



**Gambar 2.2** Hasil Pengujian Sensor *Strain* Secara Perhitungan Pada L MMF = 59.7 Mm



**Gambar 2.3** Hasil Pengujian Sensor *Strain* Secara Eksperimen Pada L MMF = 59.7 Mm



**Gambar 2.4** Hasil Pengujian Sensor *Strain* L MMF = 59.7 mm

Pada gambar 4.4 hasil pengujian sensor *strain* untuk panjang *multimode* 59.7 mm dapat dilihat bahwa jika ditinjau dari *span* hasil perhitungan memiliki nilai *span* yang lebih besar jika dibandingkan dengan hasil eksperimen, dimana *span* dari hasil perhitungan sebesar 1.19 dBm dan hasil eksperimen sebesar 0.094 dBm. Hasil sensitivitas sensor *strain* hasil perhitungan lebih besar dibandingkan hasil eksperimen dimana sensitivitas hasil perhitungan sebesar 0.001 dBm/µε sedangkan sensitivitas sensor berdasarkan hasil eksperimen adalah sebesar 0.0001 dBm/µε. Nilai *R Square* ( $R^2$ ) pada hasil perhitungan sebesar 0.96864 sedangkan pada hasil eksperimen sebesar 0.96504. Nilai standar deviasi pengukuran pada panjang serat optik *multimode* 59.7 mm adalah 0.0004 dan nilai *relative* standar deviasi adalah sebesar 0.0021 %.

Perbedaan antara hasil pengujian secara teoritis dan pengujian secara eksperimen dapat terjadi karena pada pengujian sensor *strain* hasil perhitungan diasumsikan bahwa system sensor memiliki kondisi ideal, yakni tidak ada pengaruh rugi daya akibat sambungan serat optik SMS dan tidak ada pengaruh rugi daya akibat sambungan antara serat optik dengan sumber cahaya maupun rugi daya akibat sambungan antara serat optik dengan detektor. Kecenderungan kurva dari daya *output* tidak selalu turun karena moda-moda yang berinterferensi akan berulang pada jarak tertentu berdasarkan panjang serat optik *multimode*. Karakteristik statik dari panjang serat optik *Multimode* 59.7 mm dapat dilihat pada table 4.1.

**Tabel 2.1** Karakteristik Statik Sensor *Strain* L  
MMF=59.7 mm

Karakteristik Statik <i>Fiber Strain</i> Sensor L=59.7 mm			Perhitungan	Eksperimen
<i>Range</i>	<i>Input Strain</i> ( $\mu\epsilon$ )	Min	0	0
		Max	1250	1250
	<i>Power Output</i> (dBm)	Min	-11.69	-17.591
		Max	-10.5	-17.497
<i>Span</i>	<i>Input Strain</i> ( $\mu\epsilon$ )		1250	1250
	<i>Power Output</i> (dBm)		1.19	0.094
<b>Sensitivitas (dBm/ <math>\mu\epsilon</math>)</b>			0.0010	0.0001

Pengujian sensor *strain* berikutnya adalah untuk panjang serat optik *multimode* 44.35 mm. Kemudian dilakukan pengujian sensor *strain* pada *range* 0-1060  $\mu\epsilon$ .

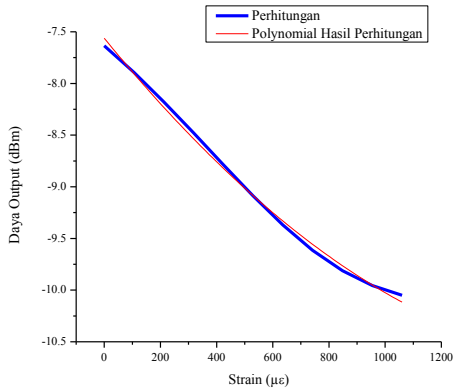


Berdasarkan persamaan 2.16, 2.17, dan 2.18 bahwa *strain* yang diberikan pada serat optik maka indeks bias *core*, indeks bias *cladding*, jari-jari *singlemode* dan jari-jari *multimode* semakin menurun. Hal ini terjadi karena pengaruh *strain* yang semakin dapat menyebabkan jari-jari serat optik *singlemode* dan *multimode* semakin menurun karena terjadi peregangan. Ketika diberi regangan perubahan jari-jari dan indeks bias *core* dan *cladding* pada serat optik *multimode* mengalami perubahan yang lebih besar dibandingkan pada serat optik *singlemode*.

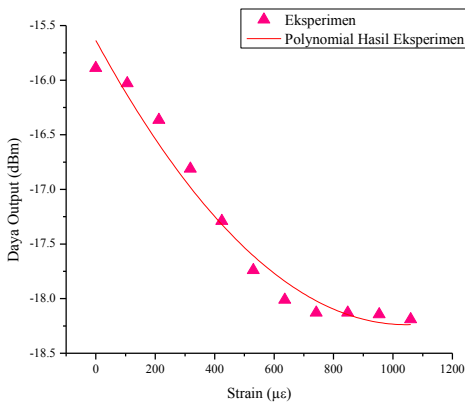
Hal ini terjadi karena pada serat optik *multimode* lebih sensitive karena serat optik *multimode* step index memiliki banyak moda dan memiliki jari-jari yang lebih besar dibandingkan dengan jari-jari pada *singlemode*, selain itu indeks bias *core* seragam dan lebih besar dari indeks bias *cladding* pada *multimode* lebih besar dibandingkan indeks bias pada *singlemode* sehingga terjadi banyak *loss* pada serat optik *multimode* dibandingkan pada serat optik *singlemode*.

Pada tugas akhir ini telah dilakukan perhitungan pengujian sensor *strain* menggunakan serat optik berstruktur *Singlemode-Multimode-Singlemode* (SMS) dengan menggunakan serat optik *multimode step-index* dengan panjang *multimode fiber* sebesar 44.35 mm. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa ketika diberi *strain* semakin besar maka daya *output* yang dihasilkan semakin kecil.

Hasil perhitungan dan eksperimen pengujian sensor *strain* untuk panjang serat optik *multimode* 44.35 mm dapat dilihat pada Gambar 4.5 dan Gambar 4.6.

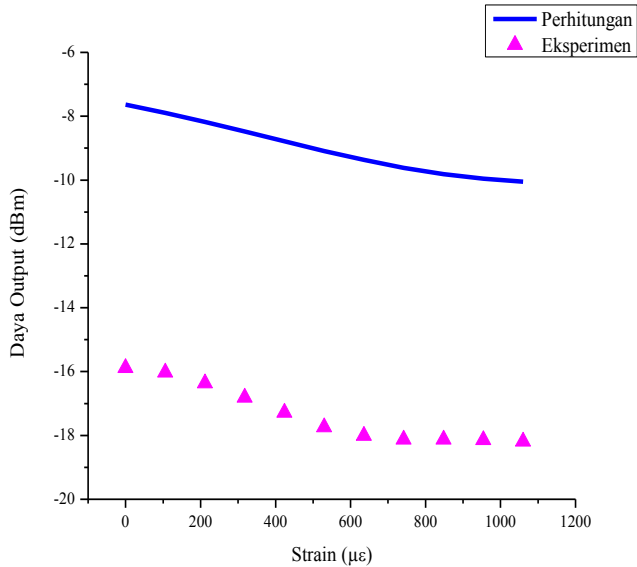


**Gambar 2.5** Hasil Perhitungan *Bare Fiber Strain*  
*Sensor* L MMF = 44.35 mm



**Gambar 2.6** Hasil Eksperimen *Bare Fiber Strain*  
*Sensor* L MMF = 44.35 mm

Hasil perbandingan pengujian secara eksperimen dan perhitungan dapat dilihat pada gambar 4.7.



**Gambar 2.7** Hasil Pengujian *Bare Fiber Strain Sensor*  
L MMF = 44.35 mm

Pada gambar 4.7 hasil perbandingan pengujian secara teoritis dan pengujian secara eksperimen menunjukkan trend grafik yang sama yaitu trend grafik daya *output* semakin menurun ketika *strain* yang diberikan semakin besar. Hal ini terjadi karena daya keluaran pada sambungan *lead-out* serat optik *Multimode* yang terdeteksi oleh detektor menjauhi titik *self-imaging* pada setiap perubahan *strain* yang diberikan sehingga daya *output* yang dihasilkan semakin rendah, sehingga *loss* yang dihasilkan semakin besar.

Pada saat serat optik diberi *strain* maka jari-jari serat optik *singlemode* dan *multimode* akan berubah semakin kecil, indeks bias *core* dan *cladding* pada serat optik *singlemode* dan *multimode* berubah semakin mengecil sehingga terjadi *loss* yang mengakibatkan daya *output* yang terdeteksi oleh detektor semakin menurun sehingga semakin besar *strain* yang diberikan maka menyebabkan daya *output* semakin menurun. Adapun *span* daya *output* yang dihasilkan pada hasil perhitungan ketika diberi *strain* pada *range* 0-1060  $\mu\epsilon$  adalah sebesar 2.415 dBm, sedangkan *span* dari hasil eksperimen sebesar 2.3 dBm. Sensitivitas yang dihasilkan pada hasil perhitungan ini adalah sebesar 0.0023 dBm/  $\mu\epsilon$ , sedangkan sensitivitas dari hasil eksperimen adalah sebesar 0.0022 dBm/  $\mu\epsilon$ . Jika ditinjau dari *span* dan sensitivitas, hasil perhitungan menghasilkan nilai *span* dan sensitivitas yang lebih besar dibandingkan dengan nilai *span* dan sensitivitas pada hasil eksperimen. Hal ini disebabkan karena pada perancangan sensor *strain* hasil perhitungan diasumsikan bahwa system sensor memiliki kondisi ideal, yakni tidak ada pengaruh rugi daya akibat sambungan serat optik SMS dan tidak ada pengaruh rugi daya akibat sambungan antara serat optik dengan sumber cahaya maupun rugi daya akibat sambungan antara serat optik dengan detektor.

Setelah dilakukan perhitungan pengujian sensor *strain* maka dilakukan perhitungan karakteristik statik yang berfungsi untuk mengetahui performansi dari sensor *strain*. Karakteristik statik dari hasil perhitungan pengujian sensor *strain* dapat dilihat pada table 4.2. Karakteristik statik sensor pada table 4.1 dan table 4.2 dapat dilihat bahwa panjang serat optik yang berbeda dapat mempengaruhi nilai *range* dan *span* dari sensor.

Karakteristik statik *bare fiber strain sensor* pada panjang *multimode*  $L=44.35$  mm dapat dilihat pada table 4.2.

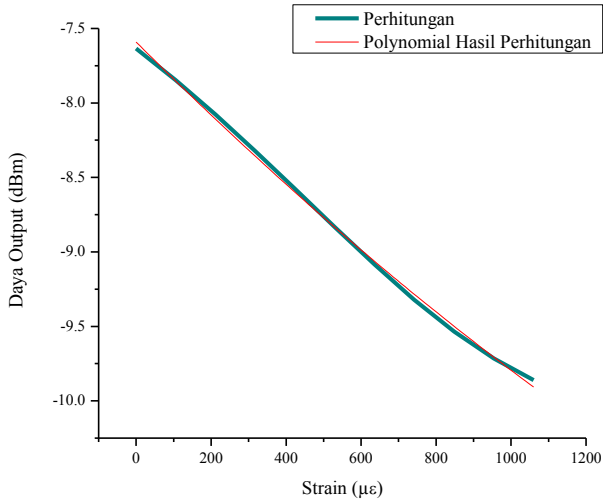
**Tabel 2.2** Karakteristik Statik *Fiber Strain Sensor* L MMF=44.35 mm

Karakteristik Statik <i>Bare fiber strain sensor</i> L=44.35mm			Perhitungan	Eksperimen
<i>Range</i>	<i>Input Strain</i> ( $\mu\epsilon$ )	Min	0	0
		Max	1060	1060
	<i>Power Output</i> (dBm)	Min	-10.05	-18.19
		Max	-7.635	-15.89
<i>Span</i>	<i>Input Strain</i> ( $\mu\epsilon$ )	1060	1060	
	<i>Power Output</i> (dBm)	2.415	2.240	
<b>Sensitivitas (dBm/<math>\mu\epsilon</math>)</b>			0.00228	0.00217

Hasil karakteristik static sensor pada table 4.1 dan 4.2 pada panjang serat optik *multimode* 59.7 mm dengan 44.35 mm dapat dilihat bahwa nilai sensitivitas tertinggi yang dihasilkan untuk panjang serat optik *multimode* 44.35 mm pada hasil perhitungan ini adalah sebesar 0.0023 dBm/  $\mu\epsilon$ , sedangkan sensitivitas dari hasil eksperimen adalah sebesar 0.0022 dBm/  $\mu\epsilon$ . Nilai *span* tertinggi diperoleh pada panjang serat optik *multimode* 44.35 mm. Nilai *span* output untuk panjang serat optik *multimode* 44.35 mm secara teoritis sebesar 2.415 dBm, sedangkan *span* dari hasil eksperimen sebesar 2.3 dBm.

### 2.3 Hasil Perhitungan Sensor *Strain* yang Setelah diberi *Packaging*

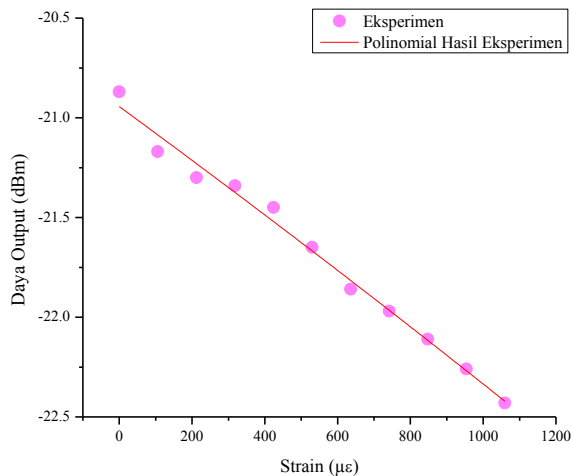
Grafik hasil perhitungan pengujian sensor *strain* yang telah diberi *Packaging* dapat dilihat pada gambar 4.8.



**Gambar 2.8** Hasil Perhitungan *Packaged Fiber Strain Sensor* L MMF = 44.35 mm

Berdasarkan persamaan 2.19, 2.20, dan 2.21 *strain* yang diberikan pada serat optik akan jari-jari pada serat optik *singlemode* dan serat optik *multimode*, indeks bias *core* dan indeks bias *cladding* pada serat optik *singlemode* dan serat optik *multimode* akan berubah semakin kecil. Namun jika dibandingkan antara hasil pengujian *bare fiber strain sensor* dengan *packaged fiber strain sensor*, perubahan jari-jari dan perubahan indeks bias *core* dan *cladding* lebih besar pada saat dilakukan pengujian *strain* pada *bare fiber strain sensor*.

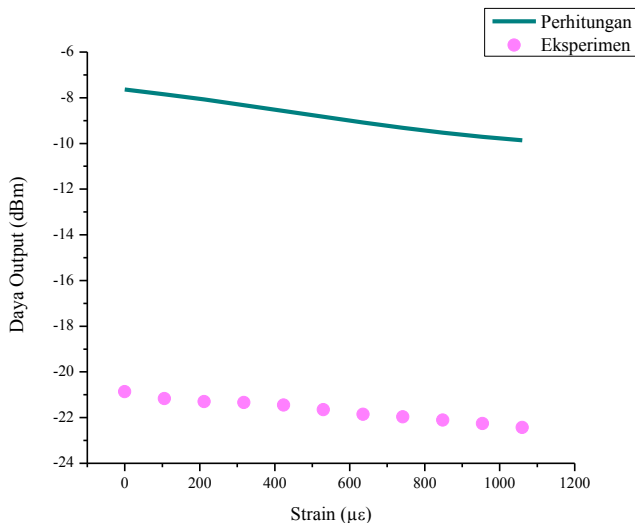
Hal ini disebabkan karena pengaruh dari nilai modulus elastisitas pada material *packaging*. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa semakin besar *strain* yang diberikan pada serat optik maka daya *output* yang dihasilkan akan semakin kecil. Hasil perhitungan pengujian antara *bare fiber strain sensor* dengan *packaged fiber strain sensor* menunjukkan trend yang sama yaitu grafik daya *output* yang dihasilkan semakin kecil ketika *strain* yang diberikan semakin besar. Hal ini disebabkan karena daya keluaran pada sambungan *lead-out* serat optik *Multimode* yang terdeteksi oleh detektor menjauhi titik *self-imaging* pada setiap perubahan *strain* yang diberikan sehingga daya *output* yang dihasilkan semakin rendah, sehingga *loss* yang dihasilkan semakin besar. Hasil eksperimen pengujian *packaged fiber strain sensor* dapat dilihat pada gambar 4.9.



**Gambar 2.9** Hasil Eksperimen *Packaged Fiber Strain Sensor* L MMF = 44.35 mm

Trend grafik hasil pengujian *packaged strain sensor* secara eksperimen menunjukkan bahwa trend grafik daya *output* semakin menurun. Hal ini disebabkan karena daya keluaran pada sambungan *lead-out* serat optik *Multimode* yang terdeteksi oleh detektor menjauhi titik *self-imaging* pada setiap perubahan *strain* yang diberikan sehingga daya *output* yang dihasilkan semakin rendah. Hasil eksperimen pengujian antara *bare fiber strain sensor* dengan *packaged fiber strain sensor* menunjukkan trend yang sama yaitu grafik daya *output* yang dihasilkan semakin kecil ketika *strain* yang diberikan semakin besar.

Grafik perbandingan antara hasil pengujian *packaged fiber strain sensor* baik secara perhitungan maupun eksperimen dapat dilihat pada gambar 4.10.



**Gambar 2.10** Hasil Pengujian *Packaged Fiber Strain Sensor* L MMF = 44.35 mm



Hasil pengujian *packaged fiber strain sensor* jika dibandingkan dengan *bare fiber strain sensor* baik secara perhitungan maupun secara eksperimen menunjukkan trend grafik yang sama yaitu daya *output* yang dihasilkan semakin turun ketika diberi *strain* yang semakin besar. Hal ini terjadi karena daya keluaran pada sambungan *lead-out* serat optik *Multimode* yang terdeteksi oleh detektor menjauhi titik *self-imaging* pada setiap perubahan *strain* yang diberikan sehingga daya *output* yang dihasilkan semakin rendah, akibatnya *loss* yang dihasilkan semakin besar. Terjadi perbedaan selisih nilai daya *output* antara hasil pengujian secara perhitungan maupun secara eksperimen.

Adapun *span* daya *output* yang dihasilkan pada hasil perhitungan ketika diberi *strain* pada *range* 0-1060  $\mu\epsilon$  adalah sebesar 2.225 dBm, *span* hasil eksperimen sebesar 1.56 dBm. Sensitivitas yang dihasilkan pada hasil perhitungan ini adalah sebesar 0.0021 dBm/  $\mu\epsilon$ , sedangkan sensitivitas dari hasil eksperimen adalah sebesar 0.0015 dBm/  $\mu\epsilon$ . Jika ditinjau dari *span* dan sensitivitas, hasil perhitungan menghasilkan nilai *span* dan sensitivitas yang lebih besar dibandingkan dengan nilai *span* dan sensitivitas pada hasil eksperimen. Hal ini disebabkan karena pada pengujian sensor *strain* hasil perhitungan diasumsikan bahwa system sensor memiliki kondisi ideal, yakni tidak ada pengaruh rugi daya akibat sambungan serat optik SMS dan tidak ada pengaruh rugi daya akibat sambungan antara serat optik dengan sumber cahaya maupun rugi daya akibat sambungan antara serat optik dengan detektor.

Karakteristik statik hasil pengujian *packaged fiber strain sensor* baik secara perhitungan dan eksperimen dapat dilihat pada table 4.3.

**Tabel 2.3** Karakteristik Statik *Packaged Fiber Strain Sensor* L MMF = 44.35 mm

Karakteristik Statik Sensor <i>Packaged fiber strain sensor</i>		Perhitungan	Eksperimen	
<i>Range</i>	<i>Input Strain</i> ( $\mu\epsilon$ )	<b>Min</b>	0	0
		<b>Max</b>	1060	1060
	<b>Power Output</b> (dBm)	<b>Min</b>	-9.86	-22.43
		<b>Max</b>	-7.635	-20.87
<i>Span</i>	<i>Input Strain</i> ( $\mu\epsilon$ )	1060	1060	
	<b>Power Output</b> (dBm)	2.225	1.56	
<b>Sensitivitas</b> (dBm/ $\mu\epsilon$ )		0.0021	0.0015	

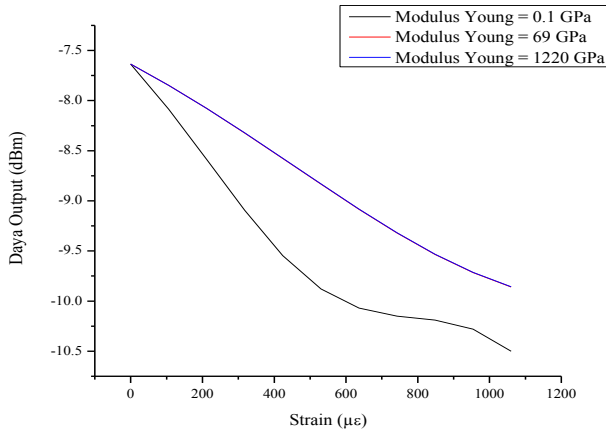
Hasil dari table karakteristik antara *bare fiber strain sensor* dan *packaged fiber strain sensor* pada table 4.2 dan 4.3 pada panjang serat optik *multimode* 44.35 mm dapat dilihat bahwa nilai sensitivitas, *range* dan *span bare fiber strain sensor* lebih besar dibandingkan dengan *packaged fiber strain sensor*, berdasarkan hasil pengujian secara teoritis lebih besar dibandingkan dengan hasil pengujian secara eksperimen. Nilai sensitivitas *bare fiber strain sensor* yang dihasilkan untuk panjang serat optik *multimode* 44.35 mm pada hasil perhitungan ini adalah sebesar 0.0023 dBm/  $\mu\epsilon$ , sedangkan sensitivitas dari hasil eksperimen adalah sebesar 0.0022 dBm/  $\mu\epsilon$ . Nilai *span bare fiber strain sensor* untuk panjang serat optik *multimode* 44.35 mm secara teoritis sebesar 2.415 dBm, sedangkan *span* dari hasil eksperimen sebesar 2.3 dBm.

Nilai sensitivitas *packaged fiber strain sensor* yang dihasilkan untuk panjang serat optik *multimode* 44.35 mm pada hasil perhitungan ini adalah sebesar 0.0021 dBm/  $\mu\epsilon$ , sedangkan sensitivitas dari hasil eksperimen adalah sebesar 0.0015 dBm/  $\mu\epsilon$ . Nilai *span packaged fiber strain sensor* untuk panjang serat optik *multimode* 44.35 mm secara teoritis sebesar 2.225 dBm, sedangkan *span* dari hasil eksperimen sebesar 1.56 dBm. Perbedaan nilai karakteristik statik ini disebabkan karena nilai modulus elastisitas pada *material packaging* yang digunakan untuk sensor *strain*.

Nilai *R Squared* ( $R^2$ ) atau koefisien determinasi berfungsi untuk mengukur ketepatan model dari persamaan regresi pengukuran. Nilai *R Squared* ( $R^2$ ) terletak antara rentang 0-1, dimana nilai *R Squared* ( $R^2$ ) dikatakan baik apabila mendekati 1. Nilai *R Squared* ( $R^2$ ) *bare fiber strain sensor* pada panjang *multimode* 44.35 mm secara simulasi adalah 0.9958 sedangkan secara eksperimen sebesar 0.9666. Nilai *R Squared* ( $R^2$ ) *packaged fiber strain sensor* pada panjang *multimode* 44.35 mm secara simulasi adalah 0.99788 sedangkan secara eksperimen sebesar 0.98662. Hasil perancangan sensor memiliki kecocokan yang baik terhadap regresi *polynomial* karena mendekati 1.

Salah satu parameter penting dalam perancangan sensor *strain* ialah nilai modulus *young* atau biasa disebut juga dengan modulus elastisitas. Modulus *young* adalah hasil perbandingan antara stress dengan *strain*. Dimana nilai modulus *young* ini menunjukkan ukuran kekakuan dari suatu bahan elastis, semakin besar nilai modulus *young* maka material akan bersifat semakin kaku. Elastisitas yaitu kemampuan suatu material untuk kembali ke keadaan atau dimensi awal setelah *strain* dihilangkan.

Hasil perhitungan *packaged fiber strain sensor* berdasarkan variasi nilai modulus *young* pada material dapat dilihat pada gambar 4.11.



**Gambar 2.11** Hasil Perhitungan Pengujian *Packaged Fiber Strain Sensor* Berdasarkan Variasi Nilai Modulus *Young*

Pada table 4.4 dapat dilihat bahwa pada saat modulus elastisitas bernilai 0.1 Gpa maka sensitivitas *packaged fiber strain sensor* sebesar 0.002703 dBm/µε. Pada saat modulus elastisitas bernilai 69 Gpa maka sensitivitas *packaged fiber strain sensor* sebesar 0.002099 dBm/µε. Pada saat modulus elastisitas bernilai 1220 GPa maka sensitivitas *packaged fiber strain sensor* sebesar 0.002097 dBm/µε. Hasil sensitivitas *bare fiber strain sensor* adalah sebesar 0.00228 dBm/µε. Dari hasil perhitungan dapat diketahui bahwasannya nilai modulus elastisitas yang lebih kecil dari nilai modulus elastisitas pada serat optik maka akan meningkatkan sensitivitas dari *packaged strain sensor*.

Karakteristik statik hasil perhitungan *packaged fiber strain sensor* berdasarkan variasi nilai modulus elastisitas dapat dilihat pada table 4.4.

**Tabel 2.4** Karakteristik Statik Pengujian *Packaged Fiber Strain Sensor* Berdasarkan Variasi Nilai Modulus *Young*

Karakteristik Statik <i>Packaged fiber strain sensor</i>			Modulus Elastisitas (Gpa)		
			0.1	69	1220
<i>Range</i>	<i>Input Strain</i> ( $\mu\epsilon$ )	Min	0	0	0
		Max	1060	1060	1060
	<i>Power Output</i> (dBm)	Min	-10.5	-9.86	-9.858
		Max	-7.635	-7.635	-7.635
<i>Span</i>	<i>Input Strain</i> ( $\mu\epsilon$ )	1060	1060	1060	
	<i>Power Output</i> (dBm)	2.865	2.225	2.223	
<b>Sensitivitas (dBm/<math>\mu\epsilon</math>)</b>			0.002703	0.002099	0.002097

Apabila dibandingkan hasil pengujian *bare fiber strain sensor* dengan *packaged fiber strain sensor* maka nilai *span* dan sensitivitas dari hasil *packaged fiber strain sensor* lebih kecil dibandingkan dengan nilai *span* dan sensitivitas pada *bare fiber strain sensor*. Hal ini dikarenakan terdapat pengaruh modulus elastisitas dari material aluminium yaitu sebesar 70 GPa, sedangkan modulus elastisitas pada serat optik adalah sebesar 69 GPa.

Nilai modulus elastisitas dari material *packaging* berupa aluminium yang lebih besar dari nilai modulus elastisitas pada serat optik menyebabkan regangan pada sensor *strain* menjadi terhambat karena aluminium bersifat lebih kaku dibandingkan dengan serat optik. Hal ini dapat diindikasikan dari perubahan jari-jari pada serat optik *singlemode* dan serat optik *multimode* serta perubahan indeks bias *core* dan *cladding* pada *packaged fiber strain sensor* semakin rendah dibandingkan pada *bare fiber strain sensor*. Akibatnya selisih daya *output* yang dihasilkan pada *packaged fiber strain sensor* semakin kecil dan menyebabkan nilai sensitivitas dan *span* pada *packaged fiber strain sensor* lebih kecil dibandingkan nilai sensitivitas dan *span* pada *bare fiber strain sensor*. Apabila ingin merancang *packaged fiber strain sensor* yang menghasilkan nilai sensitivitas *packaged fiber strain sensor* lebih tinggi daripada *bare fiber strain sensor* maka pemilihan material *packaging* maka dilakukan pemilihan material *packaging* yang memiliki nilai *modulus young* lebih kecil dari serat optik.

Pada penelitian ini dilakukan perhitungan standar deviasi (SD) dan *relative* standar deviasi (RSD) yang berfungsi untuk mengetahui baik tidaknya suatu nilai pengukuran maka dilakukan. Standar deviasi menunjukkan penyimpangan data yang diperoleh terhadap nilai rata-rata pengukuran. *Relative* standar deviasi menunjukkan tingkat presisi dari hasil pengukuran. Nilai Standar deviasi dan nilai *relative* standar deviasi dapat dikatakan baik apabila bernilai kecil yang berarti bahwa simpangan antar data pengukuran bernilai kecil sehingga *repeatability* dari pengukuran baik.

Nilai SD yang dihasilkan pada *bare fiber strain sensor* dengan panjang serat optik *multimode* 44.35 mm adalah sebesar 0.05 dan nilai RSD adalah sebesar 0.27 %. Nilai SD yang dihasilkan pada *packaged fiber strain sensor* dengan panjang serat optik *multimode* 44.35 mm adalah sebesar 0,23 dan nilai RSD adalah sebesar 1.05 %. Nilai SD dan RSD baik pada *bare fiber strain sensor* maupun pada *packaged fiber strain sensor* menunjukkan bahwa penyimpangan data tidak jauh terhadap nilai rata-rata pengukuran, sehingga dapat dikatakan bahwa system sensor yang dirancang memiliki nilai *repeatability* yang baik.

Halaman ini memang dikosongkan



## **BAB V**

### **PENUTUP**

#### **1.1 Kesimpulan**

Adapun kesimpulan yang diperoleh dari hasil penelitian ini, antara lain :

1. Perancangan dan pengujian sensor *strain* berbasis optik berstruktur *Singlemode-Multimode-Singlemode* (SMS) telah dilakukan baik secara perhitungan maupun secara eksperimen pada rentang *strain* 0-1060  $\mu\epsilon$ . Serat optik yang digunakan jenis *multimode step index*. Panjang gelombang operasi sumber cahaya yang digunakan adalah 1550 nm.
2. Telah dilakukan pengujian sensor *strain* berstruktur *Singlemode-Multimode-Singlemode* (SMS) menggunakan dua variasi panjang serat optik *multimode* antara lain 59.7 mm dan 44.35 mm. Sensitivitas sensor paling tinggi diperoleh pada panjang serat optik *multimode* 44.35 mm. Hasil pengujian *bare fiber strain sensor* berdasarkan hasil perhitungan sensitivitas sensor *strain* pada panjang 44.35 mm adalah sebesar 0.0023 dBm/ $\mu\epsilon$  dan *span* sebesar 2.415 dBm sedangkan berdasarkan hasil eksperimen sensitivitas sensor sebesar 0.0022 dBm/ $\mu\epsilon$  dan *span* sebesar 2.240 dBm.
3. Telah dilakukan pengujian sensor *strain* yang diberi *packaging* berupa aluminium baik secara perhitungan maupun secara eksperimen. Berdasarkan hasil perhitungan sensitivitas *packaged fiber strain sensor* sebesar 0.0021 dBm/ $\mu\epsilon$  dan *span* sebesar 2.225 dBm sedangkan berdasarkan hasil eksperimen sensitivitas

*packaged fiber strain sensor* sebesar 0.0015 dBm/  $\mu\epsilon$  dan *span* sebesar 1.56 dBm.

4. Hasil pengujian *bare fiber strain sensor* dan *packaged strain sensor* baik secara perhitungan maupun secara eksperimen menghasilkan trend grafik yang sama yaitu semakin besar *strain* yang diberikan pada serat optik maka daya *output* yang terdeteksi oleh detektor semakin kecil.

## 1.2 Saran

Pada penelitian selanjutnya dapat dikembangkan mengenai pemilihan *material packaging* dan pengujian pada sensor *strain* berbasis serat optik SMS baik secara teori maupun secara eksperimen.

## Daftar Pustaka

- [1] Tri, D. (1997). Makalah Alat Ukur. Jakarta: Sekolah Tinggi Ilmu Statistik.
- [2] Hatta, A. M., Semenova, Y., Wu, Q., & Farrell, G. (2010). *Strain* sensor based on a pair of single-mode-multimode-single-mode fiber structures in a ratiometric power measurement scheme. *Applied Optics*, 49(3), 536-541.
- [3] Rong, Q., Qiao, X., Guo, T., Wang, R., Zhang, J., Hu, M., & Ma, Y. (2012). Temperature-calibrated fiber-optic refractometer based on a compact FBG-SMS structure. *Chinese Optics Letters*, 10(3), 030604.
- [4] Wang, P., Semenova, Y., Wu, Q., & Farrell, G. (2011). A fiber-optic voltage sensor based on macrobending structure. *Optics & Laser Technology*, 43(5), 922-925.
- [5] Kumar, A., Marin, E., Meunier, J.P., Antony, S., Varshney. (2004). Simple and novel fiber optik temperature/*strain* sensor using sms structure. France: Dept. of Optics, LTSI UMR CNRS 5516 Bat F, 10 rue Barrouin, 42000 St. Etinne.
- [6] Permana, H. E. (2011). Pengembangan Metode Pengukuran *Strain* menggunakan Serat Optik Berstruktur *Singlemode-Multimode-Singlemode*. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- [7] Choi, B. H., & Kwon, I. B. (2015). Residual *strain* sensor using al-*packaged* optical fiber and brillouin optical correlation domain analysis. *Optics express*, 23(5), 6867-6877.
- [8] Li, H. N., Ren, L., Li, D. S., & Yi, T. H. Design and applications of fiber bragg grating sensors for structural health monitoring.

- [9] Bentley, J. P. (1995). Principles of measurement systems. Pearson Education India.
- [10] Abramczyk. Fundamental of laser molecular spectroscopy. Berlin: Max Born Institute.
- [11] Kumar, A., Varshney, R. K., & Sharma, P. (2003). Transmission characteristics of SMS fiber optic sensor structures. Optics Communications, 219(1), 215-219.
- [12] Hatta, A. M. (2009). *Singlemode-Multimode-Singlemode* Optical Fibre Structures for Optical Sensing. Doctoral, 21.
- [13] Saleh, B. E., Teich, M. C., & Saleh, B. E. (1991). Fundamentals of photonics(Vol. 22). New York: Wiley.
- [14] Wen, Q., Zhu, J., Gong, S., Huang, J., Gu, H., & Zhao, P. (2008). Design and synthesis of a *packaging* polymer enhancing the sensitivity of fiber grating pressure sensor. Progress in natural science, 18(2), 197-200.
- [15] Goel, A. Estimating the Mechanical Reliability of Optical Fiber. Sterlite Technologies Ltd., India.
- [16] Cobden, R., & Banbury, A. (1994). Aluminium: physical properties, characteristics and alloys. Talat lecture, 1501, 19-26.
- [17] S. F. L. Company. (n.d). Weldable FBG Sensor. Retrieved from <https://smartfibres.com/docs/SmartPatch.pdf>
- [18] S. F. L. Company. (n.d). Smart Fibres. Retrieved from <https://smartfibres.com/docs/SmartPatch.pdf>
- [19] Dadpay, C. (2008). Theoretical and experimental analysis of *strain* transfer rate in coated fiber bragg grating *strain* sensors (Doctoral dissertation, Concordia University Montreal, Quebec, Canada).

## LAMPIRAN A

### DATA PENELITIAN

#### A.1 Data Penelitian Hasil Pengujian *Bare fiber strain sensor* pada Panjang Serat Optik *Multimode 59.7 mm*

**Tabel A.1** Nilai Standard Deviasi dan Relatif Standard Deviasi *Bare fiber strain sensor* pada *L Multimode = 59.7 mm*

<i>Strain</i> ( $\mu\epsilon$ )	<i>Daya Output</i> (dBm)			<i>Rata-Rata</i>	<i>Standard Deviasi</i>	<i>Relative Standard Deviasi</i>
	1	2	3			
0	-17.59	-17.59	-17.59	-17.59	0.0006	0.0033
125	-17.57	-17.57	-17.57	-17.57	0.0006	0.0033
250	-17.54	-17.54	-17.54	-17.54	0.0000	0.0000
375	-17.54	-17.53	-17.53	-17.53	0.0006	0.0033
500	-17.51	-17.51	-17.51	-17.51	0.0000	0.0000
625	-17.51	-17.51	-17.51	-17.51	0.0006	0.0033
750	-17.50	-17.50	-17.50	-17.50	0.0006	0.0033
875	-17.51	-17.51	-17.51	-17.51	0.0000	0.0000
1000	-17.50	-17.50	-17.50	-17.50	0.0000	0.0000
1125	-17.51	-17.51	-17.50	-17.50	0.0006	0.0033
1250	-17.50	-17.50	-17.50	-17.50	0.0006	0.0033
<b>Rata-Rata</b>					0.0004	0.0021

**Tabel A.2** Pengujian *Bare fiber strain sensor* pada L  
*Multimode* = 59.7 mm

Displacement ( $\mu\epsilon$ )	Strain ( $\mu\epsilon$ )	Daya Output (dBm)	
		Simulasi	Eksperimen
0	0	-11.69	-17.591
10	125	-11.53	-17.754
20	250	-11.43	-17.544
30	375	-11.36	-17.534
40	500	-11.32	-17.511
50	625	-11.29	-17.512
60	750	-11.25	-17.503
70	875	-11.2	-17.51
80	1000	-10.85	-17.497
90	1125	-10.68	-17.506
100	1250	-10.5	-17.505

**A.2 Data Penelitian Hasil Pengujian *Bare fiber strain sensor* pada Panjang Serat Optik *Multimode* 44.35 mm**

**Tabel A.3** Nilai Standard Deviasi dan Relatif Standard Deviasi *Bare fiber strain sensor* pada L *Multimode* = 44.35 mm

<i>Strain</i> ( $\mu\epsilon$ )	<i>Daya Output</i> (dBm)			<i>Rata-Rata</i>	<i>Standard Deviasi</i>	<i>Relative Standard Deviasi</i>
	1	2	3			
0	-15.98	-15.81	-15.89	-15.89	0.09	0.54
106	-16.11	-15.93	-16.05	-16.03	0.09	0.57
212	-16.41	-16.27	-16.35	-16.34	0.07	0.43
318	-16.86	-16.72	-16.82	-16.80	0.07	0.43
424	-17.34	-17.21	-17.30	-17.28	0.07	0.39
530	-17.76	-17.66	-17.76	-17.73	0.06	0.33
636	-18.00	-18.00	-18.03	-18.01	0.02	0.10
742	-18.14	-18.13	-18.12	-18.13	0.01	0.06
848	-18.14	-18.14	-18.12	-18.13	0.01	0.06
954	-18.15	-18.14	-18.15	-18.15	0.01	0.03
1060	-18.19	-18.20	-18.18	-18.19	0.01	0.05
<b>Rata-Rata</b>					0.05	0.27

**Tabel A.4** Pengujian *Bare fiber strain sensor* pada L  
*Multimode* = 44.35 mm

Displacement ( $\mu\text{m}$ )	Strain ( $\mu\epsilon$ )	Daya Output (dBm)	
		Simulasi	Eksperimen
0	0	-7.635	-15.89
10	106	-7.893	-16.03
20	212	-8.178	-16.364
30	318	-8.478	-16.812
40	424	-8.786	-17.29
50	530	-9.088	-17.74
60	636	-9.369	-18.012
70	742	-9.615	-18.13
80	848	-9.813	-18.13
90	954	-9.956	-18.144
100	1060	-10.05	-18.19



**Tabel A.5** Hasil Perhitungan Perubahan Jari-Jari dan Indeks Bias pada Serat Optik *Multimode (Bare fiber strain sensor)* L *Multimode* = 44.35 mm

<i>Strain</i> ( $\mu\epsilon$ )	<b>Perubahan Jari-Jari <i>Multimode</i></b>	<b>Perubahan Indeks Bias <i>Core Multimode</i></b>	<b>Perubahan Indeks Bias <i>Cladding Multimode</i></b>
0	0.0000	0.00000	0.00000
106	-0.0009	-0.00003	-0.00003
212	-0.0018	-0.00007	-0.00006
318	-0.0027	-0.00010	-0.00009
424	-0.0036	-0.00013	-0.00012
530	-0.0045	-0.00017	-0.00015
636	-0.0053	-0.00020	-0.00018
742	-0.0062	-0.00024	-0.00021
848	-0.0071	-0.00027	-0.00024
954	-0.0080	-0.00030	-0.00027
1060	-0.0089	-0.00034	-0.00030

**Tabel A.6** Hasil Perhitungan Perubahan Jari-Jari dan Indeks Bias pada Serat Optik *Singlemode* (*Bare fiber strain sensor*) L *Multimode* = 44.35 mm

<b><i>Strain</i></b> <b>(<math>\mu\epsilon</math>)</b>	<b>Perubahan Jari-Jari <i>Singlemode</i></b>	<b>Perubahan Indeks Bias <i>Core</i> <i>Singlemode</i></b>	<b>Perubahan Indeks Bias <i>Cladding</i> <i>Singlemode</i></b>
0.0000	0.00000	0.00000	0.00000
-0.0009	-0.00007	-0.00003	-0.00003
-0.0018	-0.00014	-0.00007	-0.00007
-0.0027	-0.00021	-0.00010	-0.00010
-0.0036	-0.00028	-0.00014	-0.00013
-0.0045	-0.00035	-0.00017	-0.00017
-0.0053	-0.00042	-0.00020	-0.00020
-0.0062	-0.00049	-0.00024	-0.00024
-0.0071	-0.00056	-0.00027	-0.00027
-0.0080	-0.00063	-0.00030	-0.00030
-0.0089	-0.00070	-0.00034	-0.00034

### A.3 Data Penelitian Hasil Pengujian *Packaged fiber strain sensor*

**Tabel A.7** Nilai Standard Deviasi dan Relatif Standard Deviasi *Packaged fiber strain sensor* pada *L Multimode* = 44.35 mm

<i>Strain</i> ( $\mu\epsilon$ )	<i>Daya Output</i> (dBm)			<i>Rata-Rata</i>	<i>Standard Deviasi</i>	<i>Relative Standard Deviasi</i>
	1	2	3			
0	-20.87	-20.85	-20.85	-20.86	0.01	0.06
106	-21.17	-20.87	-20.87	-20.97	0.17	0.83
212	-21.3	-20.89	-20.89	-21.03	0.24	1.13
318	-21.34	-20.98	-20.9	-21.07	0.23	1.11
424	-21.45	-21.14	-21.12	-21.24	0.19	0.87
530	-21.65	-21.35	-21.33	-21.44	0.18	0.84
636	-21.86	-21.39	-21.4	-21.55	0.27	1.25
742	-21.97	-21.46	-21.46	-21.63	0.29	1.36
848	-22.11	-21.59	-21.57	-21.76	0.31	1.41
954	-22.26	-21.68	-21.8	-21.91	0.31	1.40
1060	-22.43	-21.9	-21.94	-22.09	0.30	1.34
<b>Rata-Rata</b>					0.23	1.05

**Tabel A.8** Pengujian *Packaged fiber strain sensor* pada L  
*Multimode* = 44.35 mm

Displacement ( $\mu\text{m}$ )	Strain ( $\mu\epsilon$ )	Daya Output (dBm)	
		Simulasi	Eksperimen
0	0	-7.635	-20.87
10	106	-7.847	-21.17
20	212	-8.078	-21.3
30	318	-8.323	-21.34
40	424	-8.577	-21.45
50	530	-8.833	-21.65
60	636	-9.084	-21.86
70	742	-9.321	-21.97
80	848	-9.534	-22.11
90	954	-9.716	-22.26
100	1060	-9.86	-22.43

**Tabel A.9** Hasil Perhitungan Perubahan Jari-Jari dan Indeks Bias pada Serat Optik *Singlemode (Packaged fiber strain sensor)* L *Multimode* = 44.35 mm

<b><i>Strain</i></b> ( $\mu\epsilon$ )	<b>Perubahan Jari-Jari <i>Multimode</i></b>	<b>Perubahan Indeks Bias <i>Core Multimode</i></b>	<b>Perubahan Indeks Bias <i>Cladding Multimode</i></b>
0	0.0000	0.0000000	0.0000000
106	-0.0010	-0.0000002	-0.0000002
212	-0.0019	-0.0000005	-0.0000005
318	-0.0029	-0.0000007	-0.0000007
424	-0.0039	-0.0000010	-0.0000009
530	-0.0048	-0.0000012	-0.0000012
636	-0.0058	-0.0000014	-0.0000014
742	-0.0068	-0.0000017	-0.0000017
848	-0.0077	-0.0000019	-0.0000019
954	-0.0087	-0.0000022	-0.0000021
1060	-0.0097	-0.0000024	-0.0000024

**Tabel A.10** Hasil Perhitungan Perubahan Jari-Jari dan Indeks Bias pada Serat Optik *Singlemode* (*Packaged Strain Sensor*) L *Multimode* = 44.35 mm

<i>Strain</i> ( $\mu\epsilon$ )	<b>Perubahan Jari-Jari <i>Singlemode</i></b>	<b>Perubahan Indeks Bias <i>Core Singlemode</i></b>	<b>Perubahan Indeks Bias <i>Cladding Singlemode</i></b>
0	0.0000	0.0000000	0.0000000
106	-0.0001	-0.0000002	-0.0000002
212	-0.0002	-0.0000005	-0.0000005
318	-0.0002	-0.0000007	-0.0000007
424	-0.0003	-0.0000010	-0.0000010
530	-0.0004	-0.0000012	-0.0000012
636	-0.0005	-0.0000014	-0.0000014
742	-0.0005	-0.0000017	-0.0000017
848	-0.0006	-0.0000019	-0.0000019
954	-0.0007	-0.0000022	-0.0000022
1060	-0.0008	-0.0000024	-0.0000024

**Tabel A.11** Hasil Perhitungan *Packaged fiber strain sensor*  
Berdasarkan Variasi Nilai Modulus *Young*

<b>Data Berdasarkan Modulus <i>Young</i></b>			
<b><i>Strain</i> (<math>\mu\epsilon</math>)</b>	<b>Daya Output (dBm)</b>		
	<b>Modulus <i>Young</i> = 0.1 (Gpa)</b>	<b>Modulus <i>Young</i> = 69 (Gpa)</b>	<b>Modulus <i>Young</i> = 1220 (Gpa)</b>
0	-7.635	-7.635	-7.635
106	-8.085	-7.847	-7.847
212	-8.587	-8.078	-8.078
318	-9.095	-8.323	-8.322
424	-9.546	-8.577	-8.576
530	-9.879	-8.833	-8.831
636	-10.07	-9.084	-9.082
742	-10.15	-9.321	-9.319
848	-10.19	-9.534	-9.532
954	-10.28	-9.716	-9.714
1060	-10.5	-9.86	-9.858

Halaman ini memang dikosongkan



## LAMPIRAN B SPESIFIKASI ALAT

### B.1 Spesifikasi Serat *Multimode Step-Index* AFS105/125

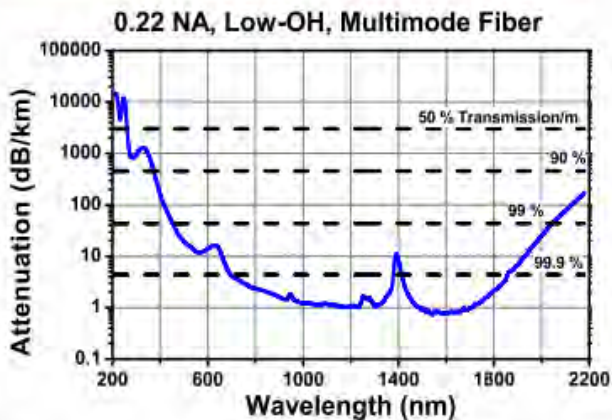
#### *Specifications*

Geometrical & Mechanical	
Core Diameter	105 $\mu\text{m} \pm 2\%$
Cladding Diameter	125 +1 / -3 $\mu\text{m}$
Coating Diameter	250 $\mu\text{m} \pm 5\%$
Core/Clad Ratio	1.2
Coating Material	Acrylate
Operating Temperature	-40 to 85 $^{\circ}\text{C}$
Minimum Bend Radius	120 x Clad (Recommended Short Term) 240 x Clad (Recommended Long Term)
Proof Test Level (bend method)	100 kpsi

Optical	
Numerical Aperture	0.22 $\pm$ 0.02
Attenuation	15 dB/km @ 633 nm 10 dB/km @ 1385 nm

#### *Performance Plots*



## B.2 Spesifikasi Serat *Singlemode Step-Index* SMF-28e

### Optical Specifications

#### Fiber Attenuation

##### Maximum Attenuation

Wavelength (nm)	Maximum Value* (dB/km)
1310	0.33 – 0.35
1383**	0.31 – 0.35
1550	0.19 – 0.20
1625	0.20 – 0.23

\*Maximum specified attenuation value available within the stated ranges.

\*\*Attenuation values at this wavelength represent post-hydrogen aging performance.

Alternate attenuation offerings available upon request.

##### Attenuation vs. Wavelength

Range (nm)	Ref. $\lambda$ (nm)	Max. $\alpha$ Difference (dB/km)
1285 – 1330	1310	0.03
1525 – 1575	1550	0.02

The attenuation in a given wavelength range does not exceed the attenuation of the reference wavelength ( $\lambda$ ) by more than the value  $\alpha$ .

##### Macrobend Loss

Mandrel Diameter (mm)	Number of Turns	Wavelength (nm)	Induced Attenuation* (dB)
32	1	1550	$\leq 0.05$
50	100	1310	$\leq 0.05$
50	100	1550	$\leq 0.05$
60	100	1625	$\leq 0.05$

\*The induced attenuation due to fiber wrapped around a mandrel of a specified diameter.

##### Point Discontinuity

Wavelength (nm)	Point Discontinuity (dB)
1310	$\leq 0.05$
1550	$\leq 0.05$

#### Cable Cutoff Wavelength ( $\lambda_{ccf}$ )

$$\lambda_{ccf} \leq 1260 \text{ nm}$$

#### Mode-Field Diameter

Wavelength (nm)	MFD ( $\mu\text{m}$ )
1310	$9.2 \pm 0.4$
1550	$10.4 \pm 0.5$

#### Dispersion

Wavelength (nm)	Dispersion Value [ps/(nm $\cdot$ km)]
1550	$\leq 18.0$
1625	$\leq 22.0$

Zero Dispersion Wavelength ( $\lambda_0$ ):  $1302 \text{ nm} \leq \lambda_0 \leq 1322 \text{ nm}$

Zero Dispersion Slope ( $S_0$ ):  $\leq 0.089 \text{ ps}/(\text{nm}^2 \cdot \text{km})$

#### Polarization Mode Dispersion (PMD)

	Value (ps $\sqrt$ /km)
PMD Link Design Value	$\leq 0.06^*$
Maximum Individual Fiber	$\leq 0.2$

\*Complies with IEC 60794-3: 2001, Section 5.5, Method 1, ( $m = 20$ ,  $Q = 0.01\%$ ), September 2001.

The PMD link design value is a term used to describe the PMD of concatenated lengths of fiber (also known as  $\text{PMD}_{\text{link}}$ ). This value represents a statistical upper limit for total link PMD. Individual PMD values may change when fiber is cabled. Corning's fiber specification supports network design requirements for a 0.20 ps $\sqrt$ /km maximum PMD.

## Dimensional Specifications

### Glass Geometry

Fiber Curl	$\geq 4.0$ m radius of curvature
Cladding Diameter	$125.0 \pm 0.7$ $\mu\text{m}$
Core-Clad Concentricity	$\leq 0.5$ $\mu\text{m}$
Cladding Non-Circularity	$\leq 0.7\%$

### Coating Geometry

Coating Diameter	$245 \pm 5$ $\mu\text{m}$
Coating-Cladding Concentricity	$<12$ $\mu\text{m}$

## Environmental Specifications

Environmental Test	Test Condition	Induced Attenuation
		1310 nm, 1550 nm & 1625 nm (dB/km)
Temperature Dependence	$-60^{\circ}\text{C}$ to $+85^{\circ}\text{C}^*$	$\leq 0.05$
Temperature Humidity Cycling	$-10^{\circ}\text{C}$ to $+85^{\circ}\text{C}^*$ up to 98% RH	$\leq 0.05$
Water Immersion	$23^{\circ} \pm 2^{\circ}\text{C}$	$\leq 0.05$
Heat Aging	$85^{\circ} \pm 2^{\circ}\text{C}^*$	$\leq 0.05$
Damp Heat	$85^{\circ}\text{C}$ at 85% RH	$\leq 0.05$

\*Reference temperature =  $+23^{\circ}\text{C}$

Operating Temperature Range:  $-60^{\circ}\text{C}$  to  $+85^{\circ}\text{C}$

## B.3 Spesifikasi Optical Power Meter PM100D

**THORLABS**

### Specifications

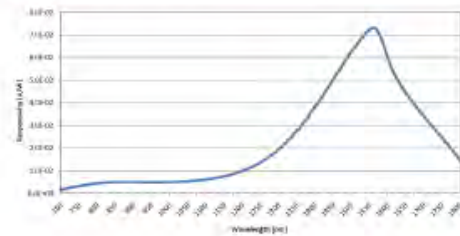
Detector Type	Germanium Photodiode
Wavelength Range	700 - 1800 nm
Optical Power Working Range	50 nW - 40 mW
Max Average Power Density	10 W/cm <sup>2</sup>
Max Pulse Energy	20 µJ
Linearity	± 0.5%
Resolution 1)	2nW
Measurement Uncertainty 2)	±3%
Typical Application	Low Power Lasers
Laser Types	Diode, Diode Arrays, He-Ne, Dye, Ion Lasers (Ar+, Kr+)
Coating /Diffuser	Absorptive ND (Schott NG9)
Cooling	Convection
Head Temperature Measurement	NTC Thermistor 4.7kΩ
Console Compatibility	PM100D, PM100A, PM100USB, PM200, PM320E
Response Time	< 1 µs
Sensor Dimensions	Ø30.5 mm x 12.7 mm
Active Detector Area	9.7 mm x 9.7 mm
Input Aperture	Ø9.5 mm
Cable Length	1.5 m
Connector	Sub-D 9p male
Weight	0.07 kg
Post	#8-32 thread, M4 adapter included
Aperture Thread	M11, outer thread
Fiber Adapters (optional)	FC, SC, LC, SMA, ST

1) Measured with PM100D console in benchtop222 low setting.

2) Beam diameter > 1mm

Please note that the S122C power meter head is not compatible with the older Thorlabs power meter consoles (PM100, PM30, PM300, PM500E, S100).

### Typical Response Graph



US, Canada, & South America: +1-973-079-7227 | Europe: +49 (0) 8131-9996-0 | UK & Ireland: +44 (0)1352-654440  
 France: +33 (0) 920 444 844 | Scandinavia: +46-31-733-30-00 | Japan & Asia: +81-3-5979-8289 | China: +86 021-62961122

www.thorlabs.com

08-Apr-13  
 18339-501, Rev B

## BIODATA PENULIS



Penulis bernama Damayanti Sari, lahir pada tanggal 8 November 1993, Tasikmalaya. Riwayat pendidikan formal penulis dimulai dari SDN Jagir I Surabaya, dilanjutkan pendidikan menengah pertama di SMP Negeri 39 Surabaya dan pendidikan menengah atas di SMA Negeri 14 Surabaya, kemudian penulis melanjutkan ke jenjang perguruan tinggi di Jurusan D-III Metrologi dan Instrumentasi pada tahun 2011 dan melanjutkan pendidikan S1 Teknik Fisika, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember pada tahun 2014. Selama terdaftar sebagai mahasiswa, penulis aktif sebagai anggota Departemen Prodikesma, Himpunan Mahasiswa Teknik Fisika ITS dan penulis juga aktif sebagai asisten laboratorium fotonika. Penulis pernah melakukan kerja praktek di PT. Pertamina RU-VI Balongan. Bidang minat yang diambil penulis adalah Rekayasa Fotonika sehingga penulis mengambil tugas akhir dengan judul “Pengaruh *Packaging* Aluminium pada Sensor *Strain* Berbasis Serat Optik Berstruktur *Singlemode-Multimode-Singlemode* (SMS)”.

Halaman ini memang dikosongkan