



**TUGAS AKHIR - TF 141581**

**RANCANG BANGUN SENSOR *SPECIFIC GRAVITY* MINYAK BUMI BERBASIS SERAT OPTIK PLASTIK DENGAN CACAT STRUKTUR**

**JUNIVAN SULISTIANTO**  
NRP 2412 100 067

Dosen Pembimbing  
Agus Muhamad Hatta, S.T., M.Si., Ph.D.  
Prof. Dr. Ir. Sekartedjo, M.Sc.

**JURUSAN TEKNIK FISIKA**  
Fakultas Teknologi Industri  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya  
2016



FINAL PROJECT - TF 141581

***CRUDE OIL SPECIFIC GRAVITY SENSOR  
DESIGN USING POLYMER OPTICAL FIBER  
WITH STRUCTURAL IMPERFECTIONS***

JUNIVAN SULISTIANTO  
NRP 2412 100 067

Supervisor  
Agus Muhamad Hatta, S.T., M.Si., Ph.D.  
Prof. Dr. Ir. Sekartedjo, M.Sc.

DEPARTMENT OF ENGINEERING PHYSICS  
Faculty of Industrial Technology  
Sepuluh Nopember Institute of Technology  
Surabaya  
2016

**LEMBAR PENGESAHAN  
RANCANG BANGUN SENSOR *SPECIFIC GRAVITY*  
MINYAK BUMI BERBASIS SERAT OPTIK PLASTIK  
DENGAN cacat STRUKTUR**

**TUGAS AKHIR**


**Oleh**

**Junivan Sulistiano  
NRP 2412 100 067**

**Surabaya, 20 Juli 2016**

**Menyetujui,  
Dosen Pembimbing I**

**Menyetujui,  
Dosen Pembimbing II**

  
**Agus M Hatta, S.T., M.Si., Ph.D.  
NIPN. 197809022003121002**

  
**Prof. Dr. Ir. Sekartedjo, M.Sc.  
NIPN. 195004021979011001**

**Mengetahui,  
Ketua Jurusan  
Teknik Fisika FTI-ITS**

  
**Agus M Hatta, S.T., M.Si., Ph.D.  
NIPN. 197809022003121002**

**LEMBAR PENGESAHAN**  
**RANCANG BANGUN SENSOR *SPECIFIC GRAVITY***  
**MINYAK BUMI BERBASIS SERAT OPTIK PLASTIK**  
**DENGAN CACAT STRUKTUR**






**TUGAS AKHIR**

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

Oleh:

**Junivan Sulistianto**  
**NRP 2412 100 067**

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir:

- |  |   |                 |
|--|---|-----------------|
| 1. Agus M. Hatta, S.T., M.Si., Ph.D.       |    | (Pembimbing I)  |
| 2. Prof. Dr. Ir. Sekartedjo, M.Sc.         |    | (Pembimbing II) |
| 3. Dr.rer.nat.Ir.Aulia M.T.Nasution, M.Sc. |   | (Penguji I)     |
| 4. Detak Yan Pratama, S.T, M.Sc.           |  | (Penguji II)    |
| 5. Lizda Johar Mawarni, S.T, M.T.          |  | (Penguji III)   |

**SURABAYA**  
**2016**

# RANCANG BANGUN SENSOR *SPECIFIC GRAVITY* MINYAK BUMI BERBASIS SERAT OPTIK PLASTIK DENGAN CACAT STRUKTUR

**Nama Mahasiswa** : Junivan Sulistianto  
**NRP** : 2412 100 067  
**Jurusan** : Teknik Fisika FTI-ITS  
**Dosen Pembimbing** : Agus M. Hatta, S.T., M.Si., Ph.D.  
Prof. Dr. Ir. Sekartedjo, M.Sc.

## ABSTRAK

Minyak bumi merupakan produk yang dihasilkan pada industri minyak dan gas. Salah satu parameter yang terdapat pada minyak bumi adalah *specific gravity*. Pada industri minyak dan gas, *specific gravity* digunakan untuk mengklasifikasikan minyak bumi yang akan diproduksi. *Specific gravity* dapat diukur dengan menggunakan metode ASTM D-1298. Kekurangan metode ini adalah memerlukan pengondisian lingkungan khusus dan pembacaan alat yang masih manual. Pada penelitian ini telah dilakukan rancang bangun sensor *specific gravity* pada minyak bumi dengan menerapkan cacat struktur untuk meningkatkan kinerja sensor *specific gravity*. Pada penelitian ini serat optik plastik digunakan sebagai sensor untuk mengukur *specific gravity* minyak bumi. Terdapat 5 variasi jumlah cacat yang diuji pada penelitian ini, yaitu 1, 2, 3, 4 dan 5 cacat struktur. Berdasarkan hasil pengujian sensor dengan 3 variasi jumlah cacat dan satu serat optik tanpa cacat terhadap 5 sampel minyak bumi dengan rentang nilai *specific gravity* 0,8422 – 0,9097, didapatkan bahwa sensor dengan jumlah cacat sebanyak 3 buah memiliki kinerja yang terbaik dengan nilai lineritas sebesar 0,9438 dan rentang perubahan daya sebesar 1,757 dBm.

**Kata kunci** – Sensor *Specific Gravity*, Serat Optik Plastik, Cacat Struktur, Minyak Bumi

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

# **CRUDE OIL SPECIFIC GRAVITY SENSOR DESIGN USING POLYMER OPTICAL FIBER WITH STRUCTURAL IMPERFECTIONS**

**Student Name** : Junivan Sulistianto  
**NRP** : 2412 100 067  
**Department** : Teknik Fisika FTI-ITS  
**Supervisor** : Agus M. Hatta, S.T., M.Si., Ph.D.  
Prof. Dr. Ir. Sekartedjo, M.Sc.

## **ABSTRACT**

*Crude oil is a products of oil and gas industries. One of the parameters which has in crude oil is specific gravity. In the oil and gas industries, specific gravity is used to classify crude oil which to be produced. specific gravity can be measured using ASTM D-1298 method. Disadvantage of this method is there are need of special environments and still using manual transcription. This research has been conducted a crude oil specific gravity sensor design by implementing structural imperfect to improve the performance of specific gravity sensors. In this research, polymer optical fiber is used as a sensor to measure specific gravity of crude oil. There are five variation of the amount of defect that were used in this research. Sample which used in this research has span of specific gravity value from 0,8422 to 0,9097. Based on the result, sensor with 3 imperfect structure have the best performance with linearity coefficient value 0,9438 and the span of measurement is 1,757 dBm.*

**Keyword:** *Specific Gravity Sensor, Polymer Optical Fiber, Imperfect Structure, Crude Oil*

*Halaman ini sengaja dikosongkan*



## DAFTAR ISI

<b>HALAMAN JUDUL</b>	
<b>LEMBAR PENGESAHAN</b>	
<b>ABSTRAK</b>	<b>v</b>
<b><i>ABSTRACT</i></b>	<b>vii</b>
<b>KATA PENGANTAR</b>	<b>ix</b>
<b>DAFTAR ISI</b>	<b>xi</b>
<b>DAFTAR GAMBAR</b>	<b>xiii</b>
<b>DAFTAR TABEL</b>	<b>xv</b>
<b>BAB I – PENDAHULUAN</b>	<b>1</b>
1.1 Latar belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Batasan Masalah	3
1.4 Tujuan dan Manfaat Penelitian	3
1.5 Sistematika Laporan	3
<b>BAB II – TINJAUAN PUSTAKA</b>	<b>5</b>
2.1 <i>Total Internal Reflection</i>	5
2.2 Serat Optik Plastik	8
2.3 <i>Specific Gravity</i>	9
2.4 <i>Numerical Aperture Mismatchloss</i>	10
2.5 Cacat Struktur pada Serat Optik	11
2.6 Hubungan antara Indeks Bias Minyak Bumi dengan <i>Specific Gravity</i>	12
<b>BAB III – METODOLOGI PENELITIAN</b>	<b>15</b>
3.1 Persiapan Alat dan Bahan	15
3.2 Langkah-langkah Penelitian	15
3.2.1 Studi Literatur	16
3.2.2 Pengukuran <i>Specific Gravity</i> Sampel	16
3.2.3 Karakterisasi Sumber Cahaya LED biru	18
3.2.4 Perancangan Sensor	19
3.2.5 Pengujian Sensor	22

<b>BAB IV – ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN</b>	<b>25</b>
4.1 Hasil Perbandingan <i>Specific Gravity</i> dengan Numerical Aperture	26
4.2 Hasil Karakterisasi Sumber Cahaya	26
4.3 Data Pengukuran <i>Specific Gravity</i> Minyak Bumi	27
4.4 Data Respon Daya Sensor Serat Optik dengan Cacat Struktur	28
4.5 Hasil Pengujian Sensor dengan Variasi Jumlah Cacat Struktur	32
<b>BAB V – PENUTUP</b>	<b>43</b>
5.1 Kesimpulan	43
5.2 Saran	43
<b>DAFTAR PUSTAKA</b>	<b>45</b>
<b>LAMPIRAN A</b>	
<b>LAMPIRAN B</b>	
<b>BIODATA PENULIS</b>	

## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar 2.1</b> Penjalaran cahaya jika $n_1 < n_2$	6
<b>Gambar 2.2</b> Penjalaran cahaya jika $n_1 > n_2$	6
<b>Gambar 2.3</b> <i>Total internal reflection</i>	7
<b>Gambar 2.4</b> Pemanduan cahaya di dalam serat optik	7
<b>Gambar 2.5</b> Struktur serat optik	8
<b>Gambar 2.6</b> Perbandingan diameter antara serat optik kaca dengan serat optik plastik	9
<b>Gambar 2.7</b> NA <i>mismatch loss</i>	11
<b>Gambar 2.8</b> Pengurangan nilai NA dengan konfigurasi cacat struktur yang berbeda	12
<b>Gambar 2.9</b> Grafik hubungan antara indeks bias dengan $^{\circ}$ API	13
<b>Gambar 3.1</b> Diagram alir penelitian	16
<b>Gambar 3.2</b> Pengukuran <i>specific gravity</i> minyak bumi	17
<b>Gambar 3.3</b> Karakterisasi sumber cahaya	18
<b>Gambar 3.4</b> Dimensi cacat pada sensor dengan variasi 1 cacat	19
<b>Gambar 3.5</b> Dimensi cacat pada sensor dengan variasi 2 cacat	20
<b>Gambar 3.6</b> Dimensi cacat pada sensor dengan variasi 3 cacat	20
<b>Gambar 3.7</b> Dimensi cacat pada sensor dengan variasi 4 cacat	21
<b>Gambar 3.8</b> Dimensi cacat pada sensor dengan variasi 5 cacat	21
<b>Gambar 3.9</b> Setup penelitian	21
<b>Gambar 3.10</b> Tampilan software Thorlab PM100D	22
<b>Gambar 4.1</b> Karakterisasi LED	27
<b>Gambar 4.2</b> Pengondisian sampel minyak bumi	28
<b>Gambar 4.3</b> <i>Cladding</i> serat optik sebelum dikupas	29
<b>Gambar 4.4</b> <i>Cladding</i> serat optik yang telah dikupas	29
<b>Gambar 4.5</b> Hubungan perubahan daya dan <i>specific gravity</i> sensor tanpa cacat	33

<b>Gambar 4.6</b> Hubungan perubahan dan <i>specific gravity</i> sensor dengan 1 cacat	35
<b>Gambar 4.7</b> Hubungan perubahan dan <i>specific gravity</i> sensor dengan 2 cacat	36
<b>Gambar 4.8</b> Hubungan perubahan dan <i>specific gravity</i> sensor dengan 3 cacat	37
<b>Gambar 4.9</b> Hubungan perubahan dan <i>specific gravity</i> sensor dengan 4 cacat	39
<b>Gambar 4.10</b> Hubungan perubahan dan <i>specific gravity</i> sensor dengan 5 cacat	40
<b>Gambar 4.11</b> Pengukuran dengan sampel lain	41

## DAFTAR TABEL

<b>Tabel 2.1</b> Klasifikasi minyak bumi	10
<b>Tabel 4.1</b> Perbandingan <i>specific gravity</i> dengan <i>numerical aperture</i>	26
<b>Tabel 4.2</b> Nilai <i>specific gravity</i> sampel minyak bumi	28
<b>Tabel 4.3</b> Nilai daya sensor dengan 1 cacat struktur	30
<b>Tabel 4.4</b> Nilai daya sensor dengan 2 cacat struktur	30
<b>Tabel 4.5</b> Nilai daya sensor dengan 3 cacat struktur	30
<b>Tabel 4.6</b> Nilai daya sensor dengan 4 cacat struktur	31
<b>Tabel 4.7</b> Nilai daya sensor dengan 5 cacat struktur	31
<b>Tabel 4.8</b> Hasil pengukuran daya serat optik tanpa cacat struktur	32
<b>Tabel 4.9</b> Hasil pengukuran daya serat optik dengan cacat 1 buah	34
<b>Tabel 4.10</b> Hasil pengukuran daya serat optik dengan cacat 2 buah	35
<b>Tabel 4.11</b> Hasil pengukuran daya serat optik dengan cacat 3 buah	37
<b>Tabel 4.12</b> Hasil pengukuran daya serat optik dengan cacat 4 buah	38
<b>Tabel 4.13</b> Hasil pengukuran daya serat optik dengan cacat 5 buah	39

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

# BAB I

## PENDAHULUAN

Pada bab ini akan dibahas mengenai latar belakang dan permasalahan yang akan diselesaikan. Selain itu juga akan dijelaskan mengenai tujuan dan manfaat dari tugas akhir ini.

### 1.1 Latar Belakang

Minyak bumi merupakan produk yang dihasilkan pada industri minyak dan gas. Setelah diambil dari kerak bumi, minyak bumi diolah untuk dijadikan berbagai jenis bahan bakar. Salah satu parameter yang terdapat pada minyak bumi adalah *specific gravity*. Pada industri minyak dan gas, *specific gravity* digunakan untuk mengklasifikasikan minyak bumi yang akan diproduksi. Derajat API digunakan sebagai pengukuran *specific gravity*. Semakin tinggi nilai API dari suatu minyak bumi maka minyak bumi tersebut termasuk ke dalam *light oil*. Sebaliknya, semakin rendah nilainya, maka minyak bumi tersebut termasuk dalam klasifikasi *heavy oil* (Devold, 2013). *Specific gravity* dapat diukur dengan menggunakan metode ASTM D-1298. Metode ini menggunakan hidrometer sebagai alat ukur *specific gravity*. Kekurangan metode ini adalah memerlukan pengondisian lingkungan khusus dan pembacaan alat yang masih manual.

Serat optik merupakan suatu alat optik yang dikembangkan pada awal tahun 1960. Awalnya serat optik digunakan pada industri medis seperti endoskopi serat optik. Penggunaan serat optik telah meluas pada berbagai aplikasi seperti monitoring struktur, kesehatan, lingkungan, industri kimia dan telekomunikasi. Selain sebagai media transmisi, saat ini telah banyak penelitian mengenai penerapan serat optik sebagai sensor. Sensor serat optik dapat mengatasi kesulitan yang terjadi pada pengukuran dengan cara konvensional (Bilro, 2012). Selain itu, sensor serat optik memiliki beberapa keuntungan, yaitu ringkas, ringan, pasif, membutuhkan daya yang rendah, sensitivitas tinggi, bandwidth yang besar dan memiliki ketahanan pada interferensi elektromagnetik (Yu, 2002).

Penelitian sensor *specific gravity* serat optik telah dilakukan oleh Rizky A.W pada tahun 2013. Penelitian tersebut mengenai perancangan sensor *specific gravity* serat optik dengan teknik pengelupasan cladding sebagai bagian dari sensornya (Widharyanto, 2013). Penelitian selanjutnya pada tahun 2015 oleh Elmidian Rizky yaitu melihat pengaruh perubahan panjang gelombang cahaya terhadap sensitivitas sensor *specific gravity*. Sampel yang digunakan adalah minyak bumi dengan variasi panjang gelombang yang digunakan memiliki rentang 430 – 700 nm. Sumber cahaya yang digunakan adalah lampu halogen. Hasilnya menunjukkan bahwa perubahan panjang gelombang memengaruhi nilai sensitivitas dari sensor dengan kecenderungan sensitivitas yang menurun seiring dengan pertambahan nilai panjang gelombang. Selain itu, panjang gelombang yang memiliki nilai sensitivitas tertinggi pada sensor *specific gravity* adalah 430 nm yang menghasilkan nilai sensitivitas sebesar -47,05 dB (Rizky, 2015).

Pada tahun yang sama dilakukan pengembangan mengenai sensor *specific gravity* oleh Syafri Firmansyah, yaitu rancang bangun pengukuran *specific gravity* dengan konfigurasi U-shaped. Respon terbaik yang dihasilkan adalah sensor serat optik dengan radius lengkungan 5 mm dan panjang kelupasan selubung 15,7 mm. Nilai koefisien linieritas sebesar 0,98706 dengan span pengukuran terbesar yaitu  $7,23 \times 10^{-7}$  W. Nilai kesalahan terbesar yang dihasilkan adalah 0,91% (Firmansyah, 2015).

Pada tahun 2014, Arifin A telah melakukan penelitian mengenai sensor pergeseran berbasis serat optik dengan memberikan cacat struktur dan lengkungan pada area sensor. Cacat struktur yang diberikan diharapkan dapat meningkatkan sensitivitas sensor. Peningkatan sensitivitas dan resolusi sensor serat optik menggunakan prinsip perbedaan numerical aperture antara NA input dengan NA output. Salah satu metode yang dapat digunakan adalah dengan menerapkan microbending. Pemberian cacat struktur memberikan efek yang sama dengan microbending. Hasil yang ditunjukkan dari penelitian tersebut adalah terdapat peningkatan sensitivitas dan resolusi yang lebih baik jika serat



optik diberikan cacat struktur dan lekukan.. Selain itu, serat optik yang digunakan sebagai sensor dapat lebih pendek (Arifin, 2014). Maka dari itu, dalam penelitian ini akan dilakukan rancang bangun sensor *specific gravity* pada minyak bumi dengan menerapkan cacat struktur untuk meningkatkan kinerja sensor *specific gravity*.

## **1.2 Rumusan Masalah**

Berdasarkan latar belakang yang telah dipaparkan, cacat struktur perlu dilakukan untuk meningkatkan kinerja dan pengaruh pada sensor *specific gravity* berbasis serat optik plastik. Maka permasalahan yang akan dibahas pada penelitian tugas akhir ini adalah tentang bagaimana merancang dan membuat sensor *specific gravity* pada minyak bumi menggunakan serat optik plastik dengan cacat struktur.

## **1.3 Batasan Masalah**

Agar lebih terfokus kepada tujuan yang akan dicapai, maka batasan masalah dalam Tugas Akhir ini adalah:

- a. Serat optik yang digunakan adalah Plastic Optical Fiber (POF)
- b. Sumber cahaya yang digunakan adalah LED biru superbright
- c. Variasi jumlah cacat yang diberikan adalah 1, 2, 3, 4, dan 5 goresan
- d. Sampel minyak bumi yang digunakan sebanyak 5 jenis

## **1.4 Tujuan dan Manfaat Penelitian**

Tujuan penelitian tugas akhir ini adalah merancang dan membuat sensor *specific gravity* menggunakan serat optik plastik dengan memberikan cacat struktur. Manfaat dari penelitian ini adalah mewujudkan sensor *specific gravity* untuk minyak bumi dengan kinerja yang lebih baik.

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

Bab ini berisikan teori-teori yang digunakan untuk mencapai tujuan dari penelitian tugas akhir ini.

#### ***3.1 Total Internal Reflection***

Serat optik menerapkan prinsip *total internal reflection* dengan perbedaan indeks bias atau yang biasa disebut dengan pemanduan gelombang dielektrik. Ketika terdapat sumber cahaya yang melewati medium dengan kerapatan tertentu dan sudut datangnya diubah maka terdapat berkas cahaya yang dipantulkan kembali menuju medium pertama dan ada yang diteruskan. Sebelum membahas *total internal reflection* terdapat beberapa konsep dalam terjadinya fenomena tersebut.

Indeks bias merupakan perbandingan kecepatan cahaya di ruang hampa ( $c$ ) dengan kecepatan cahaya di suatu medium ( $v$ ). Nilai kecepatan cahaya diruang hampa adalah  $3 \times 10^8$  m/s. Sehingga nilai indeks bias dapat diketahui melalui persamaan (2.1).

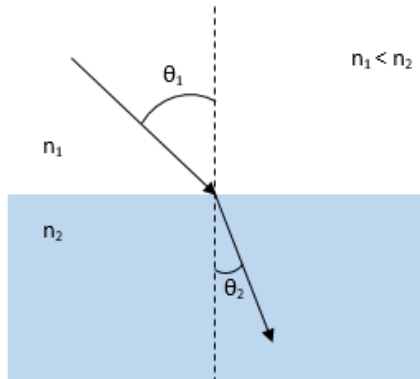
$$n = \frac{c}{v} \quad (2.1)$$

Nilai indeks bias dapat memengaruhi perambatan cahaya. Apabila cahaya merambat dalam medium yang berbeda dari sebelumnya, maka arah rambat cahayanya akan bergeser. Peristiwa tersebut disebut dengan pembiasan. Perubahan ini dikarenakan perbedaan kecepatan cahaya di dua medium yang berbeda.

Terdapat perbedaan pergeseran apabila medium yang dilewati ketika nilai indeks biasnya lebih besar atau lebih kecil dari sebelumnya. Jika nilai cahaya merambat ke medium yang indeks biasnya lebih besar dari sebelumnya maka sudut bias akan mendekati garis normal seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.1. Sebaliknya, jika cahaya merambat ke medium yang indeks biasnya lebih kecil dari sebelumnya maka akan dibiaskan menjauhi garis normal seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.2.

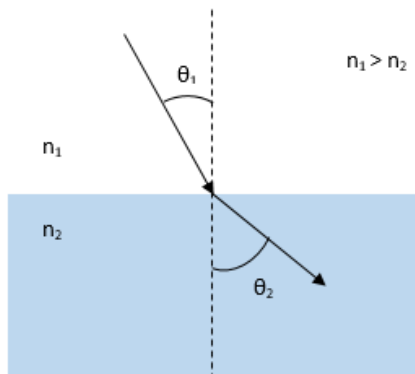
Sudut bias dapat diprediksi menggunakan hukum snellius yang tertera pada persamaan (2.2).

$$n_1 \sin \theta_1 = n_2 \sin \theta_2 \quad (2.2)$$



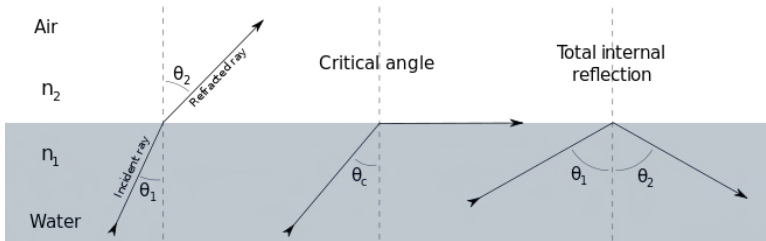
**Gambar 2.1** Penjalaran cahaya jika  $n_1 < n_2$

Kemudian, pada sinar datang ke medium yang nilai indeks biasanya lebih kecil dari sebelumnya, pada sudut tertentu akan dipantulkan kembali. Sudut tersebut disebut dengan sudut kritis.



**Gambar 2.2** Penjalaran cahaya jika  $n_1 > n_2$

Melewati sudut kritis tersebut, semua berkas cahaya dipantulkan kembali dan tidak ada yang diteruskan. Hal ini dapat dilihat pada gambar 2.3. Jika cahaya memasuki medium yang lebih rapat dari sebelumnya maka terjadi *internal reflection*.

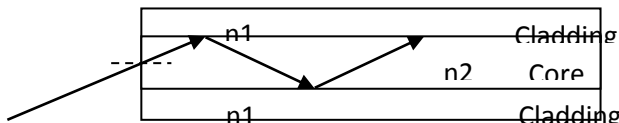


**Gambar 2.3** Total internal reflection

Jika sudut datang makin diperkecil maka pada sudut tertentu akan terjadi *total internal reflection*. Sudut bias memiliki nilai sudut  $90^\circ$  ketika berada pada kondisi tersebut. Sudut datang minimal yang menghasilkan *total internal reflection* atau biasa disebut sebagai sudut kritis dapat dicari menggunakan persamaan (2.3) (Hecht, 2002).

$$\theta_c = \sin^{-1} \frac{n_2}{n_1} \quad (2.3)$$

*Total internal reflection* merupakan dasar yang digunakan untuk pemanduan cahaya di dalam serat optik. Pemanduan cahaya pada serat optik dapat dilihat pada gambar 2.4.

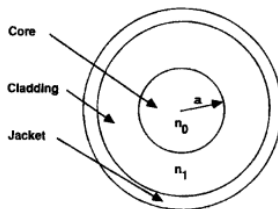


**Gambar 2.4** Pemanduan cahaya di dalam serat optik

Perbedaan indeks bias pada core dan cladding dapat memandu cahaya jika sudut datang yang diberikan tidak melebihi sudut kritis (Optical Society of America, 2002).

### 3.2 Serat Optik Plastik

Serat optik merupakan pemandu gelombang berbentuk silinder yang terbuat dari material *low-loss*. Serat optik terdiri dari core dan cladding. Bagian tersebut memiliki nilai indeks bias berbeda untuk memandu cahaya yang masuk ke dalam serat optik. Selain itu serat optik dibungkus oleh selubung jaket untuk melindungi bagian dalam tersebut (Optical Society of America, 2002). Gambar 2.5 merupakan penampang dari serat optik.

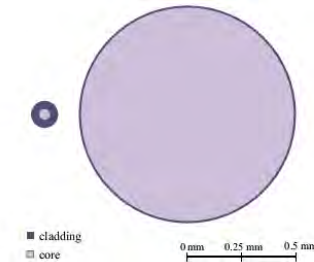


**Gambar 2.5** Struktur serat optik (OSA, 2002)

Serat optik awalnya menggunakan bahan kaca dan silika sebagai material core dan cladding. Pada perkembangan selanjutnya untuk memenuhi permintaan serat optik yang low-cost, bahan plastik digunakan sebagai material pembentuknya. Awalnya serat optik plastik memiliki atenuasi yang sangat tinggi mencapai 1000 dB/km karena kurangnya tingkat kemurnian monomer yang digunakan pada reaksi polimerasi. Seiring berkembangnya waktu, angka atenuasi tersebut semakin berkurang dan sekarang dapat bersaing dengan serat optik konvensional.

Struktur serat optik plastik sama dengan serat optik yang terbuat dari kaca atau silika tetapi diameter yang dimiliki oleh serat optik plastik lebih besar seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.6. Selain itu, serat optik ini memiliki karakteristik tahan terhadap getaran dan benturan, kerapatan yang lebih rendah, dan lebih elastis. Atenuasi yang dimiliki walaupun telah banyak berkurang dibanding fabrikasi pada saat pertama kali dibuat, masih memiliki nilai yang tinggi sehingga kurang cocok

digunakan sebagai transmisi data dan sistem komunikasi (Bilro, 2012).



**Gambar 2.6** Perbandingan diameter antara serat optik kaca dengan serat optik plastik (Bilro, 2012)

Serat optik plastik dapat diaplikasikan untuk sensor dan berkas cahaya yang ditransmisikan lebih dari satu moda atau biasa disebut multimode. Serat optik plastik lebih mudah digunakan sebagai sensor karena lebih fleksibel dan lebih mudah diberi perlakuan seperti pemberian cacat dikarenakan diamater yang besar.

### 3.3 *Specific Gravity*

*Specific gravity* merupakan perbandingan antara kerapatan suatu material dengan air pada suhu tertentu. Pada produk minyak bumi dan turunannya, suhu acuan untuk melakukan pengukuran *specific gravity* adalah 15,6°C atau 60°F. Persamaan untuk mendapatkan *specific gravity* ditunjukkan pada persamaan (2.4).

$$\text{Specific Gravity} = \frac{\rho_{\text{sampel}}}{\rho_{\text{air}}} \quad (2.4)$$

Pada industri minyak, standar yang digunakan untuk menentukan *specific gravity* adalah ASTM D-1298. Pada standar tersebut, nilai *specific gravity* ditunjukkan dalam derajat API (°API) yang dapat dicari menggunakan persamaan (2.5).

$$^{\circ}API = \frac{141,5}{SG(60/60^{\circ}F)} - 131,5 \quad (2.5)$$

Berdasarkan persamaan 2.3 dan 2.4 memperlihatkan bahwa nilai derajat API akan meningkat seiring dengan berkurangnya kerapatan sampel (Chevron, 2012). *Specific gravity* atau °API digunakan dalam dunia industri untuk menentukan klasifikasi dari minyak bumi yang didapatkan, seperti yang ditunjukkan pada tabel 2.1.

**Tabel 2.1** Klasifikasi Minyak Bumi

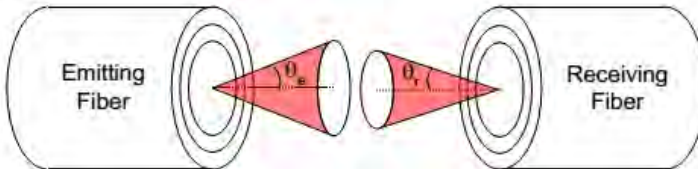
Klasifikasi	°API
Light	> 38
Medium	38 > API > 29
Heavy	29 > API > 8,5
Very heavy	API < 8,5

### 3.4 Numerical Aperture Mismatchloss

*Numerical aperture mismatchloss* merupakan kondisi dimana terdapat dua buah nilai numerical aperture yang tergabung dalam satu serat optik. Biasanya peristiwa tersebut terjadi pada saat penyambungan dua serat optik yang memiliki nilai numerical aperture yang berbeda. Nilai loss yang dihasilkan ditunjukkan pada persamaan (2.6).

$$Loss_{core} = -10 \log \left( \frac{NA_2}{NA_1} \right)^2 \quad (2.6)$$

*Loss* dapat terjadi ketika  $NA_1$  lebih besar daripada  $NA_2$ . Semakin besar perbedaan NA maka *loss* yang terjadi akan semakin besar. *Numerical aperture mismatch* ditunjukkan pada gambar 2.7 (Blair, 2008).



**Gambar 2.7** NA mismatch loss (Blair, 2008)



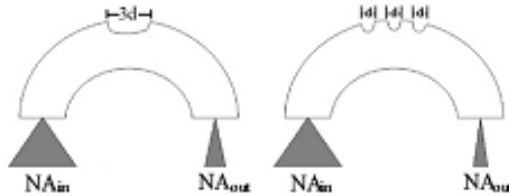
### 3.5 Cacat Struktur pada Serat Optik

Sensor serat optik dapat ditingkatkan sensitivitasnya dengan memperbesar *loss* yang terjadi pada serat optik. Terdapat beberapa cara untuk memperbesar *loss* pada serat optik yaitu dengan melekkukkan serat optik secara makro (*macrobending*) atau memberikan cacat struktural (*microbending*) pada serat optik. Pada serat optik yang diberi perlakuan berupa cacat atau lekukan, nilai keluaran numerical aperture akan lebih kecil daripada nilai numerical aperture saat cahaya ditransmisikan masuk ke serat optik. Perbedaan nilai tersebut dapat meningkatkan sensitivitas pada sensor serat optik (Wayan, 2012). Kemampuan untuk mentransmisikan cahaya pada serat optik yang diberikan lekukan dapat dirumuskan pada persamaan (2.7) (Babchenko, 2006).

$$NA_{out} = \sin \theta_a = \sqrt{n_1^2 - n_2^2 \left(1 + \frac{2a}{2R}\right)^2} \quad (2.7)$$

dimana  $n_1$  merupakan indeks bias core dan  $n_2$  merupakan indeks bias *cladding*,  $R$  merupakan radius lekukan serat optik, dan  $a$  merupakan radius dari serat optik. Ilustrasi pengurangan nilai *numerical aperture* dapat dilihat pada gambar 2.8.

Serat optik yang diberikan cacat struktur juga dapat meningkatkan sensitivitas dari sensor serat optik. Cacat struktur yang diberikan di sisi luar serat optik memiliki efek yang sama dengan memberikan *microbending* pada serat optik dan mengurangi nilai *numerical aperture*. Konfigurasi pemberian cacat secara berderet dan ukuran yang kecil, memiliki pengurangan nilai *numerical aperture* yang lebih besar dibandingkan dengan pemberian satu cacat dengan jumlah ukuran yang sama.



**Gambar 2.8** Pengurangan nilai NA dengan konfigurasi cacat struktur yang berbeda (Babchenko, 2006)

Pengurangan nilai *numerical aperture* terjadi karena nilai indeks bias *cladding* pada serat optik digantikan dengan indeks bias lingkungan atau sampel. Selain itu, mengurangi radius lekukan serat optik dapat meningkatkan absorpsi sesuai dengan sifat yang dimiliki oleh sampel dan meningkatkan indeks bias efektif, sehingga penggantian nilai indeks bias *cladding* dari  $n_2$  pada persamaan 2.7 diganti menjadi  $n_{2\text{eff}}$ . Pemberian lekukan (*macrobend* atau *microbend*) dapat meningkatkan *evanescent field* dimana jumlah cahaya yang melewati batas core serat optik bertambah dan memiliki hubungan dengan indeks bias efektif pada bagian *cladding*.

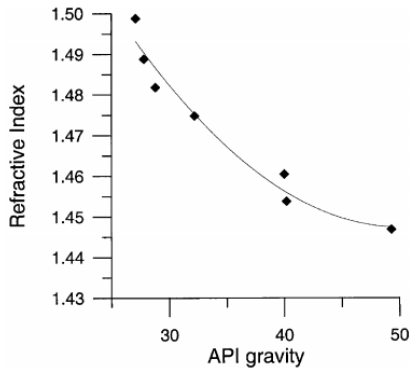
Model matematis sederhana untuk mempelajari pengaruh dari permukaan yang cacat ini adalah mengganti material yang hilang karena cacat dengan suatu material pengganti. Material pengganti bisa apa saja seperti udara atau sampel yang akan diukur. Syarat batas pada bagian ini adalah sejajar dengan permukaan serat optik pada keadaan lurus dan kedalamannya sama dengan kedalaman dari cacat yang dimiliki. Sifat optik dari lapisan tersebut ditentukan oleh indeks bias dan sifat absorpsi dari material pengganti (Babchenko, 2006).

### 3.6 Hubungan antara Indeks Bias Minyak Bumi dengan *Specific Gravity*

Minyak bumi merupakan larutan campuran yang memiliki kandungan berbeda-beda. Sehingga sulit untuk menentukan nilai *specific gravity* minyak bumi dari suatu kandungan tertentu. Hal tersebut dikarenakan perbedaan ikatan kimia minyak bumi

walaupun memiliki nilai *specific gravity* yang sama. Nilai indeks bias pada minyak bumi dapat digunakan untuk menentukan komposisi yang terdapat didalamnya.

Pada penelitian yang dilakukan oleh Ghandoor (2003), terdapat pengaruh antara nilai *specific gravity* dengan indeks bias. Penelitian tersebut menggunakan 7 sampel minyak bumi dengan dengan nilai *specific gravity* yang berbeda-beda. Nilai indeks bias pada sampel tersebut dicari dengan menggunakan interferometer pipa kapiler. Hasil yang didapatkan ditunjukkan pada gambar 2.9 Semakin tinggi nilai derajat API maka nilai indeks bias akan semakin berkurang.



**Gambar 2.9** Grafik hubungan antara indeks bias dengan °API

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## **BAB III**

### **METODOLOGI PENELITIAN**

Pada bab ini akan dijelaskan langkah-langkah yang akan dilakukan pada penelitian tugas akhir ini.

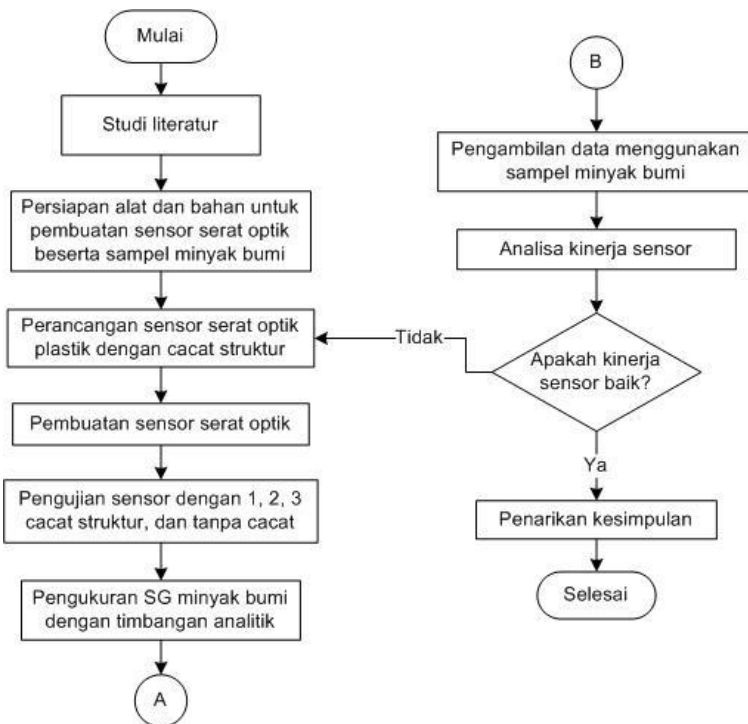
#### **3.1 Persiapan Alat dan Bahan**

Peralatan dan bahan yang digunakan pada penelitian rancang bangun sensor *specific gravity* minyak bumi ini adalah sebagai berikut

- Sampel minyak bumi
- Gelas ukur untuk mengukur volume sampel yang akan dikur massanya
- Timbangan analitik untuk mengukur massa sampel minyak bumi
- Serat optik plastik *multimode step index* ESKA SH4001
- Pemotong serat optik untuk memotong serat optik
- Kertas amplas untuk menghilangkan *cladding*
- Jangka sorong untuk mengukur panjang potongan serat optik dan panjang kupasan jaket serat optik
- LED biru superbright sebagai sumber cahaya
- Resistor 330  $\Omega$  untuk rangkaian LED
- Adaptor DC
- Sabun pencuci untuk membersihkan sensor serat optik
- Optical Power Meter Thorlab PM100D
- Perangkat lunak Thorlab PM100D
- Monokromator untuk karakterisasi sumber cahaya
- Statif sebagai penyangga saat menyiapkan *setup*

#### **3.2 Langkah-langkah Penelitian**

Penelitian ini mengikuti langkah-langkah yang telah dirancang sebelumnya untuk mencapai tujuan. Berikut ini adalah langkah-langkah yang telah dilakukan pada penelitian tugas akhir ini. Gambar 3.1 merupakan diagram tahapan dalam mengerjakan tugas akhir.



**Gambar 3.1** Diagram alir penelitian

### 3.2.1 Studi Literatur

Studi literatur merupakan kegiatan yang dilakukan untuk mempelajari prinsip dasar sensor serat optik dengan cacat struktur. Literatur yang digunakan adalah buku, jurnal penelitian ilmiah, artikel ilmiah, disertasi dan laporan tugas akhir yang membahas tentang prinsip dasar sensor, serat optik, pengaruh cacat struktur terhadap sensitivitas sensor, dan *specific gravity* pada minyak bumi.

### 3.2.2 Pengukuran *Specific Gravity* Sampel

Sampel minyak bumi yang digunakan pada penelitian ini berasal dari Akamigas Cepu. Sampel telah digunakan pada penelitian sebelumnya dan memiliki umur yang lama sehingga

viskositas telah berubah. Metode gravimetri digunakan untuk mendapatkan nilai *specific gravity* sebagai nilai validasi. Metode gravimetri menggunakan timbangan untuk mengukur massa dan gelas ukur untuk mengukur volume sampel minyak bumi. Gambar 3.2 merupakan proses pengambilan data *specific gravity* minyak bumi.



**Gambar 3.2** Pengukuran *specific gravity* minyak bumi

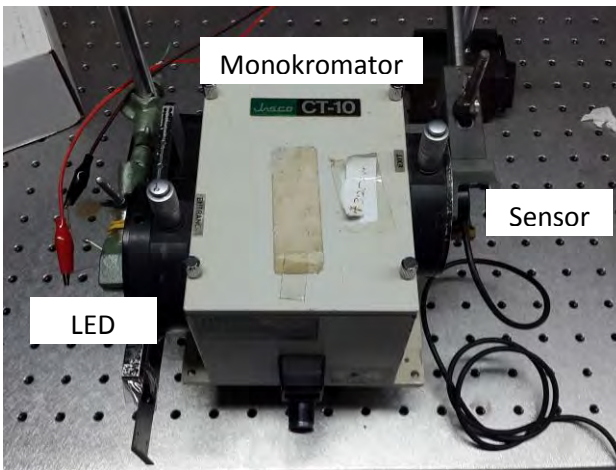
Pengukuran nilai massa dilakukan dengan pengulangan sebanyak 5 kali agar didapatkan nilai ketidakpastian. Volume minyak bumi yang digunakan adalah 10 ml. Setelah didapatkan nilai massa dan volume maka *specific gravity* dapat diukur dengan menggunakan persamaan (3.1) dan (3.2).

$$\rho = \frac{m}{v} \quad (3.1)$$

$$S.G. = \frac{\rho_{sampel}}{\rho_{air}} \quad (3.2)$$

### 3.2.3 Karakterisasi Sumber Cahaya LED Biru

Karakterisasi sumber cahaya dilakukan untuk mengetahui pada panjang gelombang berapa daya puncak yang dimiliki oleh LED yang digunakan. Nilai panjang gelombang yang memiliki nilai daya tertinggi akan digunakan sebagai acuan dalam pengambilan data menggunakan *Optical Power Meter* yang digunakan sebagai detektor. Sumber cahaya yang digunakan adalah LED biru superbright. Tegangan yang digunakan untuk menyalakan LED sebesar 8,8 volt DC. Resistor 330  $\Omega$  digunakan sebagai hambatan untuk LED. Gambar 3.3 merupakan *set-up* karakterisasi LED yang digunakan sebagai sumber cahaya. Monokromator digunakan sebagai filter panjang gelombang yang akan diukur dayanya. Kemudian, cahaya yang telah melewati monokromator diukur dayanya dengan menggunakan *optical power meter* Thorlab PM100D. Pengambilan data tiap panjang gelombang memerlukan waktu tunggu selama 5 detik untuk mendapatkan daya rata-rata.



**Gambar 3.3** Karakterisasi sumber cahaya

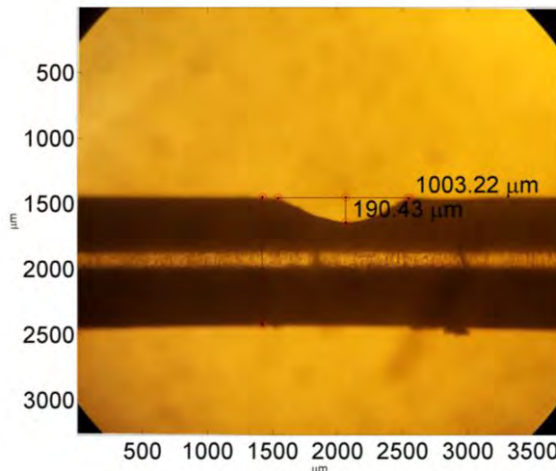


LED biru digunakan berdasarkan penelitian sebelumnya dimana panjang gelombang dengan warna biru memiliki respon terbaik. Rentang panjang gelombang yang diukur dayanya adalah 400 nm – 700 nm. Pengambilan nilai daya dilakukan setiap kenaikan 10 nm.

### 3.2.4 Perancangan Sensor

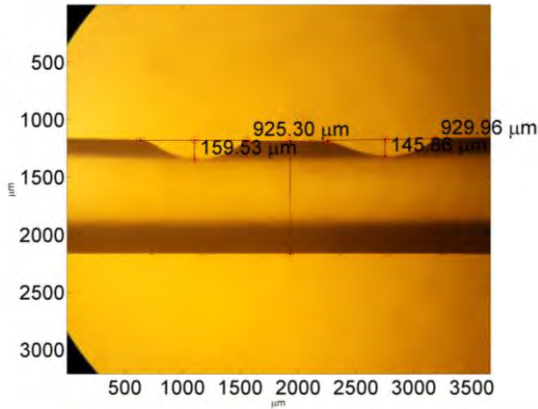
Sensor dengan cacat optik dirancang dengan variasi jumlah sebanyak 1, 2, 3, 4, dan 5 cacat struktur tiap serat optik. Hal ini dilakukan untuk mendapatkan kinerja sensor terbaik dengan variasi konfigurasi tersebut. Serat optik plastik dipotong sepanjang 15 cm. Jacket pelindung serat optik dikupas sepanjang 2 cm pada tiap variasi jumlah cacat struktur.

*Cladding* pada bagian yang telah dikupas jacket pelindungnya dihilangkan dengan cara mekanik menggunakan kertas amplas. Kemudian cacat struktur dibuat dengan menggunakan bor listrik dengan diameter mata bor sebesar 1 mm. Secara perlahan mata bor yang berputar digoreskan ke bagian sensitif serat optik untuk menghasilkan cacat struktur.

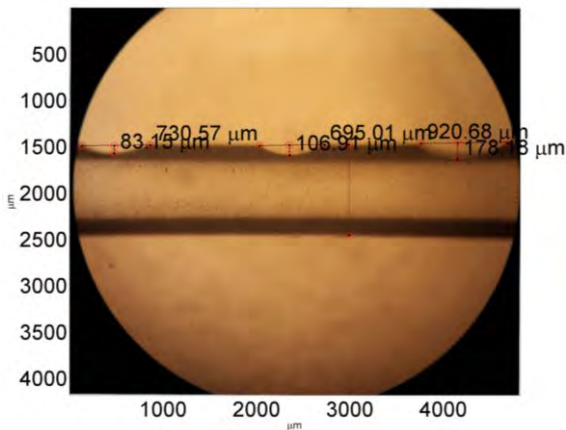


**Gambar 3.4** Dimensi cacat pada sensor dengan variasi 1 cacat

Gambar 3.4 merupakan dimensi cacat untuk serat optik dengan variasi 1 cacat. Gambar 3.5 dan gambar 3.6 adalah dimensi cacat untuk serat optik dengan variasi 2 cacat dan 3 cacat. Gambar tersebut merupakan perbesaran mikroskop dengan perbesaran 40 kali. Dimensi cacat yang dihasilkan tidak seragam dikarenakan sulitnya menentukan teknik pembuatan cacat yang konsisten.

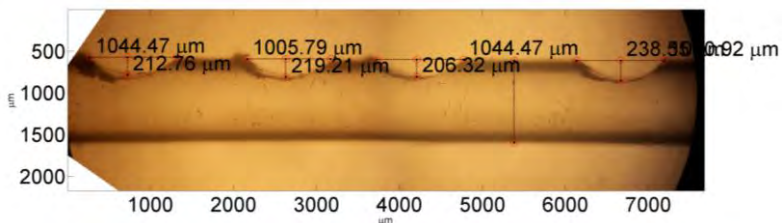


**Gambar 3.5** Dimensi cacat pada sensor dengan variasi 2 cacat

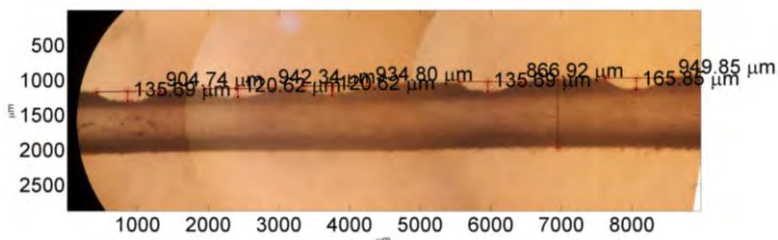


**Gambar 3.6** Dimensi cacat pada sensor dengan variasi 3 cacat

Hal yang sama juga dilakukan pada serat optik dengan jumlah cacat 4 dan 5 seperti yang ditunjukkan pada gambar 3.7 dan 3.8.

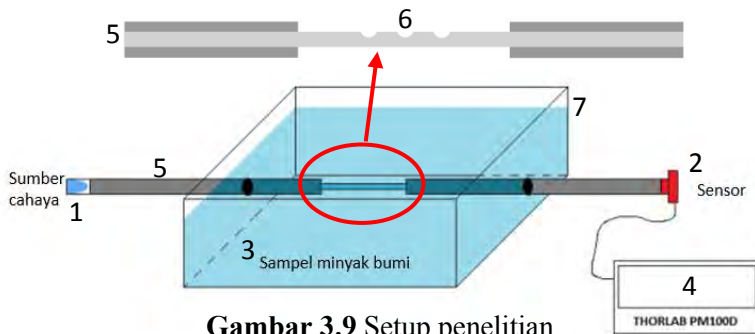


**Gambar 3.7** Dimensi cacat pada sensor dengan variasi 4 cacat



**Gambar 3.8** Dimensi cacat pada sensor dengan variasi 4 cacat

Setelah pembuatan sensor selesai, selanjutnya dilakukan *setup* penelitian sesuai dengan gambar 3.9. Selain itu, dibuat juga sensor tanpa menggunakan cacat struktur untuk mengetahui perbandingan sensitivitas antara sensor dengan diberikan cacat struktur dan tidak diberikan cacat.



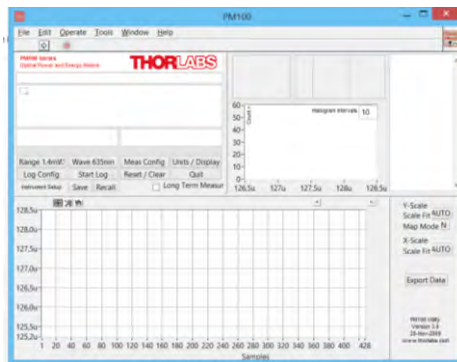
**Gambar 3.9** Setup penelitian

Keterangan:

1. Sumber cahaya LED biru
2. Sensor pengukur daya
3. Sampel minyak bumi
4. OPM Thorlab PM100D
5. Serat optik plastik
6. Cacat struktur yang diberikan
7. Tempat sampel

### 3.2.5 Pengujian Sensor

Sensor diuji dengan cara mengukur perbedaan daya transmisi yang dihasilkan sebelum dan sesudah diberikan sampel minyak bumi. Transmisi daya sebelum diberikan sampel minyak bumi berarti *cladding* yang digunakan adalah udara. Nilai perubahan daya tersebut akan dibandingkan dengan nilai *specific gravity* dari tiap sampel. Pada saat pengambilan data dengan sampel minyak bumi, suhu sampel dijaga suhunya pada suhu ruang yaitu  $26^{\circ}\text{C} - 27^{\circ}\text{C}$ . Pengambilan data dengan *cladding* udara dilakukan untuk mendapatkan nilai referensi agar didapatkan nilai perubahan yang konsisten. Terdapat kemungkinan *setup* yang dipasang tidak sama dengan sebelumnya sehingga diperlukan pengambilan data nilai referensi. Pengujian ini menggunakan OPM Thorlabs PM100D. Tampilan perangkat lunak dapat dilihat pada gambar 3.10.



Gambar 3.10 Tampilan *software* Thorlab PM100D

Perangkat tersebut dihubungkan ke komputer dengan perangkat lunak Thorlabs PM100D untuk mengatur parameter pengambilan data berupa panjang gelombang yang digunakan, *sampling* pengambilan data, dan waktu pengambilan data. Selain itu, perangkat lunak tersebut juga digunakan untuk akuisisi nilai daya yang terukur.

Pengujian yang dilakukan memerlukan kondisi yang konsisten agar setelah dilakukan *setup* ulang nilai daya referensi tidak berbeda jauh dengan sebelumnya. Sehingga terdapat langkah yang harus diikuti dalam pengujian sensor pada penelitian ini.

- a. Peralatan disiapkan dan disusun sesuai dengan setup penelitian
- b. Sensor serat optik dengan konfigurasi tanpa cacat disiapkan untuk pengambilan data
- c. Pengambilan data pada kondisi sebelum diberi sampel minyak bumi (data P0)
- d. Minyak bumi dituangkan ke tempat sampel
- e. Pengambilan data pada kondisi setelah dimasukkan sampel minyak bumi (data P1)
- f. Sampel dipindahkan dari tempat sampel
- g. Sensor serat optik dicuci sampai bersih menggunakan air dan sabun
- h. Langkah a sampai g diulangi untuk sensor dengan variasi jumlah cacat struktur (1 sampai 5 cacat struktur).
- i. Data diolah menggunakan perangkat lunak Microsoft Excel

Proses pengambilan data memerlukan waktu tunggu selama 150 detik saat keadaan sensor telah dicuci dan sampel minyak bumi dituangkan untuk diukur. Proses pencucian dilakukan dengan hati-hati agar tidak merusak struktur serat optik atau putus. Selain itu, diharapkan nilai daya keluaran yang didapatkan setelah di *setup* ulang tidak berubah atau berbeda jauh dengan pengukuran yang sebelumnya.

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## **BAB IV**

### **ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN**

Pada bab ini akan dibahas mengenai hasil penelitian yang telah dilakukan. Adapun hasil penelitian yang telah dilakukan meliputi:

- a. Hasil Perbandingan *Specific Gravity* dengan *Numerical Aperture*  
Pada sub bab ini akan dibahas mengenai perbandingan nilai *specific gravity* minyak bumi dengan *numerical aperture*.
- b. Hasil karakterisasi sumber cahaya  
Pada sub bab ini akan dijelaskan mengenai hasil dari karakterisasi sumber cahaya untuk mengetahui pada panjang gelombang berapa yang memiliki nilai daya tertinggi. Hal ini dilakukan untuk menentukan panjang gelombang yang akan digunakan pada pengaturan akuisisi data menggunakan perangkat Thorlab PM100D.
- c. Data pengukuran *specific gravity* minyak bumi  
Sub bab ini akan dijelaskan hasil pengukuran *specific gravity* minyak bumi dengan menggunakan metode gravimetri. Pengukuran ini dilakukan sebagai validasi untuk penelitian tugas akhir ini.
- d. Data respon daya serat optik dengan variasi cacat struktur  
Pada bagian ini akan dijelaskan mengenai perubahan daya yang didapatkan pada tiap tahap pembuatan sensor *specific gravity* minyak bumi dengan cacat struktur.
- e. Hasil pengujian sensor dengan variasi jumlah cacat struktur  
Pada sub bab ini akan dijelaskan mengenai hasil pengujian sensor *specific gravity* minyak bumi dengan cacat struktur. Hal ini dilakukan untuk mengetahui kinerja dari sensor serat optik yang telah dibuat.
- f. Hasil pengujian sensor dengan sampel lain  
Pada pengujian ini, sensor digunakan untuk mengukur sampel selain minyak bumi.

#### 4.1 Hasil Perbandingan *Specific Gravity* dengan *Numerical Aperture*

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan sebelumnya (Ghandoor, 2003) didapatkan nilai indeks bias untuk berbagai *specific gravity*. Sehingga indeks bias untuk sampel yang diuji pada penelitian ini dapat dilihat pada tabel 4.1. Menggunakan persamaan 2.6 didapatkan nilai *numerical aperture*. Parameter R pada penelitian ini memiliki nilai tidak terhingga dikarenakan konfigurasi yang digunakan adalah lurus. Kemudian, berdasarkan data spesifikasi serat optik plastik yang digunakan, nilai indeks bias inti adalah 1,49. Sehingga dari data tersebut dapat dicari *numerical aperture* untuk tiap nilai *specific gravity* sampel yang digunakan.

**Tabel 4.1** Perbandingan *specific gravity* dengan *numerical aperture*

Sampel	S.G.	RI	NA
Kawengan 1	0,8422	1,46516	0,270
Crude X	0,8490	1,46749	0,257
Kawengan 2	0,8511	1,46819	0,253
Adera 1	0,8732	1,47575	0,205
Adera Pengabuan	0,9097	1,48818	0,073

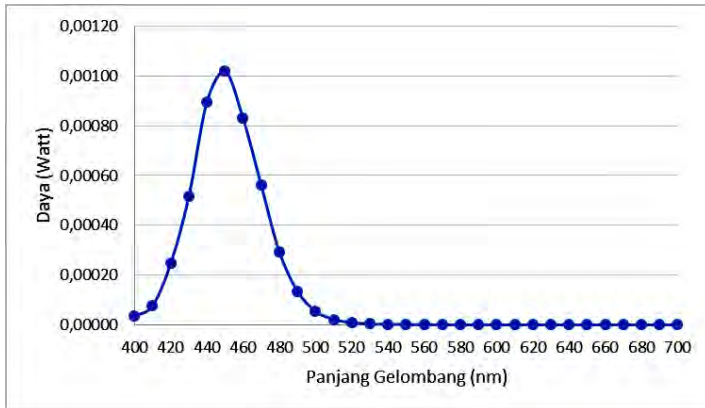
Terlihat bahwa nilai *numerical aperture* semakin kecil seiring dengan bertambahnya nilai *specific gravity*. Pengurangan nilai *numerical aperture* menyebabkan daya transmisi semakin banyak yang berkurang jika dibandingkan dengan serat optik yang menggunakan udara sebagai *cladding*.

#### 4.2 Hasil Karakterisasi Sumber Cahaya

Pada bagian ini telah dilakukan pengukuran daya dari sumber cahaya berupa LED biru *superbright* dengan menggunakan monokromator. Nilai daya diukur pada rentang panjang gelombang 400 – 700 nm tiap kenaikan 10 nm. Sehingga dapat



diketahui daya tertinggi yang dimiliki oleh sumber cahaya LED tersebut. Keseluruhan daya dapat dilihat pada gambar 4.1.

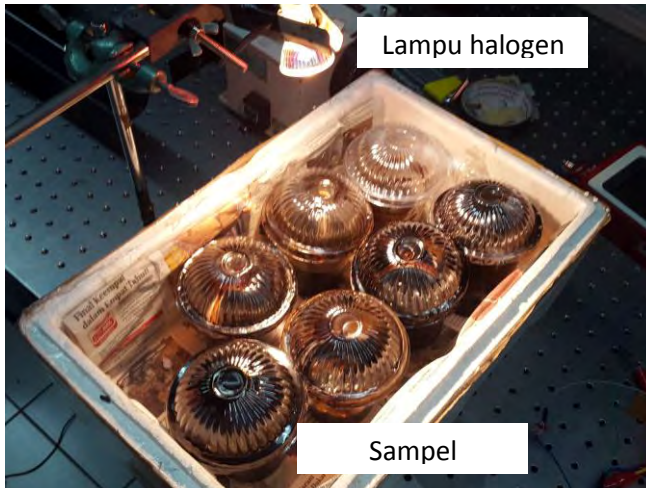


**Gambar 4.1** Karakterisasi LED

Berdasarkan hasil pengukuran didapatkan bahwa nilai daya maksimum terdapat pada panjang gelombang 450 nm. Pada panjang gelombang tersebut nilai daya yang dihasilkan adalah  $1,019 \times 10^{-3}$  watt. Sehingga panjang gelombang 450 nm akan dimasukkan sebagai nilai referensi panjang gelombang pada pengaturan perangkat OPM Thorlab PM100D.

### 4.3 Data Pengukuran *Specific Gravity* Minyak Bumi

Pada penelitian ini sampel yang digunakan memiliki umur yang lama sehingga nilai viskositas menjadi tinggi. Sehingga perlu dilakukan pemanasan untuk mengurangi viskositas sampel. Sampel dipanasi dengan cara disinari dengan lampu halogen. Gambar 4.2 merupakan pengondisian sampel dengan lampu halogen.



**Gambar 4.2** Pengondisian sampel minyak bumi

Berdasarkan pengukuran yang telah dilakukan, didapatkan nilai *specific gravity* untuk 5 sampel yang akan digunakan pada penelitian ini. Nilai *specific gravity* dapat dilihat pada tabel 4.2.

**Tabel 4.2** Nilai *specific gravity* sampel minyak bumi

Sampel	S.G.	°API
Kawengan 1	0,8422	36,508
Crude X	0,8490	35,156
Kawengan 2	0,8511	34,754
Adera 1	0,8732	30,534
Adera Pengabuan	0,9097	24,045

#### 4.4 Data Respon Daya Sensor Serat Optik dengan Cacat Struktur

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui respon daya setelah diberikan perlakuan seperti pengelupasan *cladding* dan pemberian cacat. Data ini didapatkan dengan cara mengukur nilai daya yang ditransmisikan oleh serat optik mulai dari pengelupasan jaket hingga diberikan cacat struktur. Terdapat 3

variasi jumlah cacat yang diberikan pada serat optik yaitu sensor dengan 1, 2, dan 3 cacat struktur. Selain itu, dibuat pula sensor tanpa diberikan cacat sebagai pembandingan kinerja dengan sensor yang menggunakan cacat struktur. Konfigurasi yang digunakan pada penelitian ini adalah konfigurasi lurus.



**Gambar 4.3** *Cladding* serat optik sebelum dikupas

Pada tabel 4.3 dapat dilihat daya yang dihasilkan pada tiap tahap pembuatan sensor dengan 1 cacat struktur. Terlihat bahwa daya yang ditransmisikan semakin berkurang mulai dari pengelupasan jaket hingga pemberian cacat. Hal tersebut dikarenakan semakin banyak loss yang dihasilkan akibat penggantian *cladding* dengan udara dan pemberian cacat.



**Gambar 4.4** *Cladding* serat optik yang telah dikupas

Perbedaan yang dihasilkan akibat pemberian 1 cacat pada serat optik adalah 1,371 dBm. Gambar 4.3 dan gambar 4.4 merupakan perbedaan antara serat optik yang belum dikupas dan setelah dikupas. Terlihat secara kasat mata cahaya yang keluar dari serat optik pada bagian yang telah dikupas.

**Tabel 4.3** Nilai daya sensor dengan 1 cacat struktur

<b>Kondisi sensor</b>	<b>Daya (dBm)</b>
Jaket dikelupas	-15,381
Tanpa Cladding	-15,879
1 cacat	-16,752

Selanjutnya, pada pembuatan sensor dengan variasi 2 cacat juga dilakukan pengambilan data seperti pembuatan sensor dengan 1 cacat. Tabel 4.4 merupakan respon daya pada tiap tahap pembuatan sensor dengan variasi 2 cacat. Terlihat bahwa terdapat pengurangan disetiap tahap yang dilakukan. Perbedaan daya setelah jaket dikupas dan diberikan 2 cacat adalah 2,888 dBm.

**Tabel 4.4** Nilai daya sensor dengan 2 cacat struktur

<b>Kondisi sensor</b>	<b>Daya (dBm)</b>
Jaket dikupas	-14,332
Tanpa Cladding	-14,655
1 cacat	-16,379
2 cacat	-17,219

**Tabel 4.5** Nilai daya sensor dengan 3 cacat struktur

<b>Kondisi sensor</b>	<b>Daya (dBm)</b>
Jaket dikupas	-18,140
Tanpa Cladding	-20,597
1 cacat	-21,444
2 cacat	-21,464
3 cacat	-21,632

Pada pembuatan sensor dengan variasi 3 cacat juga dilakukan pengukuran daya yang sama. Tabel 4.5 merupakan respon daya sensor dengan jumlah cacat sebanyak 3 buah. Daya yang dihasilkan pada tiap tahap pembuatan semakin berkurang dari sebelumnya. Perbedaan daya yang dihasilkan antara pemberian 3 cacat struktur dengan keadaan dimana jaket baru dikupas adalah

3,492 dBm. Serat optik yang diberikan 4 dan 5 cacat juga mengalami pengurangan daya seperti yang dapat dilihat pada tabel 4.6 dan 4.7. Pada pembuatan sensor dengan cacat 4 dan 5 menghasilkan pengurangan daya masing-masing adalah 4,223 dBm dan 7,928 dBm.

**Tabel 4.6** Nilai daya sensor dengan 4 cacat struktur

<b>Kondisi sensor</b>	<b>Daya (dBm)</b>
Jaket dikupas	-20,429
Tanpa Cladding	-22,845
1 cacat	-23,600
2 cacat	-23,878
3 cacat	-24,129
4 cacat	-24,662

**Tabel 4.7** Nilai daya sensor dengan 5 cacat struktur

<b>Kondisi sensor</b>	<b>Daya (dBm)</b>
Jaket dikupas	-25,332
Tanpa Cladding	-29,308
1 cacat	-30,318
2 cacat	-30,939
3 cacat	-31,556
4 cacat	-32,713
5 cacat	-33,314

Terlihat bahwa perbedaan daya yang dihasilkan antar jumlah variasi cacat semakin bertambah seiring dengan banyaknya jumlah cacat yang diberikan. Hal tersebut dikarenakan cacat struktur memiliki pengaruh yang sama dengan *microbending* pada serat optik. Sehingga semakin banyak cacat struktur yang diberikan, nilai transmisi daya yang sampai ke detektor akan semakin berkurang karena banyaknya *loss* yang dihasilkan.

#### 4.5 Hasil Pengujian Sensor dengan Variasi Jumlah Cacat Struktur

Pengujian sensor dengan variasi jumlah cacat struktur ini bertujuan untuk mengetahui jumlah variasi cacat yang tepat untuk dijadikan sensor *specific gravity* minyak bumi. Terdapat 5 variasi jumlah cacat yaitu 1, 2, 3, 4, dan 5 buah cacat. Selain itu, diambil pula data pada sensor serat optik tanpa cacat struktur untuk mengetahui perubahan kinerja sensor yang dirancang. Suhu sampel saat pengambilan data yaitu 26°C – 27°C.

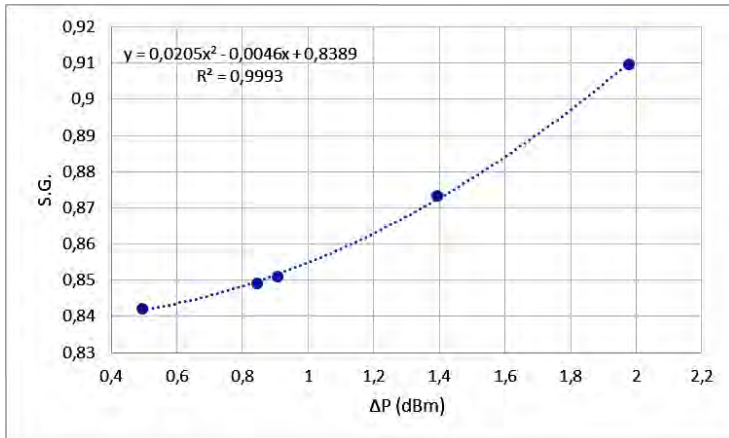
**Tabel 4.8** Pengukuran daya serat optik tanpa cacat struktur

Sumur	P (dBm)		$\Delta P$ (dBm)
Kawengan 1	P0	-32,262	0,494
	P1	-32,756	
Crude X	P0	-26,278	0,844
	P1	-27,122	
Kawengan 2	P0	-27,627	0,907
	P1	-28,535	
Adera 1	P0	-28,256	1,391
	P1	-29,648	
Adera Pengabuan	P0	-28,598	1,976
	P1	-30,574	
Sensitivitas (dBm/°API)			0,118903
R <sup>2</sup>			0,9993

Pada sub bab sebelumnya telah diukur daya pada tiap tahap pembuatan sensor, selanjutnya adalah pengambilan data dengan menggunakan sampel minyak bumi yang telah diukur nilai *specific gravity*. Pengukuran dilakukan sebanyak tiga kali pengulangan. Hasil pengukuran transmisi daya pada sensor serat optik tanpa cacat dapat dilihat pada tabel 4.8.

Jika dihubungkan antara nilai *specific gravity* dengan nilai perubahan daya, maka dapat dihasilkan grafik seperti yang ditunjukkan pada gambar 4.5. Pendekatan yang digunakan untuk

mengetahui karakteristik dari hasil pengukuran adalah dengan pendekatan numerik secara polinomial. Hal ini dilakukan sebagai standar dalam membandingkan kinerja tiap sensor. Melalui persamaan polinomial dapat diketahui nilai linieritas terbaik yang dihasilkan.



**Gambar 4.5** Hubungan perubahan daya dan *specific gravity* sensor tanpa cacat

Terlihat bagaimana kinerja sensor tanpa cacat memiliki nilai koefisien linieritas ( $R$ ) sebesar 0,999. Nilai koefisien linieritas yang mendekati 1 menandakan bahwa pengukuran dari sensor memiliki linieritas yang semakin baik. Perubahan daya tertinggi yang didapatkan adalah 1,976 dBm. Sedangkan perubahan daya yang terkecil adalah 0,494 dBm. Berdasarkan data tersebut didapatkan nilai rentang daya dengan cara mengurangi perubahan daya tertinggi dengan yang terendah. Sehingga didapatkan rentang daya pada sensor ini adalah 1,481 dBm.

Kehilangan daya yang terjadi setelah sensor diberikan sampel minyak bumi disebabkan perubahan nilai indeks bias antara udara dengan indeks bias minyak bumi. Hal tersebut menyebabkan perubahan *numerical aperture* yang lebih kecil seperti yang telah dijelaskan pada sub bab 4.1.

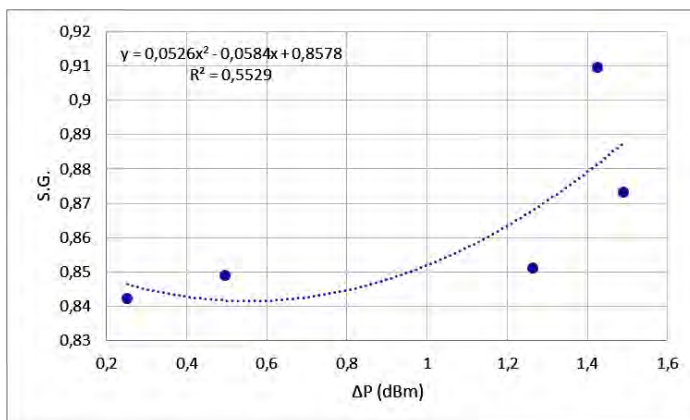
Selanjutnya dilakukan pengujian pada sensor dengan jumlah 1 cacat. Berdasarkan hasil percobaan didapatkan nilai koefisien linieritas sebesar 0,5529. Selain itu didapatkan pula nilai perubahan daya tertinggi adalah 1,489 dBm dan nilai perubahan daya terendah adalah 0,252 dBm. Keseluruhan data pengukuran pada sensor ini terdapat pada tabel 4.9.

**Tabel 4.9** Pengukuran daya serat optik dengan cacat 1 buah

Sumur	P (dBm)		$\Delta P$ (dBm)
	P0	P1	
Kawengan 1	P0	-28,630	0,252
	P1	-28,882	
Crude X	P0	-26,766	0,495
	P1	-27,262	
Kawengan 2	P0	-23,142	1,263
	P1	-24,406	
Adera 1	P0	-22,783	1,489
	P1	-24,273	
Adera Pengabuan	P0	-26,573	1,426
	P1	-27,999	
Sensitivitas (dBm/ $^{\circ}$ API)			0,099308
R <sup>2</sup>			0,5529

Selain itu dibuat pula grafik hubungan antara perubahan daya dengan nilai *specific gravity* sampel minyak bumi. Grafik tersebut dapat dilihat pada gambar 4.6. Berdasarkan nilai perubahan daya tertinggi dan terendah, maka didapatkan nilai rentang daya sebesar 1,237 dBm. Selain itu, pada pengukuran sampel dengan *specific gravity* 0,909, perubahan daya yang dihasilkan lebih kecil daripada sampel dengan nilai *specific gravity* 0,873. Hal tersebut menunjukkan sensor dengan 1 cacat struktur ini tidak linier untuk pengukuran *specific gravity* jika digunakan untuk mengukur lebih dari nilai tersebut.





**Gambar 4.6** Hubungan perubahan dan *specific gravity* sensor dengan 1 cacat

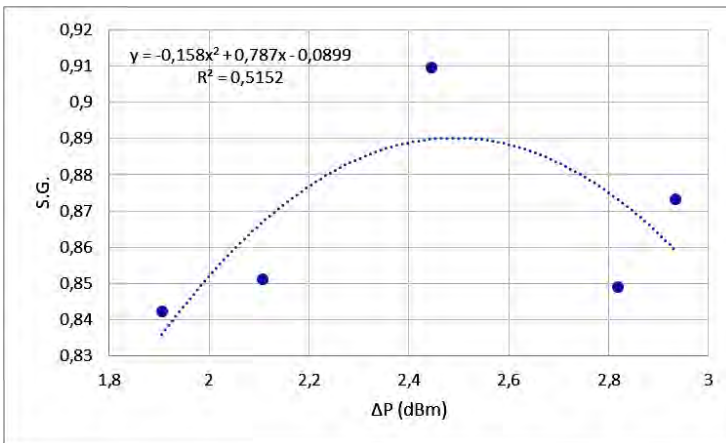
Berikutnya adalah pengujian sensor dengan 2 cacat struktur. Berdasarkan tabel 4.10 terlihat bahwa nilai perubahan daya tertinggi adalah 2,934 dBm.

**Tabel 4.10** Pengukuran daya serat optik dengan cacat 2 buah

Sumur	P (dBm)		$\Delta P$ (dBm)
	P0	P1	
Kawengan 1	P0	-25,820	1,905
	P1	-27,725	
Crude X	P0	-26,115	2,818
	P1	-28,934	
Kawengan 2	P0	-26,092	2,108
	P1	-28,200	
Adera 1	P0	-25,897	2,934
	P1	-28,832	
Adera Pengabuan	P0	-27,368	2,446
	P1	-29,814	
Sensitivitas (dBm/ <sup>o</sup> API)			0,082574
R <sup>2</sup>			0,5152

Sedangkan perubahan daya terendah adalah 1,905 dBm. Sehingga rentang perubahan daya yang dihasilkan sebesar 1,237 dBm.

Pada sensor ini koefisien lineritas yang dihasilkan sebesar 0,5628. Nilai tersebut tidak menunjukkan bahwa pengukuran yang dihasilkan pada pengukuran ini tidak memiliki linieritas yang baik. Terlihat pada gambar 4.7 bahwa hasil pengukuran sampel tidak memiliki pola peningkatan atau penurunan perubahan nilai. Sehingga kinerja sensor pada variasi ini dapat dikatakan tidak baik.

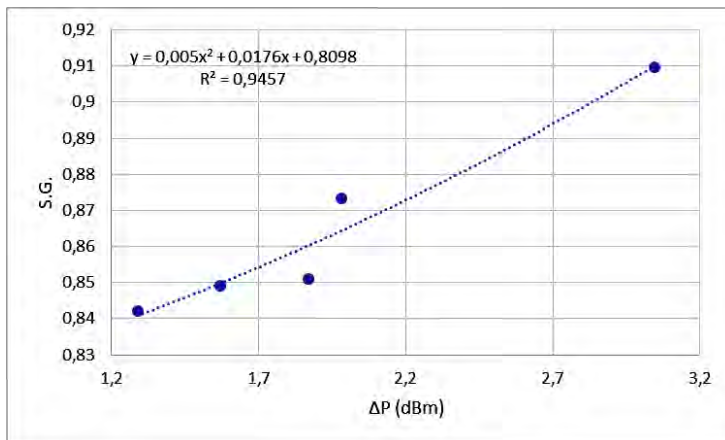


**Gambar 4.7** Hubungan perubahan dan *specific gravity* sensor dengan 2 cacat

Selanjutnya adalah pengukuran dengan menggunakan sensor dengan 3 cacat struktur. Pada tabel 4.11 terlihat bahwa nilai perubahan terendah memiliki nilai sebesar 1,289 dBm dan nilai perubahan daya tertinggi sebesar 3,047 dBm. Nilai tersebut menunjukkan bahwa sensor ini memiliki rentang daya sebesar 1,757 dBm.

**Tabel 4.11** Pengukuran daya serat optik dengan cacat 3 buah

Sumur	P (dBm)		$\Delta P$ (dBm)
Kawengan 1	P0	-26,239	1,289
	P1	-27,528	
Crude X	P0	-26,176	1,569
	P1	-27,745	
Kawengan 2	P0	-26,902	1,868
	P1	-28,770	
Adera 1	P0	-26,131	1,981
	P1	-28,112	
Adera Pengabuan	P0	-26,133	3,047
	P1	-29,180	
Sensitivitas (dBm/ $^{\circ}$ API)			0,141052
$R^2$			0,9457

**Gambar 4.8** Hubungan perubahan dan *specific gravity* sensor dengan 3 cacat

Pada gambar 4.8 terlihat bahwa koefisien linieritas pada sensor dengan 3 cacat bernilai 0,945. Nilai tersebut mendekati nilai maksimum dari koefisien linieritas. Sehingga pada sensor ini

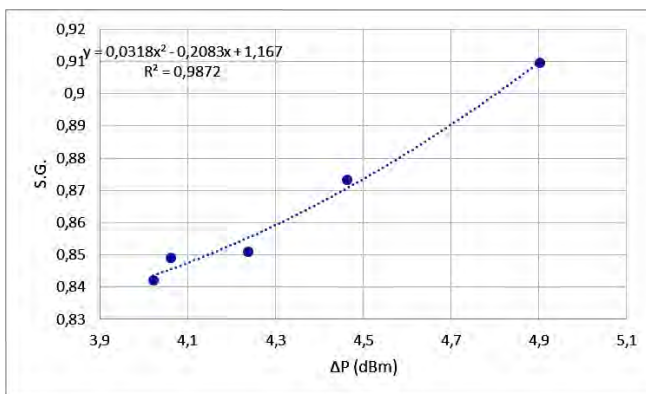
memiliki linieritas yang lebih baik dibandingkan dengan sensor lainnya.

Kemudian pada sensor dengan 4 cacat didapatkan data seperti yang ditunjukkan pada tabel 4.12. Nilai pengukuran terkecil adalah 4,021 dBm dan yang terbesar adalah 4,902 dBm. Sehingga rentang daya yang dimiliki sensor 4 cacat dengan menggunakan sampel pada penelitian ini adalah 0,881 dBm.

**Tabel 4.12** Pengukuran daya serat optik dengan cacat 4 buah

Sumur	P (dBm)		$\Delta P$ (dBm)
Kawengan 1	P0	-29,716	4,021
	P1	-33,738	
Crude X	P0	-30,757	4,061
	P1	-34,819	
Kawengan 2	P0	-31,268	4,238
	P1	-35,506	
Adera 1	P0	-32,156	4,462
	P1	-36,619	
Adera Pengabuan	P0	-31,783	4,902
	P1	-36,686	
Sensitivitas (dBm/°API)			0,070691
R <sup>2</sup>			0,9872

Pada gambar 4.9 ditunjukkan grafik hasil pengukuran *specific gravity* dengan sensor 4 cacat. Nilai linieritas yang didapatkan adalah 0,987. Nilai tersebut mendekati nilai maksimal yaitu satu. Sensor ini memiliki linieritas yang baik tetapi sensitivitas yang dihasilkan tidak sebaik sensor dengan 3 cacat, yaitu 0,070 dBm/ °API. Sedangkan nilai sensitivitas sensor dengan 3 cacat struktur adalah 0,141 dBm/°API. Walaupun memiliki nilai linieritas yang lebih baik, sensitivitas yang lebih tinggi dipilih untuk dapat mendeteksi perubahan terkecil pada suatu pengukuran.



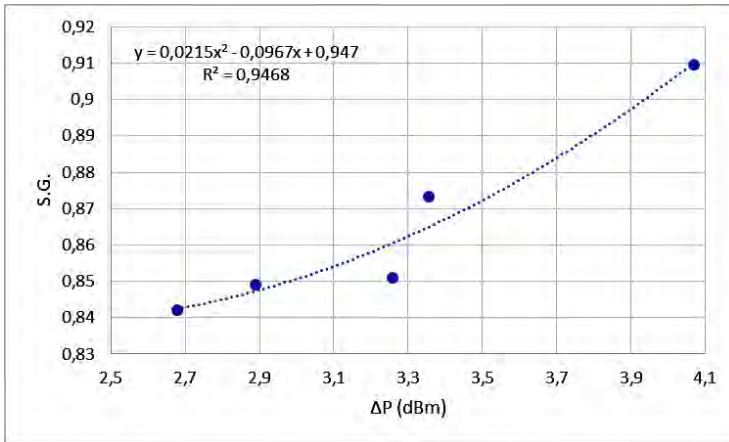
**Gambar 4.9** Hubungan perubahan dan *specific gravity* sensor dengan 4 cacat

Terakhir adalah pengujian sensor dengan 5 cacat struktur. Berdasarkan tabel 4.11, terlihat bahwa nilai perubahan daya tertinggi adalah 2,677 dBm. Sedangkan perubahan daya terendah adalah 4,069 dBm. Sehingga rentang perubahan daya yang dihasilkan sebesar 1,391 dBm.

**Tabel 4.13** Pengukuran daya serat optik dengan cacat 5 buah

Sumur	P (dBm)		$\Delta P$ (dBm)
Kawengan 1	P0	-31,395	2,677
	P1	-34,073	
Crude X	P0	-31,826	2,890
	P1	-34,717	
Kawengan 2	P0	-31,826	3,259
	P1	-35,086	
Adera 1	P0	-32,582	3,355
	P1	-35,937	
Adera Pengabuan	P0	-33,768	4,069
	P1	-37,837	
Sensitivitas (dBm/°API)			0,111668
R <sup>2</sup>			0,9468

Pada sensor ini koefisien linieritas yang dihasilkan sebesar 0,946 seperti yang ditunjukkan pada gambar 4.10. Nilai tersebut menunjukkan bahwa pengukuran yang dihasilkan pada pengukuran ini memiliki linieritas yang baik tetapi tidak sebaik sensor dengan 4 cacat struktur.



**Gambar 4.10** Hubungan perubahan dan *specific gravity* sensor dengan 5 cacat

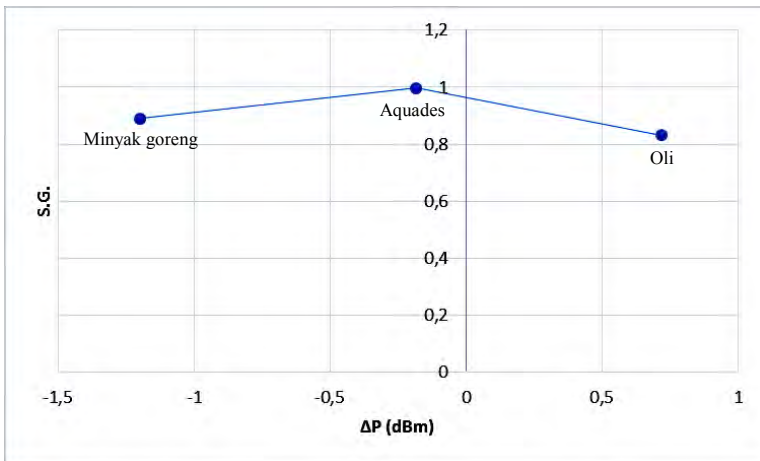
Sensitivitas yang didapatkan adalah 0,111 dBm/ $^{\circ}$ API. Nilai tersebut lebih baik dibandingkan dengan sensor 4 cacat struktur, tetapi sensor dengan 3 cacat tetap memiliki nilai sensitivitas terbesar.

#### 4.6 Hasil Pengujian Sensor dengan Sampel Lain

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui apakah sensor dapat mendeteksi perubahan *specific gravity* dengan sampel selain minyak bumi. Setelah diketahui bahwa sensor dengan 3 cacat struktur memiliki kinerja terbaik, maka sensor tersebut digunakan untuk mengukur *specific gravity* dari sampel lain yaitu, aquades, oli, dan minyak goreng. Nilai *specific gravity* ketiga sampel tersebut adalah 0,998 untuk aquades, 0,831 untuk oli, dan

0,890 untuk minyak goreng. Nilai tersebut didapatkan dari pengukuran menggunakan timbangan analitik.

Berdasarkan pengukuran yang telah dilakukan didapatkan grafik seperti pada gambar 4.11. Perubahan daya yang didapatkan berdasarkan pengukuran adalah -1,195 dBm untuk minyak goreng, -0,182 dBm untuk aquades, dan 0,719 dBm untuk oli.



**Gambar 4.11** Pengukuran dengan sampel lain

Terlihat bahwa sampel aquades dan minyak goreng tidak menunjukkan pengurangan daya, melainkan daya yang ditransmisikan bertambah. Sedangkan sampel oli menunjukkan pengurangan daya. Hal tersebut dikarenakan tiap sampel memiliki karakteristik optik yang berbeda-beda dalam hal ini adalah nilai absorbansi dan indeks bias dari sampel. Sehingga pengukuran *specific gravity* pada sampel selain minyak bumi dengan menggunakan konfigurasi sensor ini tidak dapat dilakukan.

*Halaman ini sengaja dikosongkan*



## **BAB V**

### **PENUTUP**

#### **5.1 Kesimpulan**

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

- Telah dilakukan rancang bangun sensor untuk mengukur *specific gravity* minyak bumi dengan memberikan variasi jumlah cacat struktur pada bagian inti menggunakan serat optik plastik tipe *multimode step index*.
- Berdasarkan hasil pengujian sensor dengan satu serat optik tanpa cacat dan 5 variasi jumlah cacat dan terhadap 5 sampel minyak bumi dengan rentang nilai *specific gravity* 0,842 – 0,909, didapatkan bahwa sensor dengan jumlah cacat sebanyak 3 buah memiliki kinerja yang terbaik dengan nilai linieritas sebesar 0,9438 dan rentang perubahan daya sebesar 1,757 dBm.

#### **5.2 Saran**

Adapun saran yang dapat dipertimbangkan untuk pengembangan selanjutnya adalah

- Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut dengan memberikan variasi jumlah cacat struktur yang lebih banyak untuk mengetahui konfigurasi yang terbaik untuk sensor.
- Perlu dilakukan penelitian pengaruh suhu terhadap kinerja sensor *specific gravity* berbasis serat optik plastik.
- Sampel yang digunakan untuk pengujian sensor perlu ditambah variasinya untuk mendapatkan hasil yang lebih konsisten.

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## DAFTAR PUSTAKA

- Devold, Havard. 2013. "Oil and Gas Production Handbook". Etterstad: ABB Oil and Gas
- Standart Test Method, ASTM D 1298 - 99. 1999. "Density, Relative Density (Specific gravity), or API Gravity of Crude Oil Petroleum and Liquid Petroleum Products by Hydrometer Method". American Standard Testing and Material.
- Bilro, Lucia, Neila Alberto, Joao L. Pinto, dan Rogerio Nogueira. 2012. "Optical Sensors Based on Plastic Fibers". Sensors. vol 12. pp 12184-12207.
- Yu, Francis T.S., Shizhuo Yin. 2002. "Fiber Optic Sensors". New York: Marcel Dekker, Inc.
- Rizky, A.W. 2013. "Rancang Bangun Sensor Specific Gravity pada Crude Oil Menggunakan Polymer Optical Fiber" Jurusan Teknik Fisika Fakultas Teknologi Industri. Tugas Akhir Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Rizky, Elmidian. 2015. "Pengaruh Perubahan Panjang Gelombang Cahaya Terhadap Sensitivitas Sensor Specific gravity Minyak Bumi Berbasis Serat Optik" Jurusan Teknik Fisika Fakultas Teknologi Industri. Tugas Akhir Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Firmansyah, Syafri. 2015. "Rancang Bangun Sistem Pengukuran Specific gravity pada Crude Oil Berbasis Sensor Serat Optik Plastik dengan Konfigurasi U-Shaped". Jurusan Teknik Fisika Fakultas Teknologi Industri. Tugas Akhir Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Arifin, A, dkk, 2014. "Bent of Plastic Optical Fiber with Structural Imperfections for Displacement Sensor" Indian Journal of Pure & Applied Physics, vol. 52, pp. 520-524.
- Hecht, Eugene. 2002. "Optics". San Francisco: Pearson Education, Inc.
- Optical Society of America. 2002. "Fiber Optics Handbook". New York: McGraw-Hill Companies, Inc.
- Blair, S. 2008. Artikel: Fiber Splicing Numerical Aperture Mismatch Loss. University of Utah.

- Chevron. 2009. "Motor Gasoline Technical Review". `San Ramon: Chevron Corporation.
- Suana, Wayan. 2012. "Rancang Bangun Sistem Instrumentasi untuk Memantau Sinyal Pernapasan Berbasis Serat Optik Plastik". Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam. Tesis Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Babchenko, A. 2006. "Plastic Optical Fiber with Structural Imperfections as a Displacement Sensor". *Measurement Science and Technology*, vol. 17, pp. 1157-1161.

## LAMPIRAN A

### Data pengukuran *specific gravity* dengan metode gravimetri

<b>Pengukuran</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>Rata-rata</b>	<b>Massa (gr/10ml)</b>	<b>Massa jenis (gr/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>S.G.</b>
Massa Gelas	45,1088	45,1089	45,109	45,1089	45,1087	45,10886			
Kawengan 1	53,5313	53,5314	53,5312	53,5308	53,5305	53,53104	8,42218	0,842218	0,842218
Kawengan 2	53,6202	53,6199	53,6199	53,6199	53,6197	53,61992	8,51106	0,851106	0,851106
Adera 1	53,8416	53,8415	53,8416	53,8414	53,8417	53,84156	8,7327	0,87327	0,87327
Crude X	53,5994	53,5995	53,5994	53,5994	53,5993	53,5994	8,49054	0,849054	0,849054
Adera Pengabuan	54,0062	54,0059	54,006	54,0057	55,0055	54,20586	9,097	0,9097	0,9097

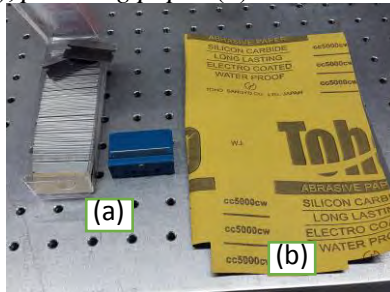
## LAMPIRAN B

### Dokumentasi Penelitian

1. Serat optik plastik yang digunakan sebagai sensor:  
ESKA SH-4001



2. Peralatan pemotong dan pengupas *cladding*: *fiber cleaver* (a), *polishing paper* (b).



3. Peralatan pengukuran *specific gravity* dengan metode gravimetri: Timbangan (a), Gelas ukur (b).



(a)



(b)

4. Sensor serat optik tanpa cacat, 1 cacat struktur, 2 cacat struktur, dan 3 cacat struktur (dari kiri ke kanan)



## BIODATA PENULIS



Lahir pada tanggal 10 Juni 1994 di Jakarta. Penulis bernama Junivan Sulistianto, merupakan anak ketiga dari tiga bersaudara. Riwayat pendidikan formal penulis dimulai dari SDI Al-Azhar 23 Bekasi, dilanjutkan pendidikan menengah pertama di SMPI Al-Azhar 9 Bekasi dan pendidikan menengah atas di SMAI Al-Azhar 4 Bekasi, kemudian penulis melanjutkan ke jenjang perguruan tinggi di Jurusan Teknik

Fisika Institut Teknologi Sepuluh Nopember pada tahun 2012. Pada saat kuliah, penulis aktif sebagai staf dan wakil kepala di salah satu departemen di Himpunan Mahasiswa Teknik Fisika ITS. Penulis juga aktif sebagai asisten laboratorium Rekayasa Fotonika Jurusan Teknik Fisika,. Melalui Penelitian ini, penulis berharap penelitian ini bermanfaat untuk penelitian selanjutnya dan berdampak positif pada perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi bagi bangsa dan negara.