



TUGAS AKHIR TF 141581

DESAIN SENSOR BERBASIS *PLASTIC OPTICAL FIBER* (POF) DENGAN KONFIGURASI *U-SHAPED* UNTUK DETEKSI KANDUNGAN LEMAK BABI TERLARUT PADA MINYAK SAWIT

FADHEL ISLAMY HUSADA
NRP 02311440000063

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

Departemen Teknik Fisika
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2018



Final Project 141581

**DESIGN OF SENSOR BASED ON PLASTIC OPTICAL
FIBER (POF) WITH U-SHAPED CONFIGURATION
FOR DETECTION OF LARD ADULTERATION IN
PALM OIL**

FADHEL ISLAMY HUSADA
NRP 02311440000063

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

Engineering Physics Departement
Faculty of Industrial Technology
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2018

PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

Saya yang bertanda tangan di bawah ini

Nama : Fadhel Islamy Husada

NRP : 02311440000063

Departemen : Teknik Fisika FTI-ITS

dengan ini menyatakan bahwa tugas akhir saya yang berjudul “DESAIN SENSOR BERBASIS *PLASTIC OPTICAL FIBER* (POF) DENGAN KONFIGURASI *U-SHAPED* UNTUK DETEKSI KANDUNGAN LEMAK BABI TERLARUT PADA MINYAK SAWIT” adalah bebas plagiasi. Apabila pernyataan ini terbukti tidak benar, maka saya bersedia menerima sanksi sesuai ketentuan yang berlaku.

Demikian surat pernyataan ini saya buat dengan sebenar-benarnya.

Surabaya, 23 Juli 2018

Yang membuat pernyataan,



Fadhel Islamy Husada

LEMBAR PENGESAHAN
DESAIN SENSOR BERBASIS *PLASTIC OPTICAL FIBER*
(POF) DENGAN KONFIGURASI U-SHAPED UNTUK
DETEKSI KANDUNGAN LEMAK BABI TERLARUT
PADA MINYAK SAWIT

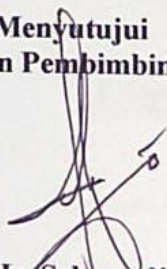
TUGAS AKHIR

Oleh

Fadhel Islamy Husada
NRP 0231440000063

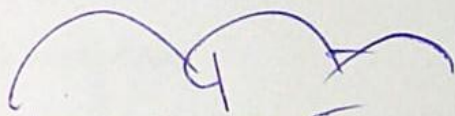
Surabaya, Juli 2018

Menyetujui
Dosen Pembimbing I



Prof. Dr. Ir. Sekartedjo, M.Sc
NIP. 19500402 197901 1 001

Menyetujui
Dosen Pembimbing II



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

Mengetahui
Kepala Departemen
Teknik Fisika FTI-ITS



Agus Muhammad Hatta, S.T., M.Si, Ph.D
NIP. 19780902 200312 1 002

LEMBAR PENGESAHAN
DESAIN SENSOR BERBASIS *PLASTIC OPTICAL FIBER*
(POF) DENGAN KONFIGURASI *U-SHAPED* UNTUK
DETEKSI KANDUNGAN LEMAK BABI TERLARUT
PADA MINYAK SAWIT

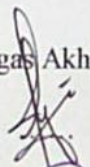
TUGAS AKHIR

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

Oleh:

FADHEL ISLAMY HUSADA
0231144000063

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir:

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

SURABAYA
JULI 2018

DESAIN SENSOR BERBASIS PLASTIC OPTICAL FIBER (POF) DENGAN KONFIGURASI U-SHAPED UNTUK DETEKSI KANDUNGAN LEMAK BABI TERLARUT PADA MINYAK SAWIT

Nama : Fadhel Islamy Husada
NRP : 02311440000063
Departemen : Teknik Fisika
Dosen Pembimbing: Prof. Dr. Ir. Sekartedjo, M.Sc
Agus Muhamad Hatta, S.T., M.Si., Ph.D

ABSTRAK – Minyak sawit merupakan bahan makanan yang umum dikonsumsi dan ditemukan adanya tindakan pencampuran bahan makanan lain, salah satunya yaitu lemak babi. Tindakan pencampuran minyak dengan lemak babi menyebabkan beberapa masalah seperti dalam hal norma dan kesehatan. Beberapa metode telah dikembangkan untuk mendeteksi kandungan lemak babi (*lard*) pada bahan makanan, diantaranya adalah berbasis spektroskopi seperti spektroskopi inframerah dan metode kompleks, mahal dan membutuhkan tenaga ahli terlatih. Di sisi lain serat optik plastik dengan konfigurasi *u-shaped* telah banyak dikembangkan sebagai biosensor. Dengan memanfaatkan fenomena medan evanescent dan pengaruh perubahan indeks bias terhadap daya optik yang ditransmisikan, telah dirancang sebuah sensor berbasis serat optik plastik dengan konfigurasi *u-shaped* untuk deteksi kandungan lemak babi terlarut pada minyak sawit. Hasil pengujian menunjukkan bahwa performa desain sensor berbasis serat optik plastik dengan konfigurasi *u-shaped* yang paling optimal adalah jika digunakan sumber cahaya LED inframerah dengan diameter lekukan 50 mm dan panjang kupasan cladding 2 cm, dimana diperoleh nilai sensitivitas 0.15630352 μW per % campuran lemak babi.

Kata kunci: Serat optik plastik, konfigurasi *u-shaped*, medan *evanescent*, indeks bias

DESIGN OF SENSOR BASED ON PLASTIC OPTICAL FIBER (POF) WITH U-SHAPED CONFIGURATION FOR DETECTION OF LARD ADULTERATION IN PALM OIL

Name : Fadhel Islamy Husada
NRP : 02311440000063
Departement : Teknik Fisika
Supervisors : Prof. Dr. Ir. Sekartedjo, M.Sc
Agus Muhamad Hatta, S.T., M.Si., Ph.D

***ABSTRACT** – Palm oil is one of common consumed raw food and found adulterated with another materials such as lard. Palm oil adulteration cause some problems in norms and health. Some methods have been developed in detect lard mixing in foods such as spectroscopy based methods, including infrared spectroscopy and some methods which is complex, expensive, and need of experts. In other side, plastic optical fiber with u-shaped configuration has been developed as biosensors. Through utilization of evanescent field and effect of the change of refractive index to the transmitted power, it has been design a sensor based on plastic optical fiber to detect lard adulteration in palm oil. Experiments show that the most optimal sensor design based on plastic optical fiber with u-shaped configuration is sensor with Infrared LED as light source, 50 mm curvature radius, dan 2 cm length of peeled cladding with sensitivity 0.15630352 μW / % lard concentration.*

Keyword: Plastic Optical fiber, u-shaped configuration, evanescent field, refractive index

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT atas limpahan rahmat dan karuniaNya seta shalawat dan salam kepada Nabi Muhammad SAW atas terselesaikannya tugas akhir dengan judul:

“Desain Sensor Berbasis *Plastic Optical Fiber* (POF) Dengan Konfigurasi *U-Shaped* Untuk Deteksi Kandungan Lemak Babi Terlarut Pada Minyak Sawit”.

Penulis telah mendapatkan banyak bantuan dan dukungan dari berbagai pihak dalam menyelesaikan tugas akhir ini. Untuk itu penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Bapak Agus Muhamad Hatta, S.T., M.Si., Ph.D, selaku Ketua Departemen Teknik Fisika FTI-ITS dan pembimbing tugas akhir yang telah memberikan bimbingan dan arahan kepada penulis dalam menyelesaikan tugas akhir ini.
2. Bapak Prof. Dr. Ir. Sekartedjo, M.Sc dan Bapak Agus Muhamad Hatta, S.T., M.Si., Ph.D selaku pembimbing tugas akhir telah membimbing, mengarahkan, dan memberikan banyak ilmu untuk penulis dalam penelitian ini.
3. Ibu, Bapak, beserta adik - adik yang senantiasa memberi semangat dan membantu secara moril maupun spiritual
4. Ika Puspita S.T, M.T, Rinda Nur Hidayati S.T, dan Achmadi S.T yang telah membimbing penulis dalam penelitian ini
5. Dan semua rekan – rekan dan pihak yang turut membantu dan memperlancar tugas akhir ini.

Kritik dan saran untuk kesempurnaan laporan tugas akhir ini sangat diharapkan oleh penulis. Semoga laporan tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi pembaca.

Surabaya, Juli 2018

Penulis

DAFTAR ISI

Halaman Judul Indonesia	i
Halaman Judul Inggris	iii
Pernyataan Bebas Plagiasi	v
Lembar Pengesahan	vii
Abstrak	xi
Abstract	xiii
Kata Pengantar	xv
Daftar Isi	xvii
Daftar Gambar	xix
Daftar Tabel	xxiii
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan	3
1.4 Batasan Masalah	4
1.5 Sistematika Laporan.....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Sensor	5
2.2 Indeks Bias.....	6
2.3 Serat Optik Plastik	7
2.4 Sensor Serat Optik Konfigurasi <i>U-Shaped</i> Dan Prinsip Pemanduan Gelombangnya.....	9
2.5 Numerical Aperture Mismatch Loss	10
2.6 Macrobending Loss dan Refractive Loss	12
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	14
3.1 Persiapan Alat, Bahan dan Sampel.....	17
3.2 Perumusan Masalah	19
3.3 Studi Literatur	19
3.4 Persiapan Alat, Bahan, Serta Sampel Minyak Sawit Dan Minyak Sawit Dengan Campuran Lemak Babi	19
3.5 Karakterisasi LED.....	19
3.6 Pengujian fiber plastik lurus dengan kupasan <i>jacket</i> , serta kupasan <i>jacket</i> dan <i>cladding</i>	20

3.7	Perancangan dan Fabrikasi Sensor Berstruktur <i>U-Shaped</i>	21
3.8	Pengujian Serat Optik Berstruktur <i>U-shaped</i> tanpa.....	23
3.9	Pengujian sensor POF berstruktur <i>U-shaped</i> pada minyak zaitun dan minyak sawit dengan campuran lemak babi.....	24
3.10	Analisa Kinerja Sensor.....	26
3.11	Pengambilan data	27
3.12	Pembahasan hasil penelitian dan penulisan laporan. ...	27
BAB IV	HASIL DAN PEMBAHASAN	29
4.1	Prinsip kerja sensor	29
4.2	Hasil karakterisasi LED inframerah dan LED merah ..	31
4.3	Hasil perhitungan matematis perbandingan konfigurasi lurus dan konfigurasi <i>u-shaped</i>	33
4.4	Hasil dan Analisa Pengujian Daya yang Ditransmisikan Pada POF dengan Lekukan	35
BAB V	KESIMPULAN.....	53
5.1	Kesimpulan	53
5.2	Saran	53
LAMPIRAN A		59
LAMPIRAN B		67
LAMPIRAN C		72

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1	Daerah kerja serat optik plastik POF [13].....	8
Gambar 2. 2	Perbandingan serat optik kaca silika multimode dengan serat optik plastik multimode [14].....	9
Gambar 2. 3	Sinar – sinar terpandu pada bagian lengkung [15].....	10
Gambar 2. 4	Skema Numerical Aperture Mismatch Loss ...	11
Gambar 2. 5	Skema rugi daya refraktif akibat perubahan indeks bias cladding [19].....	14
Gambar 2. 6	Daerah sensing untuk probe sensor U-shaped dan ilustrasi evanescent wave [20]	14
Gambar 3. 1	Diagram Alir Penelitian.....	18
Gambar 3. 2	Setup karakterisasi LED	20
Gambar 3. 3	Setup pengujian serat optik plastik dengan konfigurasi lurus.....	20
Gambar 3. 4	Grafik nilai indeks bias campuran minyak sawit dengan lemak babi terhadap konsentrasi campuran.....	22
Gambar 3. 5	Desain konfigurasi pengujian	24
Gambar 3. 6	Probe sensor serat optik plastik berstruktur U-shaped	24
Gambar 3. 7	Susunan penngambilan data uji	25
Gambar 3. 8	Kondisi pencelupan probe sensor	25
Gambar 3. 9	Diagram alir pengambilan data.....	26
Gambar 4. 1	Skema prinsip kerja sensor serat optik plastik konfigurasi lurus.....	29
Gambar 4. 2	Skema prinsip kerja sensor serat optik plastik dengan konfigurasi u-shaped	30
Gambar 4. 3	Grafik perbandingan nilai rugi daya akibat lekukan dengan panjang kupasan lapisan cladding 1cm dan 2 cm.....	31
Gambar 4. 4	Hasil Karakterisasi LED inframerah.....	32
Gambar 4. 5	Grafik hasil karakterisasi LED merah	32

Gambar 4. 6	Grafik perbandingan jumlah moda yang dipandu pada serat optik plastik dengan cladding fluorinated polymer, minyak zaitun + lard, dan minyak sawit + lard.	33
Gambar 4. 7	Grafik jumlah moda terpandu pada pencelupan serat optik dengan sampel minyak sawit + lard dengan sumber cahaya LED merah	34
Gambar 4. 8	Grafik jumlah moda terpandu pada pencelupan serat optik dengan sampel minyak sawit + lard dengan sumber cahaya LED inframerah	34
Gambar 4. 9	Hasil Pengujian Daya yang ditransmisikan pada POF dengan <i>Jacket</i> dan <i>Jacket</i> dikupas dengan variasi lekukan.....	35
Gambar 4. 10	Grafik perbandingan daya yang ditransmisikan pada serat optik plastik yang ditebuk dengan jacket dan cladding dikupas 1 cm	37
Gambar 4. 11	Grafik perbandingan daya yang ditransmisikan pada serat optik plastik yang ditebuk dengan jacket dan cladding dikupas 2 cm	39
Gambar 4. 12	Grafik perbandingan nilai rugi daya akibat lekukan (Macrobent loss) dengan kondisi kupasan cladding 1cm dan 2cm	40
Gambar 4. 13	Hasil pengujian sensor dengan konfigurasi U-shaped – LED inframerah dengan kupasan jacket dan cladding sepanjang 1cm pada sampel	41
Gambar 4. 14	Hasil pengujian sensor dengan konfigurasi U-shaped – LED inframerah dengan kupasan jacket dan cladding sepanjang 2cm pada sampel	43
Gambar 4. 15	Hasil pengujian sensor dengan konfigurasi U-shaped – LED merah dengan kupasan jacket dan cladding sepanjang 1cm dengan sampel	45
Gambar 4. 16	Hasil pengujian sensor dengan konfigurasi U-shaped – LED merah dengan kupasan jacket dan cladding sepanjang 2cm dengan sampel	47

Gambar 4. 17	Hasil pengujian sensor serat optik plastik dengan diameter lekukan 40mm pada sampel minyak sawit + lard 0% - 5%.....	49
Gambar 4. 18	Hasil pengujian sensor serat optik plastik dengan diameter lekukan 50mm pada sampel minyak sawit + lard 0% - 5%.....	51
Gambar 4. 19	Hasil pengujian sensor serat optik plastik dengan diameter lekukan 50 mm pada sampel minyak sawit + lard 1% - 5% dengan fitting linear	51

DAFTAR TABEL

Tabel 4. 1	Perbandingan daya yang ditransmisikan pada konfigurasi POF lurus.....	36
Tabel 4. 2	Perbandingan Daya yang ditransmisikan pada kondisi serat optik dengan kupasan jacket 1 cm dan variasi lekukan dan LED	36
Tabel 4. 3	Perbandingan Daya yang ditransmisikan pada kondisi serat optik dengan kupasan jacket 2 cm dan variasi lekukan dan LED	37
Tabel 4. 4	Perbandingan daya yang ditransmisikan pada serat optik dengan kondisi kupasan jacket dan cladding sepanjang 1 cm dan variasi lekukan serta LED ...	38
Tabel 4. 5	Perbandingan Daya yang ditransmisikan pada kondisi serat optik dengan kupasan jacket dan cladding sepanjang 2 cm dan variasi lekukan serta LED	39
Tabel 4. 6	Data hasil pengujian sensor berbasis serat optik plastik u-shaped – LED inframerah dengan pencelupan pada sampel Palm + 0% Lard dan Palm + 5% Lard.....	42
Tabel 4. 7	Data hasil pengujian sesnsor berbasis serat optik plastik dengan pencelupan pada sampel Palm + 0% Lard dan Palm + 5% Lard.....	43
Tabel 4. 8	Data hasil pengujian sesnsor berbasis serat optik plastik dengan pencelupan pada sampel Palm + 0% Lard dan Palm + 5% Lard.....	46
Tabel 4. 9	Data hasil pengujian sesnsor berbasis serat optik plastik dengan pencelupan pada sampel Palm + 0% Lard dan Palm + 5% Lard.....	47
Tabel 4. 10	Karakterisitik statik sensor berbasis serat optik plastik dengan konfigurasi u-shaped diameter bent 40mm dan kupasan 1cm dengan LED inframerah50	

Tabel 4. 11 Karakteristik statik sensor berbasis serat optik
plastik dengan konfigurasi u-shaped diameter bent
50 mm dan kupasan 2 cm dengan LED inframerah
..... 52

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Makanan merupakan salah satu kebutuhan manusia yang harus dipenuhi setiap harinya. Dalam pemilihan makanan ada beberapa aspek yang perlu diperhatikan sehingga makanan yang dikonsumsi memenuhi nutrisi yang dibutuhkan, sehat, higienis, serta dapat dikonsumsi dengan baik sesuai norma yang berlaku. Pada beberapa makanan, ditemukan makanan dengan kandungan lemak babi di dalamnya, dimana sebagaimana masyarakat Indonesia tidak mengkonsumsi bahan makanan yang diolah dari babi karena tidak sesuai dengan norma yang berlaku.

Beberapa makanan diolah dengan pencampuran bahan makanan lain sebagai salah satu bahan utama maupun bahan pelengkap sebagai contoh mentega, minyak zaitun, dan minyak sawit. Minyak sawit merupakan salah satu bahan makanan yang paling umum dikonsumsi sehari – hari. Pada minyak sawit yang dipasarkan, ditemukan adanya tindak pencampuran bahan lain seperti minyak babi. Pencampuran bahan lain pada minyak sawit dapat menyebabkan beberapa masalah seperti dalam hal norma dan kesehatan. Dalam kategori makanan sehari – hari, minyak sawit merupakan sumber yang bagus dari vitamin yang larut dalam lemak seperti vitamin A, D, E, dan K. Dalam beberapa kasus, pemalsuan dilakukan dengan pencampuran bahan makanan tersebut dengan berbagai bahan lain karena minyak menjadi bahan makanan yang bernilai cukup tinggi harganya dibandingkan bahan makanan lain sehingga menyebabkan pemain industri di bidang lemak hewani melakukan pemalsuan mentega dan minyak dengan mencampur menggunakan lemak ayam, lemak domba, dan lemak babi (lard) [1]. Pemalsuan biasanya dilakukan untuk mengganti sumber lemak nabati atau sumber lemak hewani dengan lemak maupun sumber lemak dari daging jenis lain dan dijual dengan harga yang murah. Minyak sawit sering digantikan dengan alternatif lain dalam penjualan dengan harga yang rendah baik minyak sawit yang biasa maupun minyak sawit dengan harga yang tinggi. Tindakan pemalsuan, seperti pencampuran minyak dengan

bahan seperti *hazelnut*, kedelai, jagung, biji bunga matahari, minyak sayur, minyak zaitun, dan lemak babi dapat menimbulkan masalah salah satunya yaitu alergi makanan. [2]

Pada penelitian sebelumnya, telah dilakukan beberapa metode dalam deteksi kandungan lemak babi dan substansi lainnya berupa pengujian spektroskopi dan non spektroskopi. Penelitian menggunakan spektroskopi yang telah dilakukan sebelumnya adalah Spektroskopi infra merah, Spektroskopi Raman, dan spektroskopi Nuclear magnetic resonance (NMR) [3]. Pengujian non-spektroskopi yang telah dilakukan adalah metoda deteksi dengan menggunakan *Differential scanning calorimetry* (DCS), *polymerase chain reaction* (PCR), high performance liquid chromatography, teknik *enzyme-linked immunosorbent assay* (ELISA) [4] kromatografi gas dan spektroskopi massa (*Gas Chromatography Mass Spectroscopy*) [5]. Meskipun teknik deteksi berbasis DNA ini cukup sensitif dan handal namun teknik ini membutuhkan biaya yang cukup besar dan memerlukan tenaga ahli dalam ekstraksi DNA dan ekstraksi protein. Metode kimiawi juga memerlukan banyak waktu serta adanya reaksi silang yang menyebabkan perolehan data yang kurang tepat. [4]

Lemak babi (lard) merupakan salah satu turunan dari babi yang diperoleh dari jaringan adiposa babi. Pada beberapa negara, lemak babi merupakan lemak yang dapat dimakan dan berharga murah sehingga banyak disalahgunakan dalam pencampuran pada makanan untuk mengurangi biaya produksi. Minyak sayur dan lemak hewani termasuk lemak babi umumnya tersusun dari triasilgliserol (triacylglycerols), diasilgliserol (diacylglycerol), asam lemak bebas dan komponen minor lain seperti fosfolipid, sterol, tocoperol, karotenoid, dan vitamin yang larut dalam lemak [6].

Serat optik plastik (Plastic Optical Fiber) digunakan sebagai sensor karena telah menunjukkan banyak kelebihan untuk dijadikan sensor yang lebih kuat, ekonomis, dan serbaguna [7], termasuk attenuasi yang kecil pada rentang visible, sudut penerimaan yang lebih lebar, dan sifat – sifat mekanis yang menyebabkan ketahanan dan keandalan terhadap lingkungan. Serat optik plastik dapat dilekukan tanpa merusak dan secara kimiawi serat optik plastik

bersifat netral [8]. Serat optik menjadi salah satu solusi yang menarik untuk pengembangan sensor dalam pendeteksian campuran bahan lain di dalam makanan karena sensitivitas yang tinggi, ukuran yang kecil, serta ketahanan pada interferensi elektromagnetik. Sensor serat optik plastik dengan konfigurasi *U-shape* sebagai sensor telah dilakukan pada penelitian sebelumnya dengan bagian *cladding* yang telah dikupas berperan sebagai daerah sensitif untuk mendeteksi perubahan yang diinginkan. Oleh karena itu, pada tugas akhir ini dilakukan penelitian untuk merancang suatu komponen pengukuran berupa sensor berbasis serat optik plastik (*plastic optical fiber*) dengan konfigurasi *U-shaped* untuk deteksi lemak babi sebagai salah satu rancangan metode baru dalam deteksi campuran lemak babi pada minyak sawit yang murah, cepat, dan memberikan hasil yang lebih akurat.

1.2 Rumusan Masalah

Permasalahan yang akan dibahas pada penelitian tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana pengaruh panjang gelombang dari sumber cahaya serta diameter lekukan serat optik plastik yang digunakan terhadap karakteristik statik sensor serat optik berstruktur *U-shaped*?
2. Bagaimana desain sensor serat optic plastik berstruktur *U-shaped* yang paling optimal untuk deteksi kandungan minyak babi pada minyak sawit?

1.3 Tujuan

Tujuan dilakukannya tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Analisis hubungan panjang gelombang dari sumber cahaya dan diameter lekukan serat optik plastik yang digunakan terhadap karakteristik statik sensor serat optik berstruktur *U-shaped*
2. Diperolehnya desain sensor serat optik plastik berstruktur *U-shaped* untuk deteksi campuran lemak babi pada minyak sawit.

1.4 Batasan Masalah

Batasan masalah dalam pelaksanaan tugas akhir ini antara lain:

1. Minyak sawit yang digunakan adalah merk Sunco.
2. Diameter lekukan yang digunakan adalah 10 mm hingga 70 mm
3. Konsentrasi campuran lemak babi pada sampel uji adalah 0% - 5%

1.5 Sistematika Laporan

Laporan tugas akhir ini tersusun atas lima bab yang tersusun secara sistematis dengan rincian sebagai berikut:

BAB I PENDAHULUAN

Bab ini menjelaskan latar belakang, rumusan masalah, tujuan, batasan masalah, dan sistematika penulisan laporan pada tugas akhir ini.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Pada bab ini dijelaskan mengenai beberapa teori dasar yang menunjang penelitian tugas akhir ini, diantaranya sensor, serat optik plastik, serat optik dengan konfigurasi *U-shaped*, medan *evanescent*.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini memberikan penjelasan detail tahapan-tahapan yang dilakukan untuk menyelesaikan penelitian tugas akhir ini.

BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini dijelaskan hasil dan pembahasan pada perancangan dan pengujian sensor berbasis serat optik plastik untuk deteksi kandungan lemak babi terlarut pada minyak sawit.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini terdiri dari kesimpulan dari penelitian tugas akhir ini dan saran yang dapat diberikan untuk penelitian selanjutnya.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini berisi teori dasar yang melandasi alur berfikir dalam menyelesaikan permasalahan dan mencapai tujuan dari penelitian tugas akhir ini. Teori – teori tersebut mencakup hal – hal yang mendukung dan menjadi dasar rujukan dalam tugas akhir terkait sensor berbasis serat optik plastik, konfigurasi *u-shaped* dan sensor.

2.1 Sensor

Sistem pengukuran terdiri dari empat elemen yaitu elemen pengukuran, elemen pengkonsian sinyal, elemen pemrosesan sinyal, dan elemen display. Sensor merupakan elemen pertama dalam sistem pengukuran yang bersinggungan langsung dengan proses. Output dari sensor bergantung pada variabel yang diukur [9].

Sensor memiliki dua jenis karakteristik yaitu karakteristik statik dan karakteristik dinamis. Karakteristik statik tidak bergantung terhadap waktu. Menurut Bentley, sensor mempunyai karakteristik statik sebagai berikut:

- a. Range
Range masukan merupakan selisih nilai maksimum masukan (I_{min}) dan minimum masukan (I_{maks}). Range keluaran merupakan selisih nilai maksimum keluaran (O_{min}) dan minimum keluaran (O_{maks}).
- b. Span
Span merupakan rentang nilai masukan atau keluaran yang dapat diukur oleh sensor.
- c. Linieritas
Linieritas merupakan keadaan ideal suatu alat ukur dimana masukan pengukuran memberikan keluaran pengukuran yang berbanding lurus. Berikut ini adalah persamaan yang digunakan untuk menghitung linieritas:
$$O_{ideal} = KI + a \quad (2.1)$$
dengan:

$$K = \text{slope garis lurus ideal} = \frac{O_{maks} - O_{min}}{I_{maks} - I_{min}}$$

$$a = \text{intercept garis lurus ideal} = O_{min} - KI_{min}$$

d. Sensitivitas

Sensitivitas merupakan perubahan selisih keluaran terhadap perubahan selisih masukan. Sensitivitas menunjukkan kepekaan sensor terhadap kuantitas yang diukur. Berikut ini adalah persamaan yang digunakan untuk menghitung sensitivitas:

$$\text{Sensitivitas} = \frac{O_{maks} - O_{min}}{I_{maks} - I_{min}} \times 100\% \quad (2.2)$$

e. Resolusi

Resolusi didefinisikan sebagai perubahan masukan yang dapat memberikan perubahan output terkecil. Resolusi dapat dihitung menggunakan persamaan;

$$\text{Resolusi} = \frac{\Delta I_R}{I_{MAX} - I_{MIN}} \times 100\% \quad (2.3)$$

dengan

ΔI_R = perubahan input sensor

2.2 Indeks Bias

Secara sederhana, indeks bias merupakan nilai yang menunjukkan bagaimana perambatan cahaya melalui medium. Cahaya merupakan salah satu jenis gelombang elektromagnetik dengan sifat – sifat tertentu. Ketika cahaya melalui batas antar dua medium dengan indeks bias berbeda, maka cahaya tersebut akan mengalami perubahan arah rambat serta kecepatan. Indeks bias merupakan perbandingan kecepatan cahaya di ruang hampa dan kecepatan cahaya pada medium. Cahaya pada ruang hampa memiliki kecepatan 3×10^8 m/s, dan akan mengalami perubahan ketika cahaya melalui sebuah medium. Hal ini tergantung dari karakteristik material yang dilewati oleh cahaya. Secara matematis, indeks bias didefinisikan dengan persamaan sebagai berikut :

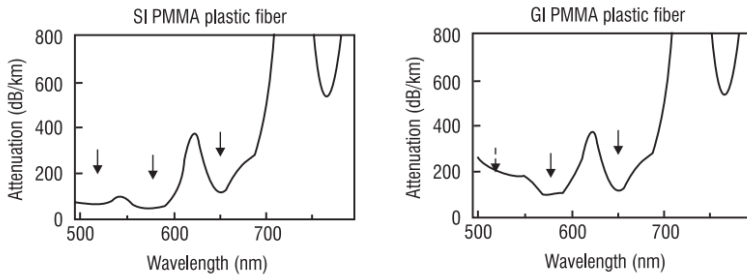
$$n = \frac{c}{v} \quad (2.4)$$

Pada umumnya, material memiliki indeks bias ≥ 1 , dengan indeks bias terkecil adalah indeks bias udara dengan nilai indeks bias 1.

2.3 Serat Optik Plastik

Serat optik merupakan suatu pemandu gelombang dielektrik yang berbentuk silinder terbuat dari material *low-loss* seperti kaca silica dan plastik. Bagian utama dari serat optik terdiri dari *core* dan *cladding* yang memiliki indeks bias yang berbeda dengan indeks bias *core* lebih besar daripada indeks bias *cladding* yang bertujuan agar terjadinya *total internal reflection* (TIR). TIR merupakan sebuah fenomena dimana cahaya yang masuk ke dalam serat optik diteruskan hingga keluar dari serat optik dengan pemantulan pada batas antara *core* dan *cladding* tanpa pembiasan [10]. *Plastic Optical Fiber* merupakan serat optik yang terbuat dari plastik sejenis polistiren, polikarbonat, serta polimetil akrilik (PMMA) sebagai *core* yang memiliki rentang transmisi pada rentang cahaya tampak. POF memiliki kelebihan berupa lebih sederhana dan lebih murah, lebih fleksibel dan tahan terhadap lekukan (*bending*), tekanan, dan getaran, memiliki ketahanan terhadap interferensi elektromagnetik (*electromagnetic interference*). [11]

Serat optik plastik terbuat dari material plastik seperti polistiren, polikarbonat, dan polimetil metaakrilat (PMMA). Material ini memiliki nilai transmisi pada rentang cahaya tampak (520-780 nm). Tetapi *loss* dari cahaya yang ditransmisikan pada panjang gelombang ini bernilai tinggi. Untuk bahan PMMA berada pada rentang 150 dB/km dan 1000 dB/km untuk polistiren dan polikarbonat [12].



Gambar 2. 1 Daerah kerja serat optik plastik POF [13]

Berikut adalah kelebihan serat optik palstik [12]

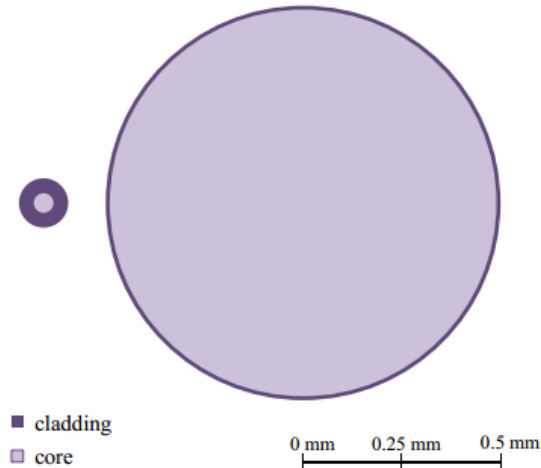
1. Komponen lebih sederhana dan lebih murah
2. Lebih ringan
3. Beroperasi di rentang cahaya tampak
4. Lebih fleksibel, lebih tahan terhadap lekukan, kejutan, dan getaran
5. Tahan terhadap interferensi elektromagnetik (EMI)
6. Penanganan mudah dan penyambungan mudah
7. Lebih aman dibandingkan fiber jenis kaca maupun fiber jenis perak yang memerlukan sumber cahaya laser

Adapun kekurangan serat optik plastik adalah sebagai berikut : [12]

1. *Loss* yang besar selama transmisi data
2. Kurangnya standar
3. Produksi yang terbatas sehingga pengguna telat menyadari potensi yang dimiliki POF

Seperti serat optik silika, pertama kali dikembangkan memiliki profil *step index* dengan nilai *numerical aperture* yang besar, biasanya 0.5 sehingga mempropagasikan moda dengan jumlah yang besar (10^4 - 10^6). Adapun kekurangannya adalah

tingginya tingkat dispersi moda dan berakibat pada lebih pendeknya bandwidth. Berikut adalah perbandingan antara serat optik kaca jenis *multimode* dan serat optik plastik jenis *multimode* untuk lapisan *cladding* dan *core* : [14]



Gambar 2. 2 Perbandingan serat optik kaca silika multimode dengan serat optik plastik multimode [14]

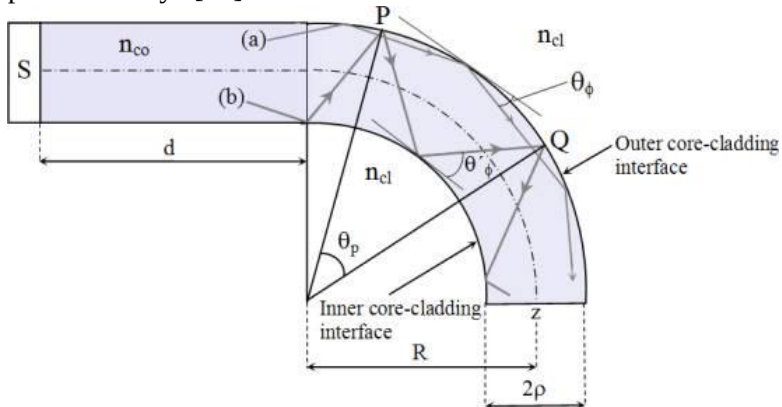
Gambar 2.2 menunjukkan perbedaan ukuran serat optik kaca dan serat optik plastik. Serat optik plastik memiliki ukuran yang lebih besar dibandingkan dengan serat optik silika. Serat optik plastik memiliki diameter hingga 1 mm dibandingkan dengan serat optik silika yang berukuran 8-10 μm . Spesifikasi serat optik plastik yang digunakan dapat dilihat pada lampiran B.

2.4 Sensor Serat Optik Konfigurasi *U-Shaped* Dan Prinsip Pemanduan Gelombangnya

Sensor serat optik dengan konfigurasi *U-shaped* dengan pengupasan jaket serta *cladding* pada area sensitifnya menyebabkan bagian inti dari serat optik mengalami kontak langsung dengan bahan sehingga dapat direpresentasikan dengan koefisien transmisi daya (T) melalui persamaan (2.5)

$$T = 1 - \left(\frac{\text{power in the reflected ray}}{\text{power in the incident ray}} \right) \quad (2.5)$$

Dalam pemanduan gelombang planar dalam serat optik dengan prinsip step indeks, profil lekukan yang diberikan pada saat membentuk konfigurasi *U-shaped* akan menyebabkan munculnya jalur – jalur perambatan dengan pola tertentu seperti pada gambar 2.3, dimana rute penjalaran sinar untuk rute (a) yaitu hanya terjadi pemantulan pada antarmuka bagian luar (*external interface*) sedangkan rute b dimana terjadi pemantulan pada antar muka bagian dalam dan bagian luar serta membentuk garis lurus diantara pemantulannya [15]



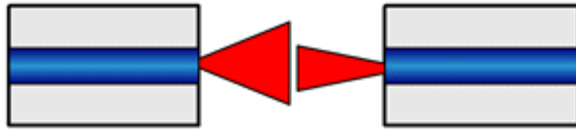
Gambar 2. 3 Sinar – sinar terpandu pada bagian lengkung [15]

n_{core} merupakan indeks bias core serat optik, n_{clad} merupakan indeks bias *cladding*. Adanya lekukan akan merubah lintasan sinar pada serat optik sehingga sinar akan terbias akibat tidak terpenuhinya persyaratan *Total Internal Reflection* (TIR). Pembiasan ini akan berujung pada adanya pengurangan daya yang ditransmisikan (loss) pada serat optik.

2.5 Numerical Aperture Mismatch Loss

Numerical Aperture (NA) Mismatch Loss merupakan kehilangan daya akibat peristiwa dimana terdapat dua buah serat

optik yang memiliki beda *Numerical Aperture* tergabung menjadi satu. Seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.4 berikut :



Gambar 2. 4 Skema *Numerical Aperture Mismatch Loss*

Loss terjadi ketika NA dari receiving fiber lebih kecil dari emitting fiber. Semakin besar perbedaan NA dari kedua serat optik, maka akan semakin besar loss pada sambungan. NA mismatch loss direpresntasikan dengan persamaan berikut :

$$NA \text{ Mismatch Loss} = -10 \log \left[\left(\frac{NA_{receiving \ fiber}}{NA_{emitting \ fiber}} \right)^2 \right] \quad (2.5)$$

Satuan dari NA mismatch loss adalah decibel (dB). Untuk menghitung NA pada serat lurus yang merupakan $NA_{emitting \ fiber}$ digunakan persamaan sebagai berikut :

$$NA_{lurus} = \sqrt{(n_{core}^2 - n_{clad}^2)} \quad (2.6)$$

Berdasarkan nilai indeks bias inti dan indeks bias selubung (*cladding*), maka NA pada serat optik lurus dapat dihitung. Pada daerah sensitif, yaitu daerah selubung serat optik yang dikupas, indeks bias selubung pengganti bervariasi sesuai dengan medium yang digunakan. Sementara itu menurut hasil penelitian Fu Huajie (1993) untuk menghitung *Numerical Aperture* pada serat optik lengkung dapat digunakan persamaan : [16]

$$NA_{lengkung} = \sqrt{NA^2 - n_{clad}^2 \left(2 + \frac{a}{R} \right) \left(\frac{a}{R} \right)} \quad (2.7)$$

Dimana :
 - NA = *Numerical Aperture* Kondisi Lurus
 - n_{clad} = indeks bias selubung

- n_{core} = indeks bias inti
- a = jari – jari serat optik (m)
- R = radius bending (m)

Berdasarkan persamaan ini dapat dihitung nilai NA serat optik pada kondisi lurus dan ketika diberikan lekukan dan dapat dihitung nilai NA *mismatch loss* yang terjadi saat diberikan variasi indeks bias selubung serat optik.

Dari nilai NA baru yang telah diperoleh akibat pergantian *cladding* yang telah dikupas dengan *cladding* baru dengan sampel yang digunakan, dapat dihitung jumlah moda yang dipandu pada serat optik plastik yang digunakan. Secara empiris jumlah moda yang dipandu pada serat optik dapat dihitung dengan persamaan berikut :

$$V = \frac{2\pi}{\lambda} a NA = \frac{2\pi}{\lambda} a \sqrt{n_{core}^2 - n_{cladd}^2} \quad (2.8)$$

- Dimana :
- V = Jumlah moda yang dipandu
 - λ = Panjang gelombang transmitter
 - a = diameter core serat optik

2.6 Macrobending Loss dan Refractive Loss

Rugi daya akibat lekukan *macro* (*macrobending loss*) merupakan jenis rugi daya yang dapat diamati pada serat optik ketika serat optik diberikan lekukan dengan radius beberapa sentimeter atau lebih kecil. Secara empiris, *macrobend loss* dapat direpresentasikan sebagai berikut : [17]

$$\gamma_{bend} = 10 \log \frac{\alpha + 2}{(2\alpha)(\frac{\alpha}{R\Delta})} \quad (2.9)$$

Dimana

- γ_{bend} = *Macrobend Loss*
- Δ = indeks elevasi
- R = radius lekukan
- a = radius core

α = profil parameter

atau dapat diperoleh dengan persamaan berikut : [18]

$$\alpha \left[\frac{dB}{m} \right] = \frac{10 \cdot \log \left(\frac{P_0}{P_B} \right)}{\pi \cdot D_B} \quad (2.10)$$

Dimana α = *Macrobend loss*

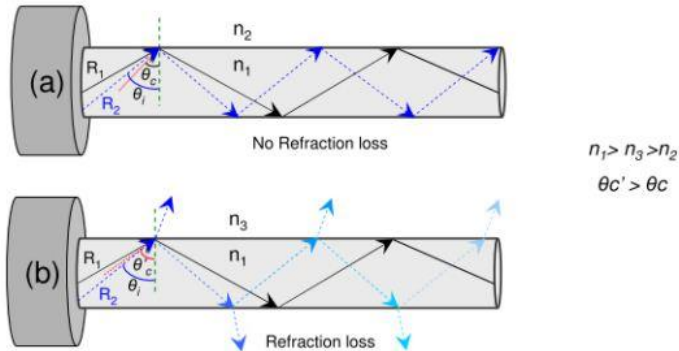
P_0 = Daya yang ditransmisikan pada konfigurasi lurus

P_B = Daya yang ditransmisikan pada konfigurasi *u-bent*

D_B = Diameter lekukan

Kelengkungan pada serat optik melibatkan adanya perubahan profil indeks bias. Modifikasi ini tergantung dari radius lekukan R sehingga berpengaruh pada koefisien rugi daya yang juga dipengaruhi oleh R .

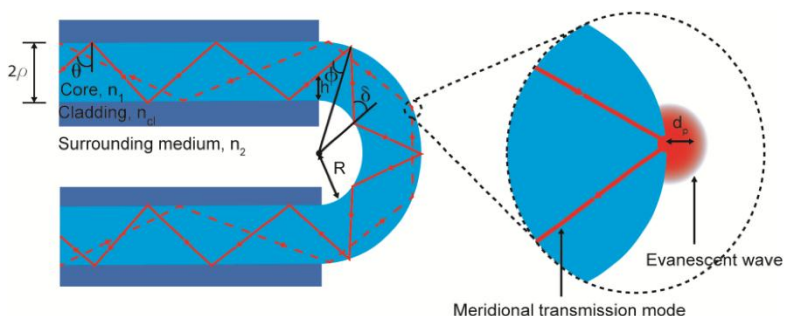
Pada serat optik dengan kondisi *cladding* yang telah dikupas, peningkatan nilai indeks bias yang meliputi daerah *cladding* yang terkelupas (daerah sensing) akan menurunkan nilai NA yang akan berujung pada pelemahan (attenuasi) cahaya akibat loss refraksi. Pada gambar 2.5 berikut dijelaskan mengenai loss refraktif pada sensor serat optik. Ketika fiber dengan *cladding* yang telah dikelupas dikondisikan pada medium dengan indeks bias n_2 , sinar R_1 dan R_2 dipandu sesuai dengan sudut kritis. Ketika fiber tersebut dikondisikan pada medium dengan indeks bias n_3 dimana nilai $n_3 > n_2$, terjadi perubahan sudut kritis untuk sinar yang dipandu pada bagian *core*. Sudut kritis baru ini bernilai lebih besar dari sudut datang untuk sinar R_1 sehingga sinar R_1 akan dibiaskan dan akhirnya akan menghilang (loss)



Gambar 2. 5 Skema rugi daya refraktif akibat perubahan indeks bias *cladding* [19]

2.7 Medan Evanescent

Pemanduan cahaya di dalam serat optik berdasarkan prinsip *Total Internal Reflection* (TIR) dimana cahaya dengan sudut datang yang lebih besar dari sudut kritis akan mengalami pemantulan sempurna pada bagian *core* serat optik. Cahaya terpandu pada serat optik terdiri dari dua komponen yaitu medan terpandu pada bagian *core* dan medan *evanescent* yang meluruh secara eksponensial pada daerah *cladding* seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.6 berikut.



Gambar 2. 6 Daerah sensing untuk probe sensor *U-shaped* dan ilustrasi *evanescent wave* [20]

Ketika lapisan cladding dikupas, medan evanescent akan beriteraksi dengan lingkungan sekitarnya. Jarak pelebaran mdan evanescent pada antar muka *core – cladding* disebut dengan kedalaman penetrasi (*penetration depth*) yang mana menunjukan jarak dimana evanescent field mengecil menjadi $1/e$ dari nilainya pada antar muka *core - cladding*

“ Halaman in sengaja dikosongkan”

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

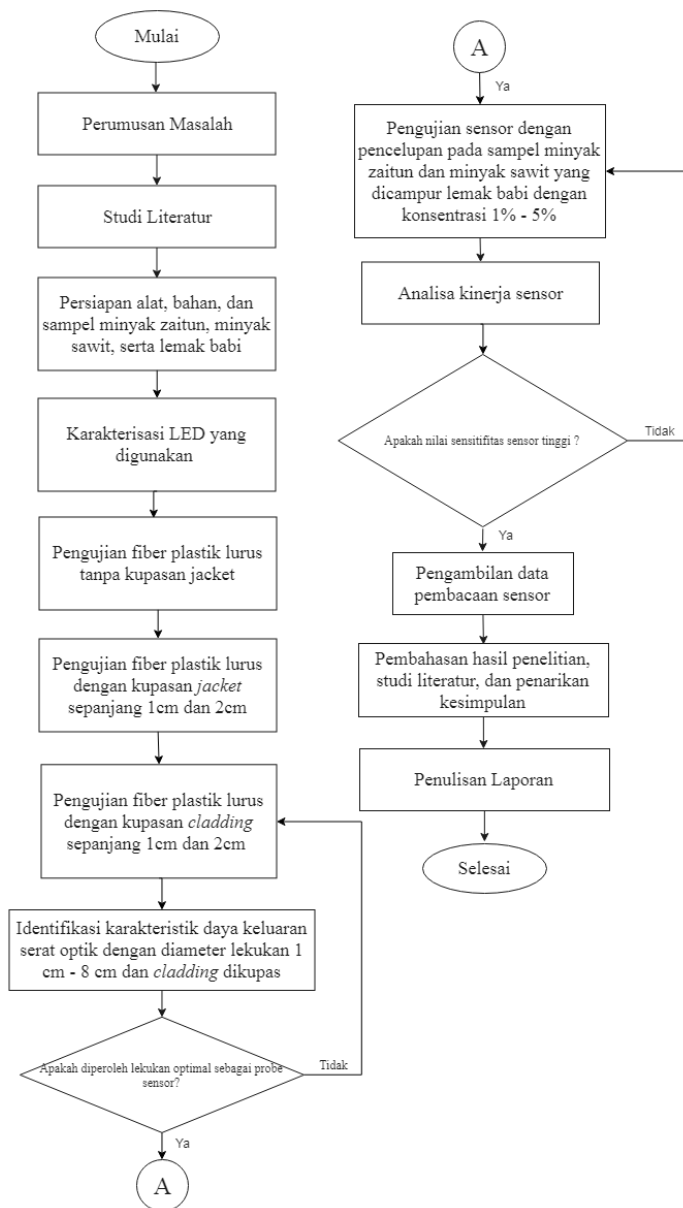
Pada bab ini akan dijelaskan metodologi penelitian yang dilaksanakan pada tugas akhir ini. Metodologi yang digunakan terdiri dari beberapa tahap hingga menghasilkan analisa dan pembahasan dari perancangan sensor berbasis serat optik plastik dengan konfigurasi *U-shaped*.

3.1 Persiapan Alat, Bahan dan Sampel

Peralatan dan bahan serta perangkat yang digunakan dalam perancangan sensor berbasis serat optik plastik dengan konfigurasi *u-shaped* adalah sebagai berikut :

- Sampel minyak sawit dan lemak babi
- Gelas ukur
- Pipet tetes
- Suntik (*syringe*)
- Serat Optik Plastik Multimode Step Indeks produk ESKA SH4001 Industrial Fiber Optic
- *Fiber cleaver*, *fiber stripper*, tisu, dan mikrometer sekrup
- Aseton, sabun pencuci, alkohol, dan akuades
- Optical Power Meter Thorlabs PM100D
- Perangkat lunak Thorlabs PM100D
- Akrilik sebagai alat pelengkung
- Statif dan *magnetic base*
- Baterai / *Power Bank*
- LED merah dan LED inframerah

Pengerjaan tugas akhir dilakukan melalui metode eksperimental dan perhitungan matematis. Secara umum tahap-tahap pengerjaan tugas akhir ini disusun dalam diagram alir yang dapat dilihat pada gambar 3.1 berikut.



Gambar 3. 1 Diagram Alir Penelitian

3.2 Perumusan Masalah

Tahapan paling awal pada penelitian ini adalah perumusan masalah berdasarkan latar belakang yang diambil dan kemudian dilanjutkan dengan studi literatur untuk menunjang keberhasilan penelitian yang akan dilakukan.

3.3 Studi Literatur

Setelah dilakukan perumusan masalah berdasarkan latar belakang yang telah ditentukan sebelumnya, dilakukan studi literatur untuk memperoleh referensi – referensi terkait dengan penelitian yang akan dilakukan sebagai bahan pendukung dalam melakukan penelitian ini, khususnya terkait teknik deteksi kandungan lemak babi pada suatu zat serta sensor berbasis serat optik plastik dengan konfigurasi *U-shaped*.

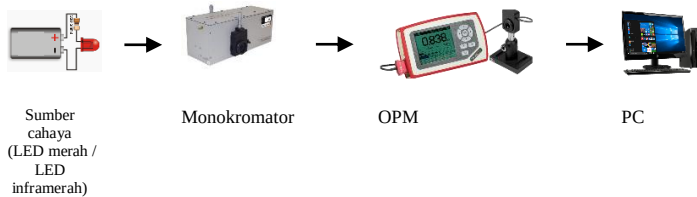
3.4 Persiapan Alat, Bahan, Serta Sampel Minyak Sawit Dan Minyak Sawit Dengan Campuran Lemak Babi

Sebelum dilakukan perancangan sensor berbasis serat optik plastik dengan struktur *U-shaped*, seluruh alat, bahan, dan sampel dipersiapkan. Sampel minyak sawit, lemak babi, beserta campurannya dengan persentase campuran 1% hingga 5% yang diletakkan pada wadah khusus berupa tabung *centrifuge*.

3.5 Karakterisasi LED

Pada tahap ini dilakukan karakterisasi LED yang digunakan. Karakterisasi dilakukan dengan pengujian LED dengan monokromator untuk memperoleh nilai puncak panjang gelombang dari LED yang digunakan. Kemudian dilakukan pengujian LED yang terhubung dengan serat optik plastik dengan kondisi lurus dan tanpa kupasan *cladding*. LED, serat optik plastik, dan OPM dihubungkan dengan PC untuk pengambilan data uji. LED yang digunakan adalah berdasarkan nilai *low loss windows* serat optik plastik yaitu pada daerah 630 - 650 nm dan pada daerah 930 nm yang merupakan daerah serapan efektif untuk lemak babi. Data yang diambil berupa data daya yang ditransmisikan oleh serat

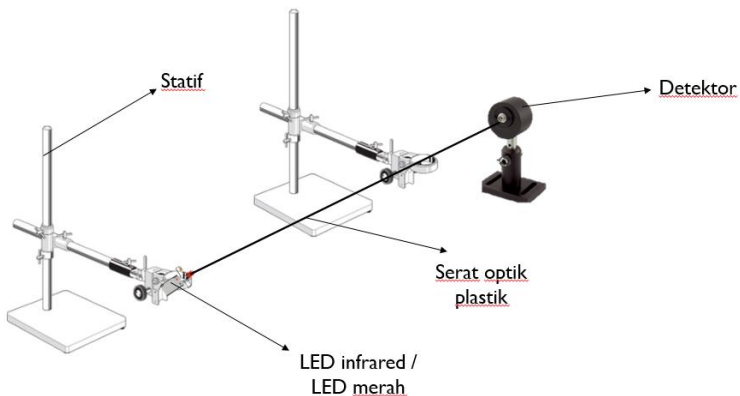
optik plastik. Adapun susunan karakterisasi LED yang dilakukan dapat dilihat pada gambar 3.2 berikut.



Gambar 3. 2 Setup karakterisasi LED

3.6 Pengujian fiber plastik lurus dengan kupasan *jacket*, serta kupasan *jacket* dan *cladding*

Pada tahap ini dilakukan pengujian konfigurasi LED – Serat optik plastik – dan OPM dengan kondisi lurus dan *jacket* dikupas dengan panjang kupasan 1 cm dan 2 cm untuk memperoleh respon dan rugi daya dari pengujian serta pengujian konfigurasi LED – serat optik plastik – OPM dengan kondisi lurus dengan *jacket* dan *cladding* dikupas dengan panjang kupasan 1 cm dan 2 cm. Susunan pengujian serat optik dengan konfigurasi lurus dapat dilihat pada gambar 3.3



Gambar 3. 3 Setup pengujian serat optik plastik dengan konfigurasi lurus

3.7 Perancangan dan Fabrikasi Sensor Berstruktur *U-Shaped*

Pada tahap ini dilakukan pembuatan sensor berstruktur *U-shaped* dengan menggunakan serat optik plastik dari produk Eska. Untuk membentuk struktur *U-shaped* dengan variasi diameter lekukan, digunakan akrilik sebagai media bantu penahan agar lekukan yang dihasilkan baik. Bagian sensor yang digunakan sebagai probe dikupas bagian *jacket*-nya dengan menggunakan striper. Bagian *cladding* serat optik juga dikupas menggunakan aseton. Berikut merupakan spesifikasi serat optik yang digunakan dalam pembuatan sensor serat optik plastik berstruktur *U-shaped* :

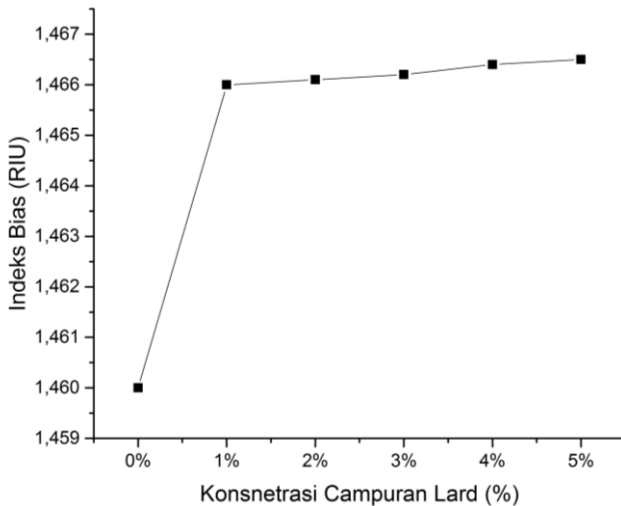
- Jenis serat optik plastic (PMMA) yang digunakan yaitu serat optik plastik tipe IF E1000 produk Eska Industrial Fiber Optics dengan spesifikasi :
 - a. Diameter core : 980 μm
 - b. Diameter cladding : 1000 μm
 - c. Indeks bias core : 1.492
 - d. Apertur numerik : 0.5
 - e. Jenis : Multimode
- Diameter lekukan serat optik plastik yang akan digunakan adalah 10 mm, 20 mm, 30 mm, 40 mm, 50 mm, 60 mm, dan 70 mm

Pada tahap fabrikasi serat optik berstruktur *U-shaped* ini diperlukan alat dan bahan sebagai berikut.

- a. Serat optik plastic (POF) PMMA
- b. Alkohol 90%
- c. Aseton
- d. *Plastic Optical Fiber Cutter*
- e. *Fiber stripper*
- f. *Optical power meter*
- g. LED
- h. Mistar
- i. PCB dots
- j. Resistor

k. Solder

Sebelum melakukan pengujian sensor serat optik dengan konfigurasi *U-shaped*, perlu diketahui bagaimana karakteristik minyak sawit, dan lemak babi sebagai acuan dalam menganalisa fenomena fisis yang terjadi dalam pengujian sensor. Analisa karakteristik minyak sawit dan lemak babi dilakukan melalui studi literatur serta pengecekan indeks bias sampel dengan refraktometer. Salah satu karakteristik optik minyak sawit dan lemak babi yaitu indeks bias campuran lemak babi pada minyak sawit yang sudah diperoleh dengan pengujian dengan refraktometer dapat dilihat pada gambar 3.4 berikut :



Gambar 3. 4 Grafik nilai indeks bias campuran minyak sawit dengan lemak babi terhadap konsentrasi campuran

Pada tahap perancangan serat optik berstruktur *U – shape* sebagai sensor lemak babi ini, digunakan LED yang sesuai dengan hasil pengujian yang telah dilakukan pada tahap sebelumnya yaitu LED merah dan LED inframerah.

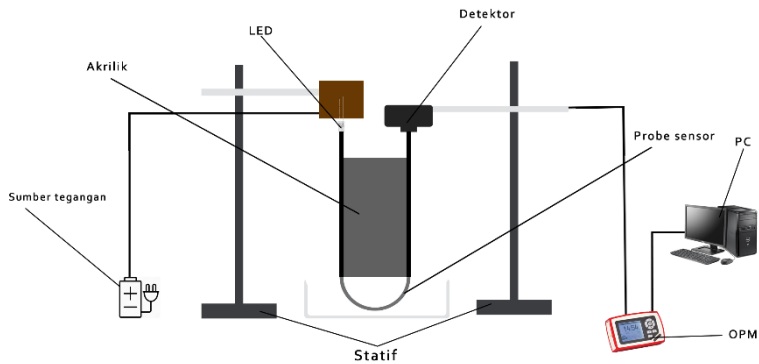
Setelah alat dan bahan siap, fabrikasi serat optik plastik dengan struktur *U-shape* dapat dilakukan dengan tahapan-tahapan seperti berikut.

1. Jacket serat optik plastik dikupas dengan pisau khusus (*stripper*) untuk serat optik plastik
2. Panjang kupasan ditentukan sebesar 10 mm dan 20 mm
3. Bekas kupasan jacket dibersihkan dengan kapas yang telah diberi alkohol.
4. *Cladding* dikupas dengan menggunakan aseton
5. Fiber optik yang telah dibersihkan dibentuk menjadi lekukan dengan variasi diameter lekukan 10 mm, 20 mm, 30 mm, 40 mm, 50 mm, 60 mm, dan 70 mm
6. LED yang telah dipersiapkan dihubungkan dengan serat optik plastik

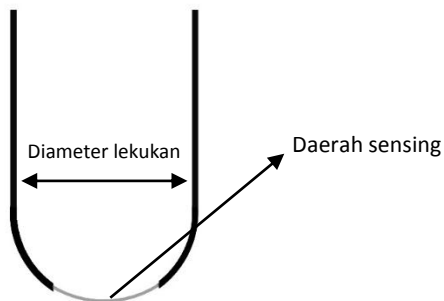
3.8 Pengujian Serat Optik Berstruktur *U-shaped* tanpa pencelupan pada sampel

Adapun tahap – tahap dalam pengujian sensor serat optik berstruktur *U-shaped* adalah sebagai berikut :

1. Serat optik berstruktur *U-shaped* yang telah dipersiapkan diuji tanpa pencelupan pada sampel dengan kedua ujungnya disambungkan *optical power meter* dan LED dengan konfigurasi yang ditunjukan pada gambar 3.5 untuk tiap diameter lekukan yang telah ditentukan sebelumnya.
2. Daya optik yang ditransmisikan diambil menggunakan perangkat lunak PM100D Thorlabs dengan pengambilan data sebanyak 4 kali dan respon sensor dianalisis
3. Apabila respon sensor menunjukkan hasil yang optimal dengan loss < 20 dBm maka dilanjutkan dengan tahap selanjutnya



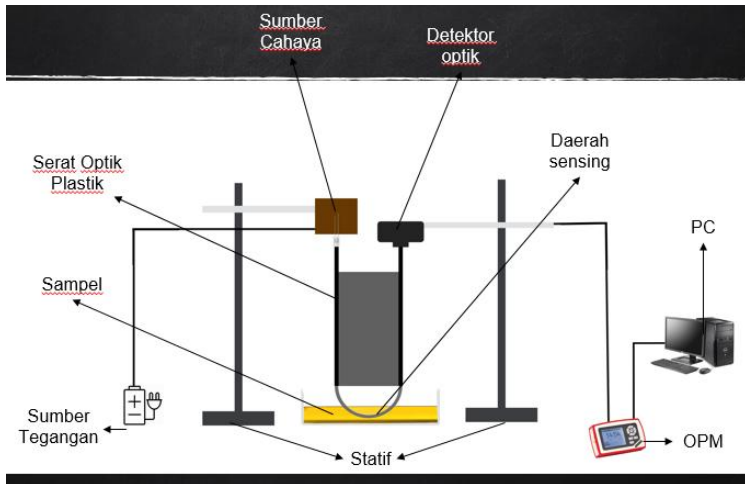
Gambar 3. 5 Desain konfigurasi pengujian



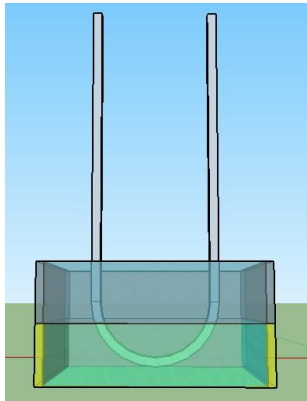
Gambar 3. 6 Probe sensor serat optik plastik berstruktur U-shaped

3.9 Pengujian sensor POF berstruktur *U-shaped* pada minyak zaitun dan minyak sawit dengan campuran lemak babi

Pada tahap ini dilakukan pengujian sensor POF *U-shaped* untuk sampel yang telah dipersiapkan dengan susunan pengujian yang dapat dilihat pada gambar 3.7 dan gambar 3.8 berikut :

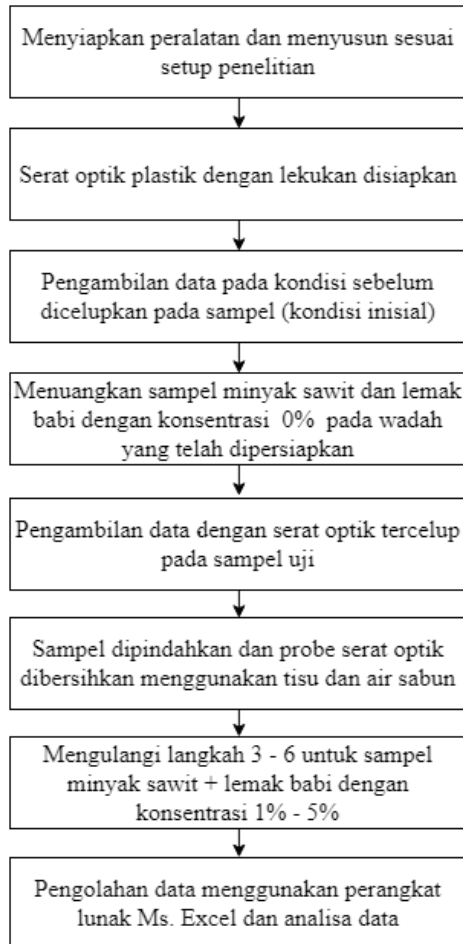


Gambar 3. 7 Susunan penngambilan data uji



Gambar 3. 8 Kondisi pencelupan probe sensor

Dalam melakukan pengujian, untuk memperoleh kondisi yang konsisten serta hasil yang diperoleh sesuai dengan yang diharapkan, maka diperlukan sebuah metodologi dalam proses pengambilan data. Berikut merupakan diagram alir pengambilan data pada proses pengujian sensor berbasis serat optik plastik dengan konfigurasi *U-shaped* :



Gambar 3. 9 Diagram alir pengambilan data

3.10 Analisa Kinerja Sensor

Pada tahap ini akan dilakukan analisa mengenai kinerja sensor lemak babi berbasis serat optik plastik dengan konfigurasi *U-shape*. Analisa yang dilakukan meliputi pengaruh konsentrasi campuran lemak babi terhadap daya keluaran dan karakteristik statik sensor yang diperoleh berdasarkan hasil pengujian

khususnya nilai sensitivitas sensor dan linearitas hasil pengujian sensor.

3.11 Pengambilan data

Setelah sensor yang telah dirancang dianalisa, dan menunjukan nilai yang optimal sesuai dengan parameter – parameter sebuah sensor, maka dilakukan pengambilan data hasil pembacaan sensor untuk sampel yang telah dipersiapkan

3.12 Pembahasan hasil penelitian dan penulisan laporan

Tahapan terakhir dari penelitian ini adalah Pembahasan hasil, penarikan kesimpulan, serta penulisan laporan. Kesimpulan dapat ditarik dari hasil penelitian yang telah dilakukan sesuai dengan rumusan masalah yang telah dirumuskan sebelumnya. Laporan yang dibuat berisi rangkaian kegiatan yang dilakukan selama proses penelitian dan sebagai bentuk tanggung jawab dari penulis.

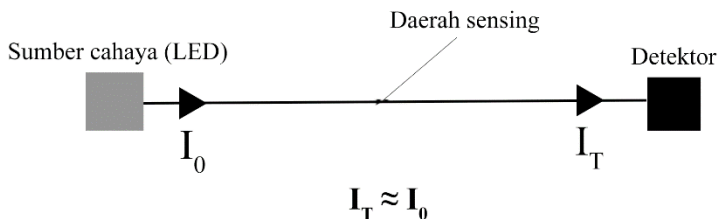
“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

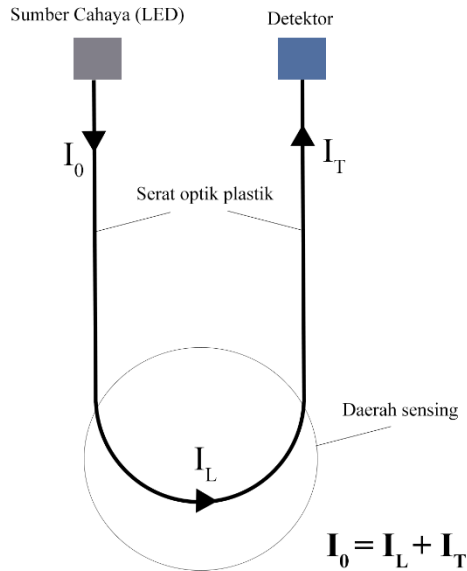
Pada bab ini dijelaskan mengenai hasil dan pembahasan pada perancangan dan pengujian sensor untuk deteksi kandungan lemak babi terlarut minyak sawit berbasis serat optik plastik dengan konfigurasi *U-shaped*. Pada bagian pertama akan dijelaskan mengenai prinsip kerja sensor yang dirancang. Pengujian sensor berbasis serat optik plastik dengan konfigurasi *u-bent* diambil dari beberapa eksperimen. Eksperimen pertama yaitu pengujian daya yang ditransmisikan pada serat optik plastik dengan kondisi lurus, jaket dikupas, dan cladding dikupas dengan diberi lekukan, kemudian dilanjutkan dengan pengujian sensor yang dicelupkan pada minyak sawit murni dan dilanjutkan dengan pengujian pada sampel campuran minyak sawit dengan lemak babi konsentrasi 1% - 5%.

4.1 Prinsip kerja sensor

Sensor yang dirancang pada penelitian ini terdiri dari komponen sumber cahaya yaitu LED merah dan LED inframerah, serat optik plastik, dan detektor. Berikut pada gambar 4.1 merupakan skema prinsip kerja sensor yang dirancang dan perbandingan antara sensor konfigurasi lurus dan dengan konfigurasi *u-shaped*

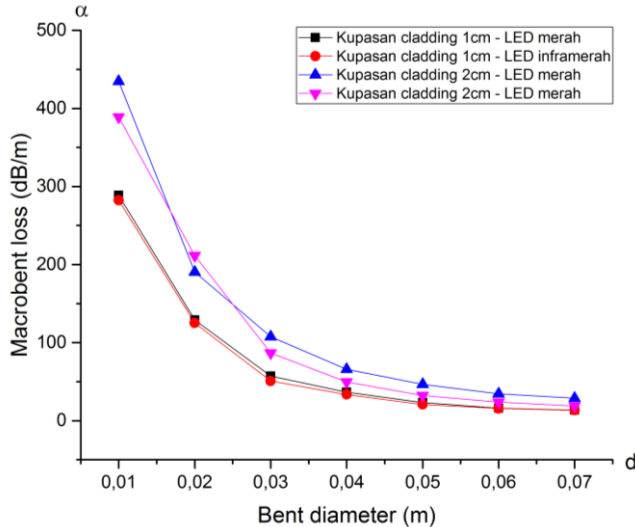


Gambar 4. 1 Skema prinsip kerja sensor serat optik plastik konfigurasi lurus



Gambar 4. 2 Skema prinsip kerja sensor serat optik plastik dengan konfigurasi *u-shaped*

Pada sensor serat optik plastik dengan konfigurasi lurus, daya yang ditransmisikan (I_T) yang dibaca oleh detektor memiliki nilai yang hampir sama dengan nilai daya awal dari sumber cahaya yang dipandu pada serat optik plastik meskipun telah dilakukan pengupasan lapisan lapisan *jacket* dan *cladding*. Disisi lain, konfigurasi *U-shaped* memiliki nilai daya yang ditransmisikan lebih kecil dibandingkan dengan daya awal I_0 akibat rugi daya karena adanya lekukan yang diberikan. Nilai rugi daya yang terjadi bergantung pada nilai diameter lekukan yang diberikan. Berikut merupakan grafik nilai rugi daya yang dihasilkan akibat pemberian lekukan dengan diameter lekukan 10 hingga 70 mm.

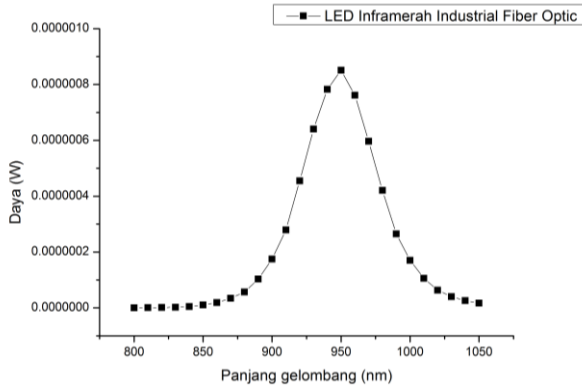


Gambar 4. 3 Grafik perbandingan nilai rugi daya akibat lekukan dengan panjang kupasan lapisan cladding 1cm dan 2 cm

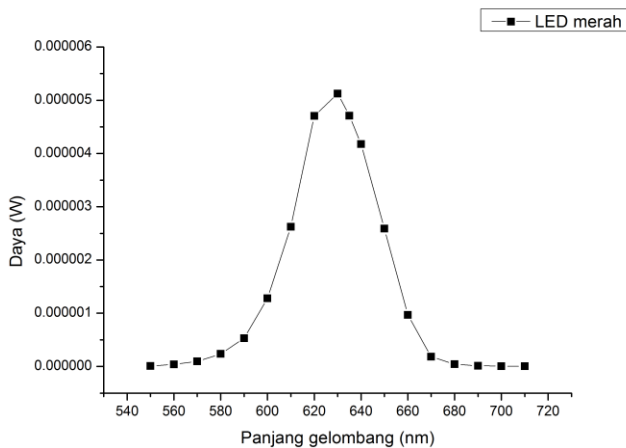
Pada gambar 4.3, grafik menunjukkan bahwa semakin kecil diameter lekukan, semakin besar nilai loss akibat diameter lekukan, dari hasil perhitungan ini terlihat bahwa serat optik plastik dengan sumber cahaya inframerah memiliki nilai rugi daya lebih kecil dibandingkan dengan sumber cahaya LED merah.

4.2 Hasil karakterisasi LED inframerah dan LED merah

Sebelum dilakukan pengujian sensor, dilakukan karakterisasi cahaya yang akan digunakan sebagai sumber cahaya dalam perancangan sensor berbasis serat optik plastik. Hasil karakterisasi akan menjadi acuan untuk melanjutkan ke tahap penelitian selanjutnya. Gambar 4.4 dan Gambar 5.5 merupakan grafik karakteristik LED inframerah dan LED merah yang digunakan dalam penelitian ini :



Gambar 4. 4 Hasil Karakterisasi LED inframerah



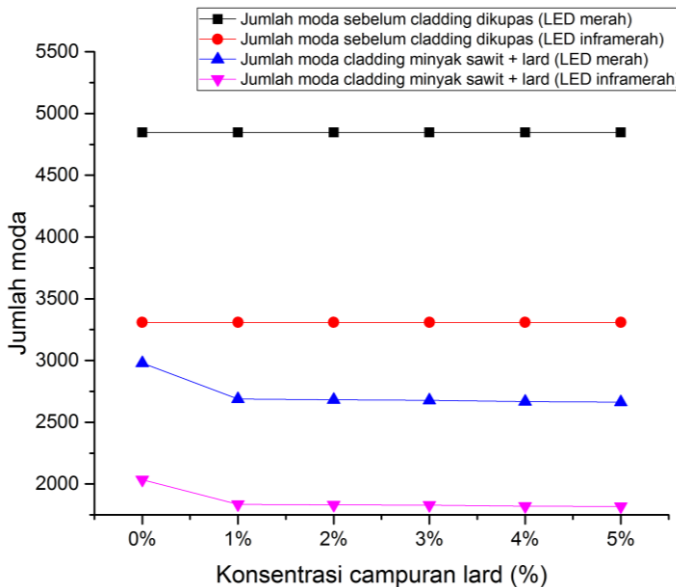
Gambar 4. 5 Grafik hasil karakterisasi LED merah

Hasil karakterisasi menunjukkan bahwa LED inframerah memiliki puncak daya tertinggi berada pada panjang gelombang 950 nm. Sumber cahaya LED merah memiliki puncak daya tertinggi berada pada panjang gelombang 635 nm. Adapun lebar spektrum (FWHM) untuk sumber cahaya LED inframerah adalah 61 nm, sedangkan untuk sumber cahaya LED merah adalah 40 nm.

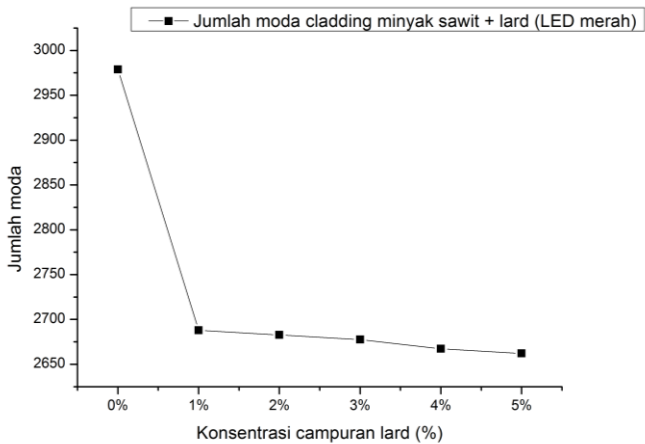
4.3 Hasil perhitungan matematis perbandingan konfigurasi lurus dan konfigurasi *u-shaped*

4.3.1 Jumlah moda transmisi

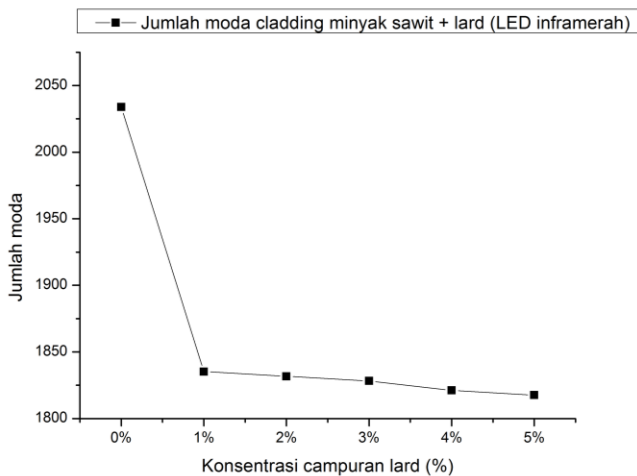
Pada serat optik yang digunakan sebagai sensor, jumlah moda yang dipandu di dalam serat optik merupakan salah satu parameter penting di dalam analisa kinerja sensor, dengan menggunakan persamaan (2.8) untuk menghitung jumlah moda yang dipandu di dalam serat optik, diperoleh grafik perbandingan antara jumlah moda yang dipandu dari variasi konsentrasi campuran lemak babi dan panjang gelombang sumber cahaya yang digunakan dengan konfigurasi lurus yang dapat dilihat pada gambar 4.6 berikut



Gambar 4. 6 Grafik perbandingan jumlah moda yang dipandu pada serat optik plastik dengan cladding *fluorinated polymer*, minyak zaitun + *lard*, dan minyak sawit + *lard*.



Gambar 4. 7 Grafik jumlah moda terpandu pada pencilupan serat optik dengan sampel minyak sawit + *lard* dengan sumber cahaya LED merah

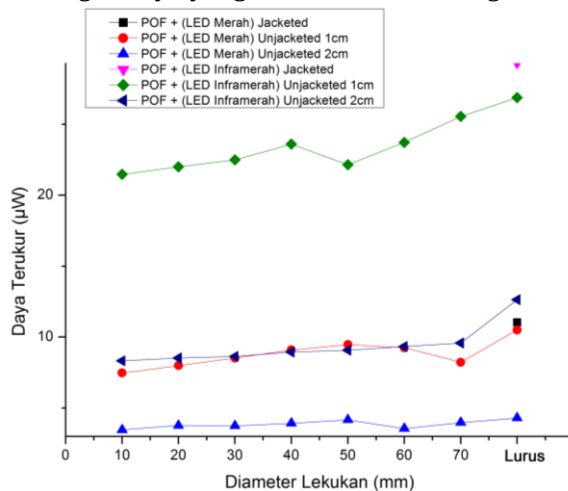


Gambar 4. 8 Grafik jumlah moda terpandu pada pencilupan serat optik dengan sampel minyak sawit + *lard* dengan sumber cahaya LED inframerah

4.4 Hasil dan Analisa Pengujian Daya yang Ditransmisikan Pada POF dengan Lekukan

4.4.1 Pengujian POF lurus dan dengan lekukan dengan *jacket* dikupas 1 cm dan 2 cm

Setelah dilakukan pengujian daya yang ditransmisikan pada POF dengan *jacket*, dan *jacket* yang dikupas serta diberikan lekukan 10 mm – 70 mm dengan sumber cahaya LED merah dan LED inframerah diperoleh grafik perbandingan daya yang ditransmisikan sebagai berikut :



Gambar 4. 9 Hasil Pengujian Daya yang ditransmisikan pada POF dengan *Jacket* dan *Jacket* dikupas dengan variasi lekukan

Dari Gambar 4.9 diketahui bahwa perubahan daya yang ditransmisikan pada serat optik plastik dengan perlakuan *jacket* dikupas dan diberi variasi lekukan belum menunjukkan perubahan yang signifikan, dimana *loss* pada serat optik masih terhitung kecil. Berikut merupakan tabel perbandingan daya yang ditransmisikan pada serat optik plastik dengan konfigurasi lurus :

Tabel 4. 1 Perbandingan daya yang ditransmisikan pada konfigurasi POF lurus

Konfigurasi	Daya terukur	
	LED Merah (630 nm)	LED Inframerah (930nm)
Lurus (dengan jaket)	11.03 μW	29.3028 μW
Lurus (jaket dikupas 1cm)	10.50142 μW	26.87076 μW
Lurus (jaket dikupas 2cm)	4.302354 μW	12.62682 μW

Pada serat optik plastik yang diberi lekukan, terdapat *loss* akibat lekukan, namun *loss* yang dihasilkan masih belum signifikan dibandingkan dengan pada konfigurasi lurus. Berikut merupakan data perbandingan daya yang ditransmisikan pada variasi lekukan 10 mm – 70 mm dengan kupasan *jacket* 1cm.

Tabel 4. 2 Perbandingan Daya yang ditransmisikan pada kondisi serat optik dengan kupasan *jacket* 1 cm dan variasi lekukan dan LED

Diameter lekukan	Daya Terukur	
	LED Merah (630 nm)	LED Inframerah (930nm)
10 mm	7.473 μW	21.46594 μW
20 mm	7.991 μW	21.99657 μW
30 mm	8.514 μW	22.48517 μW
40 mm	9.098 μW	23.6023 μW
50 mm	9.471 μW	22.15019 μW
60 mm	9.245 μW	23.71999 μW
70 mm	8.228 μW	25.54673 μW

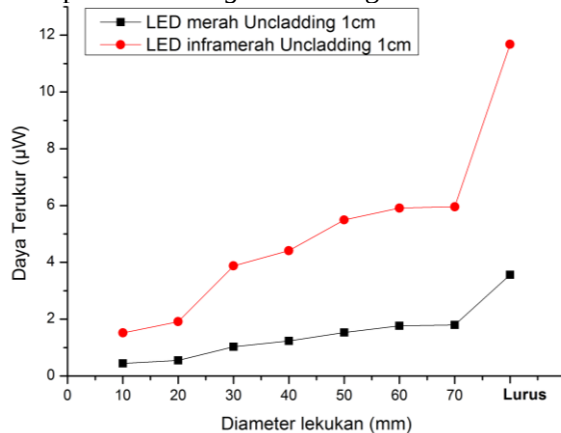
Berikut merupakan data perbandingan daya yang ditransmisikan pada variasi lekukan 10 mm – 70 mm dengan kupasan *jacket* 2 cm :

Tabel 4. 3 Perbandingan Daya yang ditransmisikan pada kondisi serat optik dengan kupasan *jacket* 2 cm dan variasi lekukan dan LED

Diameter lekukan	Daya terukur	
	LED Merah (630 nm)	LED Inframerah (930 nm)
10 mm	3.464 μW	8.323 μW
20 mm	3.772 μW	8.526 μW
30 mm	3.751 μW	8.630 μW
40 mm	3.926 μW	8.950 μW
50 mm	4.172 μW	9.076 μW
60 mm	3.548 μW	9.326 μW
70 mm	3.975 μW	9.584 μW

4.4.2 Pengujian *bending* POF dengan jaket dan *cladding* dikupas 1cm dan 2cm

Setelah dilakukan pengujian daya yang ditransmisikan pada POF dengan *jacket* dikupas, dilakukan pengujian pada serat optik plastik dengan lapisan *jacket* dan *cladding* dikupas serta diberikan lekukan 10 mm – 70 mm dengan sumber cahaya LED merah dan LED inframerah. Dari hasil pengujian, diperoleh grafik perbandingan daya yang ditransmisikan untuk kupasan *cladding* 1 cm sebagai berikut :



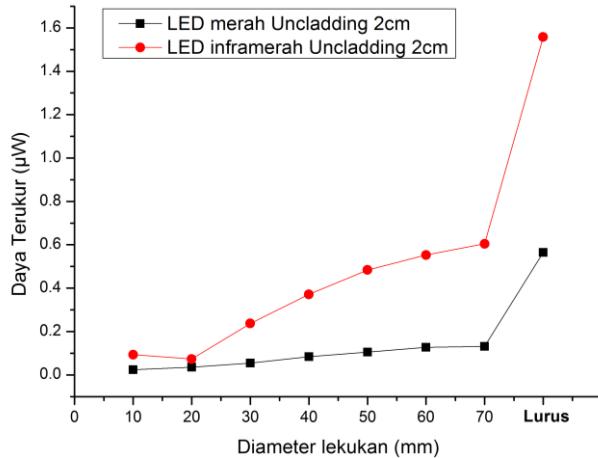
Gambar 4. 10 Grafik perbandingan daya yang ditransmisikan pada serat optik plastik yang ditekuk dengan *jacket* dan *cladding* dikupas 1 cm

Berikut merupakan data perbandingan daya yang ditransmisikan pada serat optik dengan kupasan *jacket* dan *cladding* sepanjang 1 cm :

Tabel 4. 4 Perbandingan daya yang ditransmisikan pada serat optik dengan kondisi kupasan *jacket* dan *cladding* sepanjang 1 cm dan variasi lekukan serta LED

Diameter lekukan	Daya Terukur	
	LED Merah (630 nm)	LED Inframerah (930nm)
10 mm	0.442 μ W	1.52 μ W
20 mm	0.551 μ W	1.91 μ W
30 mm	1.030 μ W	3.88 μ W
40 mm	1.230 μ W	4.41 μ W
50 mm	1.530 μ W	5.49 μ W
60 mm	1.770 μ W	5.91 μ W
70 mm	1.790 μ W	5.96 μ W
Lurus	3.560 μ W	11.7 μ W

Kemudian dilakukan pengujian daya yang ditransmisikan pada POF dengan *jacket* dan *cladding* dikupas sepanjang 2 cm serta diberikan lekukan 10 mm – 70 mm dengan sumber cahaya LED merah dan LED inframerah. Dari hasil pengujian diperoleh grafik perbandingan daya yang ditransmisikan sebagai berikut :



Gambar 4. 11 Grafik perbandingan daya yang ditransmisikan pada serat optik plastik yang ditekuk dengan *jacket* dan *cladding* dikupas 2 cm

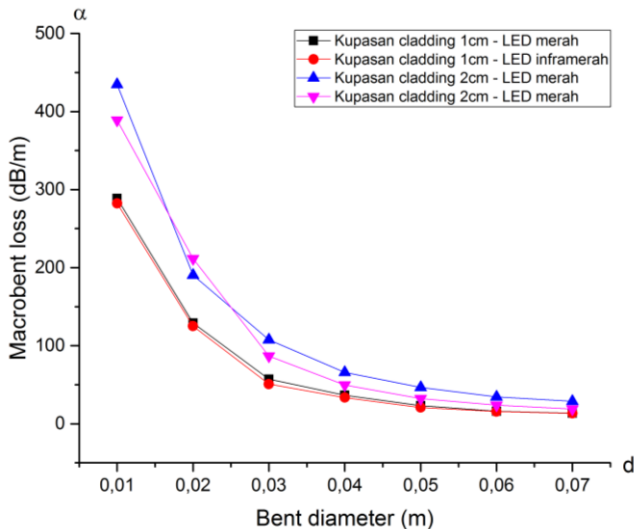
Berikut merupakan data perbandingan daya yang ditransmisikan pada serat optik dengan kondisi kupasan *jacket* dan *cladding* sepanjang 2 cm dan variasi lekukan serta LED

Tabel 4. 5 Perbandingan Daya yang ditransmisikan pada kondisi serat optik dengan kupasan *jacket* dan *cladding* sepanjang 2 cm dan variasi lekukan serta LED

Diameter lekukan	Daya terukur	
	LED Merah (630 nm)	LED Inframerah (930 nm)
10 mm	0.0243 μ W	0.0935 μ W
20 mm	0.036 μ W	0.0732 μ W
30 mm	0.0546 μ W	0.237 μ W
40 mm	0.0836 μ W	0.371 μ W
50 mm	0.105 μ W	0.484 μ W
60 mm	0.127 μ W	0.553 μ W
70 mm	0.132 μ W	0.604 μ W
Lurus	0.564 μ W	1.56 μ W

Dari grafik perbandingan yang telah diperoleh, dapat diketahui bahwa semakin kecil diameter lekukan yang diberikan pada serat optik plastik dengan *jacket* dan *cladding* yang telah dikelupas, maka semakin besar *loss* yang terjadi. Panjang kupasan juga mempengaruhi nilai *loss* yang dihasilkan, semakin panjang kupasan lapisan *jacket* dan *cladding*, maka semakin besar *loss* daya yang terjadi.

Berikut merupakan grafik perbandingan nilai rugi daya akibat pemberian lekukan (*bent*) dengan kondisi lapisan *cladding* dikupas sepanjang 1 cm dan 2 cm



Gambar 4. 12 Grafik perbandingan nilai rugi daya akibat lekukan (Macro-bent loss) dengan kondisi kupasan *cladding* 1cm dan 2cm

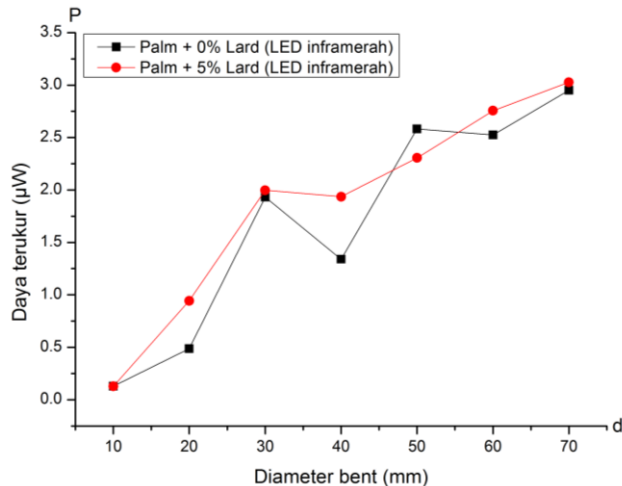
4.5 Hasil Dan Analisa Pengujian Sensor Pada Sampel Minyak Sawit dengan Campuran Lemak Babi 0% dan 5%

Setelah diperoleh grafik nilai daya yang ditransmisikan pada serat optik plastik dengan kupasan lapisan *jacket* dan *cladding* serta diberi lekukan, dilakukan pengujian sensor serat optik yang telah dirancang dengan pencelupan pada sampel minyak sawit dengan

variasi lekukan untuk LED inframerah dan LED merah dengan hasil data sebagai berikut :

4.5.1 Pengujian sensor serat optik plastik dengan konfigurasi *u-shaped* dengan kupasan *jacket* dan *cladding* 1cm dengan LED inframerah

Pengujian dilakukan dengan pengambilan data awal (inisial) daya yang ditransmisikan pada serat optik plastik sebelum dilakukan pencelupan pada sampel. Berikut merupakan hasil pengujian sensor serat optik plastik dengan konfigurasi *U-shaped* dengan pencelupan sensor pada sampel minyak sawit murni dan minyak sawit dengan campuran lemak babi dengan konsentrasi 5% untuk kondisi serat optik plastik dengan kupasan lapisan *jacket* dan *cladding* sebesar 1 cm dengan sumber cahaya LED inframerah, adapun data pengujian yang dihasilkan adalah sebagai berikut :



Gambar 4. 13 Hasil pengujian sensor dengan konfigurasi *U-shaped* – LED inframerah dengan kupasan *jacket* dan *cladding* sepanjang 1cm pada sampel

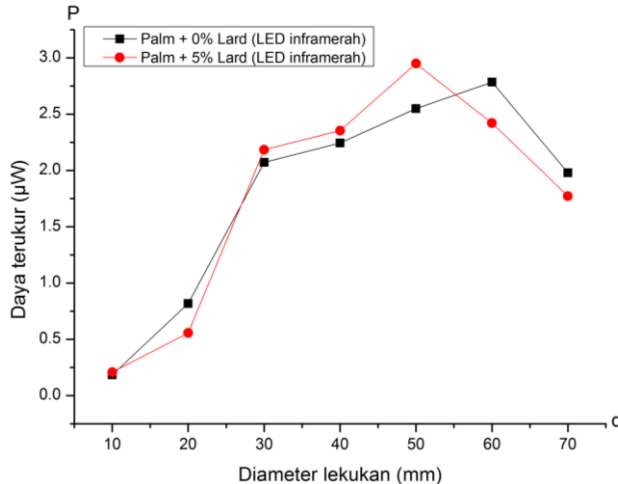
Dari grafik yang telah diperoleh, diketahui bahwa terdapat perubahan daya ketika probe sensor (bagian yang dikelupas dengan konfigurasi *U-shaped*) dicelupkan pada sampel 0% dan 5%. Perubahan yang cukup signifikan terlihat pada diameter lekukan 40 mm dilihat dari span hasil pengujian. Berikut merupakan tabel hasil pengujian sensor serat optik plastik dengan kupasan lapisan *jacket* dan *cladding* sebesar 1 cm dengan pencelupan pada sampel.

Tabel 4. 6 Data hasil pengujian sensor berbasis serat optik plastic *u-shaped* – LED inframerah dengan pencelupan pada sampel Palm + 0% Lard dan Palm + 5% Lard

Diameter lekukan (mm)	Daya Terukur		Span
	Palm + 0% Lard (μW)	Palm + 5% lard (μW)	
10	0.12878522	0.127844176	0.000941
20	0.487615275	0.94290365	0.455288
30	1.93257125	1.9975915	0.06502
40	1.34042825	1.936613	0.596185
50	2.58303775	2.305886	0.277152
60	2.5245	2.756136	0.231636
70	2.949798	3.026881	0.077083

4.5.2 Pengujian sensor serat optik plastik dengan konfigurasi *u-shaped* dengan kupasan *jacket* dan *cladding* 2cm dengan LED inframerah

Berikut merupakan hasil pengujian sensor serat optik plastik dengan konfigurasi *u-shaped* dengan pencelupan sensor pada sampel minyak sawit murni dan minyak sawit dengan campuran lemak babi dengan konsentrasi 5% untuk kondisi serat optik plastik dengan kupasan lapisan *jacket* dan *cladding* sebesar 2 cm dengan sumber cahaya LED inframerah, adapun data pengujian yang dihasilkan adalah sebagai berikut :



Gambar 4. 14 Hasil pengujian sensor dengan konfigurasi *U-shaped* – LED inframerah dengan kupasan *jacket* dan *cladding* sepanjang 2cm pada sampel

Dari grafik yang telah diperoleh, diketahui bahwa terdapat perubahan daya ketika probe sensor dicelupkan pada sampel 0% dan 5%. Perubahan yang cukup signifikan terlihat pada diameter lekukan 50 mm dilihat dari span hasil pengujian. Berikut merupakan tabel hasil pengujian sensor serat optik plastik dengan kupasan lapisan *jacket* dan *cladding* sepanjang 2 cm dengan pencelupan pada sampel.

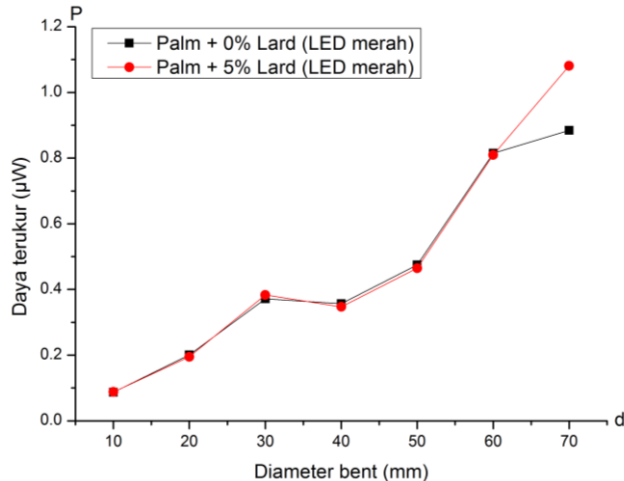
Tabel 4. 7 Data hasil pengujian sesnsor berbasis serat optik plastik dengan pencelupan pada sampel Palm + 0% Lard dan Palm + 5% Lard

Diameter lekukan (mm)	Daya Terukur		Span
	Palm + 0% Lard (µW)	Palm + 5% lard (µW)	
10	0.184009176	0.208098791	0.024089615
20	0.817125618	0.555442809	0.261682809
30	2.071097778	2.183527778	0.11243
40	2.243284091	2.353914773	0.110630682
50	2.548906395	2.949268605	0.400362209
60	2.783994643	2.420425	0.363569643
70	1.980384756	1.771718293	0.208666463

Dari hasil pengujian sensor dengan sumber cahaya LED inframerah dengan pencilupan pada sampel, diameter lekukan 40mm menunjukkan sensitivitas yang lebih baik untuk panjang kupasan lapisan *jacket* dan *cladding* sepanjang 1cm dilihat dari span pengukuran terbesar dan nilai sensitivitas terbaik, dengan nilai span 0.596185 dan sensitivitas 0,11923695 $\mu\text{W} / \% \text{ lard}$. Sedangkan untuk kondisi kupasan lapisan *jacket* dan *cladding* sepanjang 2 cm, diameter lekukan 50 mm menunjukkan sensitivitas yang lebih baik dibanding dengan diameter lekukan lainnya, hal ini dapat dilihat dari nilai span untuk pengujian dengan diameter lekukan 50 mm sebesar 0.400362209 dengan nilai sensitivitas sebesar 0,080072442 $\mu\text{W} / \% \text{ lard}$. Dari dua nilai diameter ini akan digunakan sebagai diameter optimal untuk pengujian sensor dengan pencilupan pada sampel minyak sawit dengan campuran lemak babi dengan konsentrasi 1% - 5%.

4.5.3 Pengujian sensor serat optik plastik dengan konfigurasi *u-shaped* dengan kupasan *jacket* dan *cladding* 1cm dengan LED merah

Setelah dilakukan pengujian dengan sumber cahaya LED inframerah, pengujian sensor dengan kupasan lapisan *jacket* dan *cladding* sepanjang 1cm dilanjutkan dengan pengujian sensor dengan sumber cahaya LED merah dengan panjang gelombang transmisi 630 nm. Berikut merupakan hasil dari pengujian untuk panjang kupasan *jacket* dan *cladding* sepanjang 1 cm.



Gambar 4. 15 Hasil pengujian sensor dengan konfigurasi *U-shaped* – LED merah dengan kupasan jacket dan cladding sepanjang 1cm dengan sampel

Dari grafik yang telah diperoleh, diketahui bahwa terdapat perubahan daya ketika probe sensor dicelupkan pada sampel 0% dan 5%. Perubahan yang cukup signifikan terlihat pada diameter lekukan 70 mm dibandingkan dengan diameter lekukan lainnya yang tidak menunjukkan adanya perbedaan yang cukup besar. Hal ini dapat dilihat dari span dan nilai sensitivitas sensor dari hasil pengujian. Berikut merupakan tabel hasil pengujian sensor kupasan lapisan *jacket* dan *cladding* sepanjang 1 cm dengan pencelupan pada sampel.

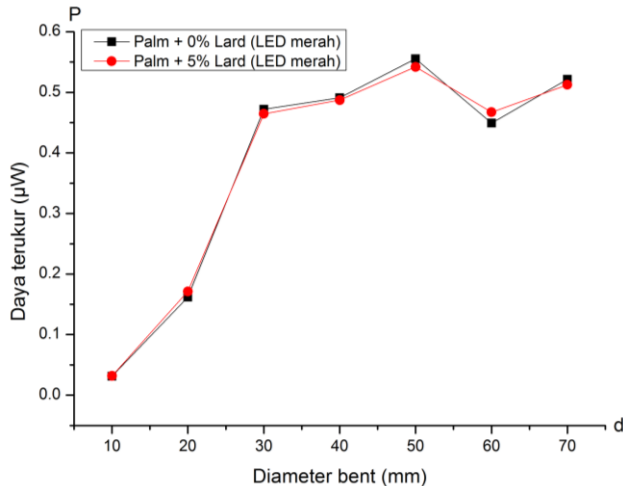
Tabel 4. 8 Data hasil pengujian sesnsor berbasis serat optik plastik dengan pencelupan pada sampel Palm + 0% Lard dan Palm + 5% Lard

Diameter lekukan (mm)	Daya Terukur		Span
	Palm + 0% Lard (μW)	Palm + 5% lard (μW)	
10	0.086842626	0.087779681	9.37E-04
20	0.200451685	0.194779213	5.67E-03
30	0.371548305	0.383301954	1.18E-02
40	0.356735176	0.347037412	9.70E-03
50	0.47433759	0.464494992	9.84E-03
60	0.815223549	0.809937037	5.29E-03
70	0.884286203	1.080832911	1.97E-01

Hasil pengujian menunjukkan bahwa diameter lekukan 70mm memiliki sensitivitas lebih baik dibanding dengan diameter lekukan lainnya dengan span pengukuran sebesar 0.197. Nilai span yang besar menunjukkan adanya perubahan signifikan dari kondisi pencelupan pada sampel minyak sawit dengan 0% *lard* dan sampel minyak sawit + 5% *lard*

4.5.4 Pengujian sensor serat optik plastik dengan konfigurasi *u-shaped* dengan kupasan jacket dan cladding 2cm dengan LED merah

Berikut merupakan hasil pengujian sensor serat optik plastik dengan konfigurasi *u-shaped* dengan pencelupan sensor pada sampel minyak sawit murni dan minyak sawit dengan campuran lemak babi dengan konsentrasi 5% untuk kondisi serat optik plastik dengan kupasan lapisan *jacket* dan *cladding* sebesar 2 cm dengan sumber cahaya LED merah, adapun data pengujian yang dihasilkan adalah sebagai berikut :



Gambar 4. 16 Hasil pengujian sensor dengan konfigurasi U-shaped – LED merah dengan kupasan jacket dan cladding sepanjang 2cm dengan sampel

Dari grafik yang telah diperoleh, diketahui bahwa terdapat perubahan daya ketika probe sensor dicelupkan pada sampel 0% dan 5%. Perubahan yang cukup signifikan terlihat pada diameter lekukan 60 mm dilihat dari span hasil pengujian. Berikut merupakan tabel hasil pengujian sensor dengan pencelupan pada sampel.

Tabel 4. 9 Data hasil pengujian sesnsor berbasis serat optik plastik dengan pencelupan pada sampel Palm + 0% Lard dan Palm + 5% Lard

Diameter lekukan (mm)	Daya Terukur		Span
	Palm + 0% Lard (µW)	Palm + 5% lard (µW)	
10	0.031259187	0.031795813	0.000536626
20	0.161926854	0.171245618	0.009318764
30	0.471981695	0.464601034	0.007380661
40	0.491161288	0.487259647	0.003901641
50	0.555511715	0.542045783	0.013465932
60	0.449096964	0.467229383	0.018132418
70	0.521677287	0.512555557	0.009121717

Pengujian sensor dengan sumber cahaya LED merah dengan pencelupan pada sampel menunjukkan bahwa diameter lekukan 70 mm menunjukkan sensitivitas yang lebih baik untuk panjang kupasan lapisan *jacket* dan *cladding* sepanjang 1cm dilihat dari span pengukuran terbesar, dengan nilai span 0.197 dan nilai sensitivitas sebesar $3,93E-02 \mu W / \% \text{ lard}$. Sedangkan untuk kondisi kupasan lapisan *jacket* dan *cladding* sepanjang 2 cm, diameter lekukan 60mm menunjukkan sensitivitas yang lebih baik dibanding dengan diameter lekukan lainnya, hal ini dapat dilihat dari nilai span untuk pengujian dengan diameter lekukan 60 mm sebesar 0.018132418 dan nilai sensitivitas $0,003626484 \mu W / \% \text{ lard}$. Dari dua nilai diameter ini akan digunakan sebagai diameter optimal untuk pengujian sensor dengan pencelupan pada sampel minyak sawit dengan campuran lemak babi dengan konsentrasi 1% - 5%.

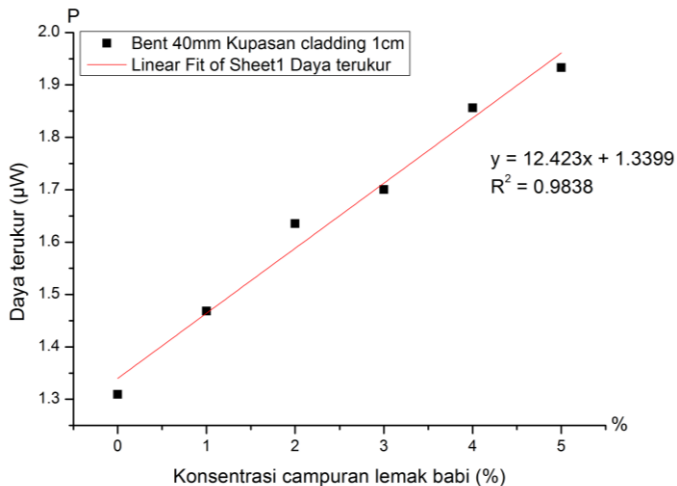
4.6 Hasil Dan Analisa Pengujian Sensor Dengan Diameter Lekukan Optimal Pada Sampel Minyak Sawit Dengan Campuran Lemak Babi 0% Hingga 5%

Setelah dilakukan identifikasi terhadap diameter lekukan yang optimal, maka proses dilanjutkan dengan pengujian sensor berbasis serat optik plastik dengan lekukan yang optimal dengan pencelupan pada sampel minyak sawit dan *lard*. Pengujian dilakukan dengan pencelupan sampel pada sampel minyak sawit yang telah dicampur dengan lemak babi dengan konsentrasi campuran lemak babi sebesar 1% - 5%. Untuk panjang kupasan lapisan *cladding* sepanjang 1 cm, diameter yang memiliki sensitivitas paling baik adalah diameter lekukan 40 mm, dan untuk panjang kupasan lapisan *cladding* sebesar 2 cm, diameter lekukan yang memiliki sensitivitas yang paling baik adalah 50 mm. Sumber cahaya LED inframerah ditetapkan sebagai sumber cahaya yang paling baik dalam perancangan sensor berbasis serat optik plastik ini karena memiliki span hasil pengukuran yang lebih besar

dibandingkan dengan sumber cahaya LED merah. Berikut merupakan grafik hasil pengujian probe sensor berbasis serat optik dengan panjang kupasan 1 cm dan 2 cm untuk sumber cahaya LED inframerah :

4.6.1 Pengujian bent 40 mm dengan kupasan *jacket* dan *cladding* 1 cm

Berdasarkan hasil identifikasi dan pengujian dengan pencelupan pada sampel minyak sawit + 0% *lard* dan sampel minyak sawit + 5%, diameter lekukan 40mm merupakan konfigurasi dengan nilai sensitivitas yang paling baik untuk panjang kupasan lapisan *jacket* dan *cladding* sepanjang 1 cm. Kemudian dilakukan pengujian dengan pencelupan sensor dengan konfigurasi ini pada sampel minyak sawit + *lard* 0% hingga sampel minyak sawit + *lard* 5%. Dari pengujian diperoleh hasil sebagai berikut :



Gambar 4. 17 Hasil pengujian sensor serat optik plastik dengan diameter lekukan 40mm pada sampel minyak sawit + lard 0% - 5%

Hasil pengujian menunjukkan bahwa adanya kenaikan daya yang ditransmisikan pada serat optik

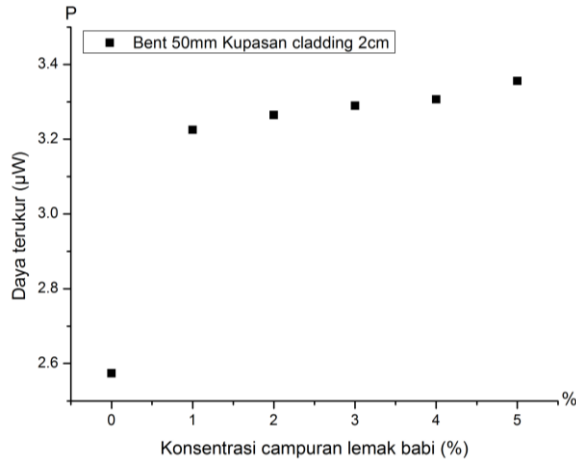
plastik setelah dicelupkan pada sampel. Semakin tinggi konsentrasi lemak babi pada minyak sawit yang digunakan sebagai sampel, semakin besar daya yang ditransmisikan pada serat optik. Hal ini dipengaruhi oleh adanya perubahan indeks bias dari tiap sampel sesuai dengan nilai konsentrasi campuran lemak babi pada sampel minyak sawit. Sensor dengan konfigurasi diameter lekukan 40 mm memiliki koefisien linearitas sebesar 0,97976.

Tabel 4. 10 Karakteristik statik sensor berbasis serat optik plastik dengan konfigurasi *u-shaped* diameter bent 40mm dan kupasan 1cm dengan LED inframerah

Karakteristik statik		Diameter lekukan
		40mm
Range	Input (% campuran)	0 – 5
	Output (μW)	1,30484 – 1,94184
Span	Input (% campuran)	5
	Output (μW)	0,637
Sensitivitas (μW per % campuran)		0,1274
R^2		0,97976

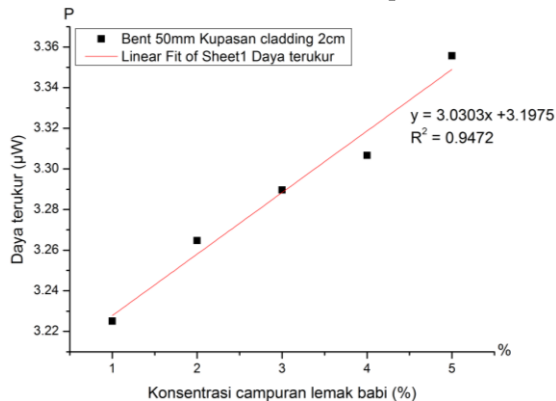
4.6.2 Pengujian bent 50mm dengan kupasan *jacket* dan *cladding* 2cm

Setelah dilakukan identifikasi terhadap kondisi lapisan *cladding* dikupas dengan panjang kupasan 2 cm dan diberi variasi lekukan dari 10 mm hingga 70 mm, diperoleh lekukan dengan sensitivitas paling baik yaitu lekukan 50 mm. Konfigurasi *u-shaped* dengan diameter lekukan 50 mm ini kemudian diuji pada sampel minyak sawit dengan campuran lemak babi dengan konsentrasi campuran 0% - 5%. Berikut merupakan grafik hasil pengujian sensor



Gambar 4. 18 Hasil pengujian sensor serat optik plastik dengan diameter lekukan 50mm pada sampel minyak sawit + lard 0% - 5%

Kemudian dilakukan *fitting linear* terhadap pengujian pada sampel minyak sawit + lard 1% hingga 5% dan diperoleh hasil grafik sebagai berikut dengan nilai koefisien regresi linear sebesar 0.9472, fitting ini bertujuan untuk mengetahui nilai seberapa linier hasil pengujian yang dilakukan terhadap peningkatan konsentrasi campuran lemak babi dan indeks bias sampel.



Gambar 4. 19 Hasil pengujian sensor serat optik plastik dengan diameter lekukan 50 mm pada sampel minyak sawit + lard 1% - 5% dengan *fitting linear*

Adapun karakteristik statik sensor untuk konfigurasi *u-shaped* dengan diameter lekukan 50 mm dan panjang kupasan 2 cm ditunjukkan oleh tabel berikut :

Tabel 4. 11 Karakteristik statik sensor berbasis serat optik plastik dengan konfigurasi *u-shaped* diameter bent 50 mm dan kupasan 2 cm dengan LED inframerah

Karakteristik statik		Diameter lekukan
		50 mm
Range	Input (% campuran)	0 – 5
	Output (μW)	2.5742048 – 3.3557224
Span	Input (% campuran)	5
	Output (μW)	0.7815176
Sensitivitas (μW per % campuran)		0.15630352
R^2		0,9742

Dari hasil pengujian ini dapat penulis simpulkan bahwa sensor berbasis serat optik plastik dengan konfigurasi *u-shaped* yang optimal dalam deteksi kandungan lemak babi di dalam minyak sawit adalah sensor serat optik dengan kupasan lapisan *cladding* yang telah dikupas sepanjang 2 cm, penentuan ini berdasarkan nilai sensitivitas pembacaan sensor dalam deteksi kandungan lemak babi pada campuran minyak sawit + lemak babi dengan nilai sensitivitas sebesar 0.15630352 μW per % campuran lard.

BAB V

KESIMPULAN

Bab ini terdiri dari kesimpulan dari penelitian tugas akhir ini dan saran yang dapat diberikan untuk penelitian selanjutnya.

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengujian dan analisa yang telah dilakukan, dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

- a. Telah dibuat sensor berbasis serat optik plastik dengan konfigurasi *U-shaped* dengan diameter lekukan paling optimal untuk deteksi kandungan lemak babi adalah diameter 50 mm untuk panjang kupasan lapisan *jacket* dan *cladding* sebesar 2 cm dan diameter lekukan 50mm untuk panjang kupasan lapisan *jacket* dan *cladding* sebesar 2 cm menggunakan sumber cahaya LED inframerah dengan panjang gelombang 930 nm
- b. Sensor berbasis serat optik plastik dengan konfigurasi *U-shaped* dengan menggunakan sumber cahaya LED inframerah memiliki sensitivitas lebih tinggi dibanding sensor berbasis serat optik plastik *U-shaped* dengan sumber cahaya LED merah
- c. Sensor berbasis serat optik plastik dengan konfigurasi *U-shaped* performa terbaik adalah sensor dengan kondisi *U-bent* dengan diameter lekukan 50 mm serta kupasan lapisan *cladding* sepanjang 2 cm dan menghasilkan nilai pembacaan dengan nilai sensitivitas sebesar 0.15630352 $\mu\text{W} / \% \text{ campuran lard}$

5.2 Saran

Pada penelitian tugas akhir ini, terdapat beberapa hal yang perlu diperbaiki. Saran yang dapat diberikan penulis terkait dengan pengembangan penelitian ini adalah sebagai berikut:

- a. Dalam proses pembuatan sensor berbasis serat optik plastik dengan konfigurasi *u-shaped* perlu dilakukan pemotongan serat optik dengan menggunakan *cleaver* yang lebih presisi sehingga ujung – ujung fiber yang digunakan lebih rapi.

- b. Pengupasan *cladding* serat optik dengan menggunakan aseton dilakukan dengan lebih rapi dan perlu diukur apakah *cladding* telah terkupas secara sempurna sehingga kinerja sensor lebih baik.
- c. Menggunakan media pembentuk lekukan yang lebih kuat dan rata sehingga tidak mempengaruhi bentuk lekukan serat optik yang digunakan sebagai sensor

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Nurulhidayah, "Detection of butter adulteration with lard using differential scanning calorimetry," *International Food Research Journal* , pp. 832-839, 2015.
- [2] R. Johnson, "Food Fraud and "Economically Motivated Adulteration"of Food and Food Ingredients," CRS Report, 2014.
- [3] W. B. Dunn, "ChemInform Abstract: Fingerprinting Food: Current Technologies for the Detection of Food Adulteration and Contamination," *Chemical Society Reviews*, pp. 5706-5727, 2012.
- [4] "Spectroscopy," Spectroscopy online.com, 2 December 2015. [Online]. Available: <http://www.spectroscopyonline.com/detecting-adulterated-meat-libr>. [Accessed 5 December 2017].
- [5] Suparman, Wiranti Sri Rahayu, Elza Sundhani, Septiana Dwi Saputri, "The Use of Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR) and Gas Chromatography Mass Spectroscopy (GCMS) for Halal Authentication in Imported Chocolate with Various Variants," *Journal of Food and Pharmaceutical Sciences*, pp. 6-11, 2015.
- [6] A. Rohman, "Differentiation of lard and other animal fats based on triacylglycerols composition and principal component analysis," *International Food Research Journal*, pp. 475-479, 2012.

- [7] Zarbia J, Arrue J, "Plastic Optical Fiber: An introduction to their technological processes and application," *Optical Fiber Technology*, pp. 101-140, 2004.
- [8] Cesar Elosua, Ignacio R. Matias, Candilo Bariain, Francisco J. Arregui, "Volatile Organic Compound Optical Fiber Sensors : A Review," *Sensors*, pp. 1440-1465, 2006.
- [9] J. Bentley, *Principles of Measurement Systems* 3rd, USA: Prentice Hall, 1995.
- [10] S. Firmansyah, "Rancang Bangun Sistem Pengukuran Specific Gravity pada Crude Oil Berbasis Sensor Serat Optik Plastik Dengan Konfigurasi U-Shaped," Departemen Teknik Fisika, Surabaya, 2015.
- [11] J. Morgado, "Plastic Optical Fibers (POFs)".
- [12] P. Polishuk, "Plastic Optical Fibers Branch Out," *IEEE Communications Magazine*, 2006.
- [13] Ajoy Ghatak, K. Thyagarajan, "Optical Waveguides and Fibers," in *Fundamentals of Photonics*, Connecticut, SPIE, 2000, pp. 278-280.
- [14] Lucia Bilro, Nelia Alberto, Joao L. Pinto, Rogerio Nogueira, "Optical Sensors Based on Plastic Fibers," *Sensors*, pp. 12184-12207, 2012.
- [15] Nana M Cao-Paz, Jorge Marcos-Acevedo, Alfredo del Rio-Vazquez, Carlos Martinez-Penalver, Alfonso Lago-Ferreiro, Andreas A. Nogueiras-Melendez, Jesus Doval-Gandoy, "A multi-Point Sensor Based on Optical Fiber for the Measurement of Electrolyte Density in Lead-Acid Batteries," *Sensors*, pp. 2587-2608, 2010.

- [16] Fu Hua jie, Chen Miaoxiang, "Effect of Bending on Optical Fiber Numerical Aperture," *Study on Optical Communication*, 1993.
- [17] F. C. Allard, "Optical Fiber," in *Fiber Optic Handbook For Engineer and Scientist*, New York, Mc Graw Hill , 1990, p. 1.34.
- [18] Daniela Kauffmann, Marwan Abdou Ahmad, Florian Kizhakeperampil, Thomas Rataj, Moritz M. Vogel, Andreas Popp, Thomas Graf, "investigation of bending effects on evanescent-field coupled waveguides designed for high-power fundamental-mode delivery system," *Proceeding of SPIE*.
- [19] N. Punjabi, J. Satija, S. Mukherji, "Evanescent Wave Absorption Based Fiber Optic Sensor - Cascading of Bend and Tapered Geometry fo Enhanced Sensitivity," 2015.
- [20] Mikel Azkune, Leire Ruiz-Rubio, Gotzon Aldabadetrek, Eneko Arrospide, Leyre Perez Alvarez, Inaki Bikandi, Joseba Zubia, Jose Luis Vilas-Vilela, "U-shaped and Surface Functionalize Polymer Optical Fiber Probe for Glucose Detection," *Sensor*, pp. 2-11, 2017.

LAMPIRAN A

Data Hasil Eksperimen

Tabel 1. Hasil Karakterisasi LED Inframerah

Panjang gelombang (nm)	Daya terukur (μW)
800	0.01838185
810	0.03268765
820	0.06982887
830	0.11286031
840	0.2338203
850	0.4813463
860	0.885201
870	1.5740464
880	2.6226486
890	4.74099
900	8.03114
910	12.836944
920	20.941362
930	29.460286
940	36.001302
950	39.160904
960	35.030196
970	27.449902
980	19.366874
990	12.186136
1000	7.843184
1010	4.88083
1020	2.929004
1030	1.8533216
1040	1.1876326
1050	0.7944614

Tabel 2. Hasil Karakterisasi LED merah

Panjang gelombang (nm)	Daya terukur (μW)
550	2.31E-02
560	9.10E-02
570	2.14E-01
580	5.27E-01
590	1.18E+00
600	2.86E+00
610	5.85E+00
620	1.05E+01
630	1.14E+01
635	1.05E+01
640	9.32E+00
650	5.77E+00
660	2.16E+00
670	4.07E-01
680	9.62E-02
690	3.15E-02
700	1.39E-02
710	7.02E-03

Tabel 3. Hasil Pengujian Sensor berbasis serat optik plastik dengan konfigurasi lurus

Kondisi serat optik	Daya terukur (μW)	
	LED inframerah	LED merah
Lurus dengan <i>jacket</i>	29.3028	11.03166
Lurus dengan <i>jacket</i> dikupas 1cm	26.87076	10.50142
Lurus dengan <i>jacket</i> dikupas 2cm	12.62682	4.302354

Lurus dengan <i>jacket</i> dan <i>cladding</i> dikupas 1cm	11.7	3.560
Lurus dengan <i>jacket</i> dan <i>cladding</i> dikupas 2cm	1.56	0.564

Tabel 4. Hasil Pengujian Serat Optik Plastik dengan kupasan lapisan *jacket* 1 cm dan diberi lekukan 10 mm – 70 mm

Diameter lekukan (mm)	Daya terukur (μW)	
	LED inframerah	LED merah
10	21.46594	7.473
20	21.99657	7.991
30	22.48517	8.514
40	23.6023	9.098
50	22.15019	9.471
60	23.71999	9.245
70	25.54673	8.228

Tabel 5. Hasil Pengujian Serat Optik Plastik dengan kupasan lapisan *jacket* 2 cm dan diberi lekukan 10 mm – 70 mm

Diameter lekukan (mm)	Daya terukur (μW)	
	LED inframerah	LED merah
10	8.323	3.464
20	8.526	3.772
30	8.630	3.751
40	8.950	3.926
50	9.076	4.172
60	9.326	3.548
70	9.584	3.975

Tabel 6. Hasil Pengujian Serat Optik Plastik dengan kupasan lapisan *jacket* dan *cladding* sepanjang 1 cm dan diberi lekukan 10 mm – 70 mm

	Daya terukur (μW)
--	--------------------------------

Diameter lekukan (mm)	LED inframerah	LED merah
10	1.516092	0.441818
20	1.913124	0.551281
30	3.877466	1.02992
40	4.413333	1.232221
50	5.494687	1.53178
60	5.914842	1.766131
70	5.960909	1.794346

Tabel 7. Hasil Pengujian Serat Optik Plastik dengan kupasan lapisan *jacket* dan *cladding* sepanjang 1 cm dan diberi lekukan 10 mm – 70 mm

Diameter lekukan (mm)	Daya terukur (μW)	
	LED inframerah	LED merah
10	1.516092	0.441818
20	1.913124	0.551281
30	3.877466	1.02992
40	4.413333	1.232221
50	5.494687	1.53178
60	5.914842	1.766131
70	5.960909	1.794346

Tabel 8. Hasil Pengujian Serat Optik Plastik dengan kupasan lapisan *jacket* dan *cladding* sepanjang 2cm dan diberi lekukan 10 mm – 70 mm

Diameter lekukan (mm)	Daya terukur (μW)	
	LED inframerah	LED merah
10	0.093525	0.024349
20	0.073222	0.036029
30	0.237215	0.05462
40	0.371222	0.083648
50	0.48362	0.105252
60	0.552675	0.127346
70	0.604249	0.13166

Tabel 9. Hasil Pengujian Serat Optik Plastik – LED inframerah dengan kupasan lapisan *jacket* dan *cladding* sepanjang 1 cm dan diberi lekukan 10 mm – 70 mm dengan pencelupan pada sampel minyak sawit + *lard* 0% dan 5%

Diameter lekukan (mm)	Daya terukur (μW)		Span
	Palm + 0% <i>lard</i>	Palm + 5% <i>lard</i>	
10	0.12878522	0.127844176	0.000941
20	0.487615275	0.94290365	0.455288
30	1.93257125	1.9975915	0.06502
40	1.34042825	1.936613	0.596185
50	2.58303775	2.305886	0.277152
60	2.5245	2.756136	0.231636
70	2.949798	3.026881	0.077083

Tabel 10. Hasil Pengujian Serat Optik Plastik – LED inframerah dengan kupasan lapisan *jacket* dan *cladding* sepanjang 2 cm dan diberi lekukan 10 mm – 70 mm dengan pencelupan pada sampel minyak sawit + *lard* 0% dan 5%

Diameter lekukan (mm)	Daya terukur (μW)		Span
	Palm + 0% <i>lard</i>	Palm + 5% <i>lard</i>	
10	0.184009176	0.208098791	0.024089615
20	0.817125618	0.555442809	0.261682809
30	2.071097778	2.183527778	0.11243
40	2.243284091	2.353914773	0.110630682
50	2.548906395	2.949268605	0.400362209
60	2.783994643	2.420425	0.363569643
70	1.980384756	1.771718293	0.208666463

Tabel 11. Hasil Pengujian Serat Optik Plastik – LED inframerah dengan kupasan lapisan *jacket* dan *cladding* sepanjang 1 cm lekukan 40 mm dengan pencelupan pada sampel minyak sawit + *lard* 0% hingga 5%

Konsentrasi campuran lemak babi (%)	Daya terukur (μW)
0	1.3094074
1	1.468216
2	1.635348
3	1.700567
4	1.856121
5	1.93325

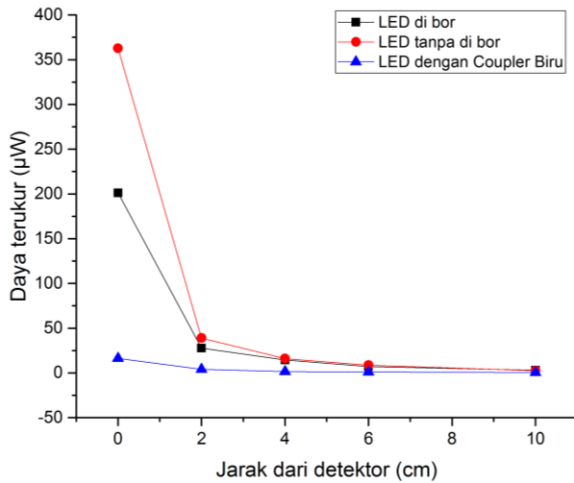
Tabel 12. Hasil Pengujian Serat Optik Plastik – LED inframerah dengan kupasan lapisan *jacket* dan *cladding* sepanjang 2 cm lekukan 50 mm dengan pencelupan pada sampel minyak sawit + lard 0% hingga 5%

Konsentrasi campuran lemak babi (%)	Daya terukur (μW)
0	2.5742048
1	3.2251466
2	3.264781
3	3.28964735
4	3.3066636
5	3.3557224

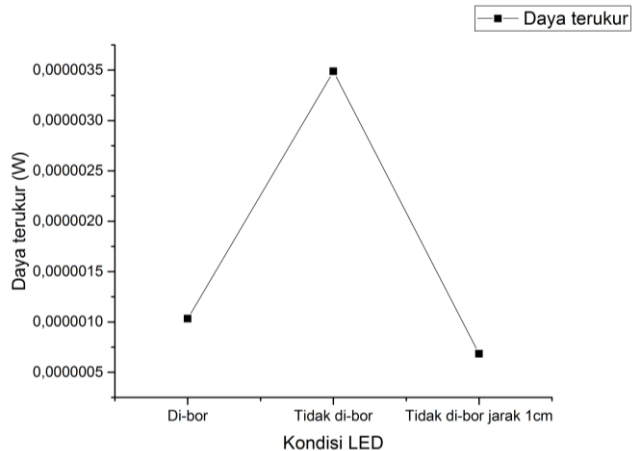
Tabel 13. Hasil Karakterisasi Daya LED merah dengan variasi jarak dari detektor dan kondisi LED merah

Jarak dari detektor (cm)	Daya yang dipancarkan untuk kondisi- (μW)		
	LED dibor	LED tanpa dibor	LED dengan <i>coupler</i>
0	201,11962	362,7357733	16,24914
2	27,688293	39,02571933	3,957825
4	14,382891	16,04911833	1,612315
6	7,1792688	8,6670254	0,919996
10	2,9128067	2,616243883	0,405331

Grafik 1. Hasil Karakterisasi Daya LED merah dengan variasi jarak dari detektor dan kondisi LED merah



Grafik 2. Hasil pengukuran kopling sumber cahaya ke serat optik untuk kondisi LED merah di-bor dan tanpa di-bor



LAMPIRAN B

Spesifikasi Alat

B.1 Spesifikasi Serat Optik Plastik Eska SH-4001 Step-Index Structure

Table1		SH 4001			
Item		Specification			
		Unit	Min.	Typ.	Max.
Optical Fiber	Core Material	—	Polymetyl - Methacrylate Resin		
	Cladding Material	—	Fluorinated Polymer		
	Core Refractive Index	—	1.49		
	Refractive Index Profile	—	Step Index		
	Numerical Aperture	—	0.5		
	Core Diameter	μm	920	980	1,040
	Cladding Diameter	μm	940	1,000	1,060
Jacket	Material and Color	—	Polyethylene , Black		
	Diameter	mm	2.13	2.20	2.27
	Indication on the Jacket	—	SUPER ESKA ; Blue		
Approximate Weight		g / m	4		

Sectional View



Performance

Table2

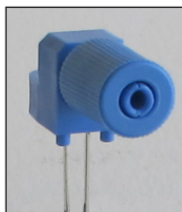
Table2			SH 4001			
Item		Acceptance Criterion and / or [Test Condition]	Specification			
			Unit	Min.	Typ.	Max.
Maximum Rating	Storage Temperature	No Physical Deterioration [in a Dry Atmosphere]	℃	- 55	—	+ 70
	Operation Temperature	No Deterioration in Optical Properties* [in a Dry Atmosphere]	℃	- 55	—	+ 70
	Operation Temperature in a Moist Atmosphere	No Deterioration in Optical Properties** [under 95 %RH]	℃	—	—	+ 60
Optical Properties	Transmission Loss	φ50 nm Collimated Light]	dB/km	—	—	190
	Transmission Loss under 95 %RH	φ50 nm Collimated Light]	dB/km	—	—	210
Mechanical Characteristics	Minimum Bend Radius	Loss Increment ≦0.5 dB [A Quarter Bend]	mm	25	—	—
	Repeated Bending Endurance	Loss Increment ≦1 dB [in Conformity to the JIS C 6861]	Times	10,000	—	—
	Tensile Strength	[Tensile Force at 5Åi Elongation; in Conformity to the JIS C 6861]	N	70	—	—
	Twisting Endurance	Loss Increment ≦1 dB [Sample Length : 1 m Tensile Force : 4.9 N]	Times	5	—	—
	Impact Endurance	Loss Increment ≦1 dB [in Conformity to the JIS C 6861]	N.m	0.4	—	—

B.2 Spesifikasi LED Infrared IF E91A Industrial Fiber Optic

Plastic Fiber Optic IR LED

IF E91A

1/18



DESCRIPTION

The IF-E91A is a high-output medium-speed infrared LED in a "connector-less" style plastic fiber optic package. The output spectrum peaks at 930 nm for the IF-E91A. The device package features an internal micro-lens, and a precision-molded PBT housing ensures efficient optical coupling with standard 1000 μ m plastic fiber cable.

APPLICATION HIGHLIGHTS

The high output and fast transition times of the IF-E91A are suitable for low-cost analog and digital data links. Used with an IF-D96 photologic detector, the IF-E91A can achieve data rates of 500 kbps at link distances up to 7 m. The drive circuit design is simpler than required for laser diodes, making the IF-E91A an excellent low-cost alternative in a variety of analog and digital applications.

APPLICATIONS

- Low Cost Analog and Digital Data Links
- Digitized Audio
- Optical Sensors
- Medical Instruments
- Robotics Communications
- Motor Controller Triggering
- EMC/EMI Signal Isolation
- Electronic Games
- Intra-System Links: Board-to-Board, Rack-to-Rack

FEATURES

- ◆ Excellent Linearity
- ◆ No Optical Design Required
- ◆ Mates with Standard 1000 μ m Core, 2.2 mm Jacketed Plastic Fiber Cable
- ◆ Internal Micro-Lens for Efficient Coupling
- ◆ Inexpensive Plastic Connector Housing
- ◆ Connector-Less Fiber Termination and Connection
- ◆ Interference-Free Transmission from Light-Tight Housing
- ◆ RoHS Compliant

MAXIMUM RATINGS

(T _A = 25°C)	
Operating and Storage Temperature Range (TOP, TSTG).....	-40° to 85°C
Junction Temperature (T _J).....	85°C
Soldering Temperature (2 mm from case bottom) (T _S) t ≤ 5 s.....	260°C
Reverse Voltage (V _R).....	5 V
Power Dissipation (P _{TOT}) T _A = 25°C.....	80 mW
De-rate Above 25°C.....	1.33 mW/°C
Forward Current, DC (I _F).....	50 mA
Surge Current (IFSM) t ≤ 10 μ s duty cycle <1%.....	1.2 A

CHARACTERISTICS (T_A = 25°C)

Parameter	Symbol	Min.	Typ.	Max.	Unit
Peak Wavelength	λ_{PEAK}	—	930	—	nm
Spectral Bandwidth (FWHM)	$\Delta\lambda$	—	50	—	nm
Output Power Coupled into Plastic Fiber (1 mm core diameter). Distance Lens to Fiber ≤ 0.1 mm, 1 m SH4001 fiber, I _F = 20 mA	P _O	50 -13	70 -11.6	95 -10.2	μ W dBm
Switching Times (10% to 90% and 90% to 10%) (Figure 3)	t _r , t _f	—	0.7	—	μ s
Capacitance (F = 1 MHz)	C _O	—	20	—	pF
Forward Voltage (I _F = 20 mA) (I _F = 50 mA)	V _F	—	1.2 1.27	1.6 1.6	V

CAUTION: The IF E91A is ESD sensitive. To minimize risk of damage observe appropriate precautions during handling and processing.

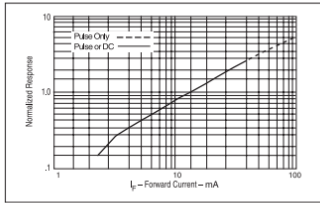


FIGURE 1. Normalized power launched versus forward current

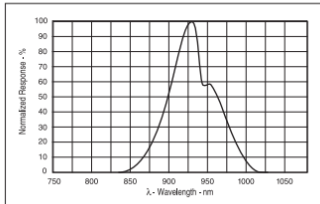


FIGURE 2. Typical spectral output versus wavelength.

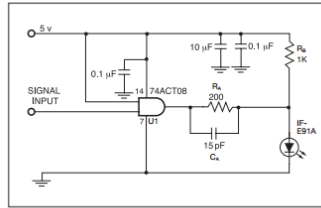


FIGURE 3. Test/Application circuit ($I_F = 22\text{mA}$).

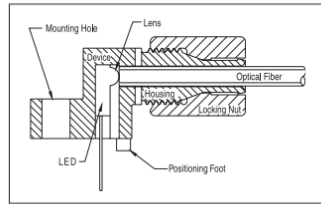


FIGURE 4. Cross-section of fiber optic device.

B.3 Spesifikasi Power Meter PM100USB THORLABS

Item #	PM100USB
Display	
Display Type	External PC - Windows Application or Driver Set
Display Screens	Windows Application Software Provided
GUI Refresh Rate	300 Hz (Dependent on PC and Settings)
Sensor Interface	
Compatible Sensors	All Photodiodes, Thermopiles, and Pyros See below for full sensor specs
AD Converter	16 bit
Connector	DB9F
Sensor Temperature Control	Thermistor
Temperature Measurement Range	-10 to 80 °C
Digital Outputs	
Connector / Interface	Mini USB / USB2.0
Power	
Battery	N/A
Charger / DC Input	USB / PC Provided
Dimensions and Mounting	
Dimensions (LxWxH)	93.1 mm x 60.4 mm x 28.7 mm (3.67" x 2.38" x 1.13")
Weight	0.15 kg (0.33 lbs)
Operating Temperature	0 to 40 °C
Storage Temperature	-40 to 70 °C

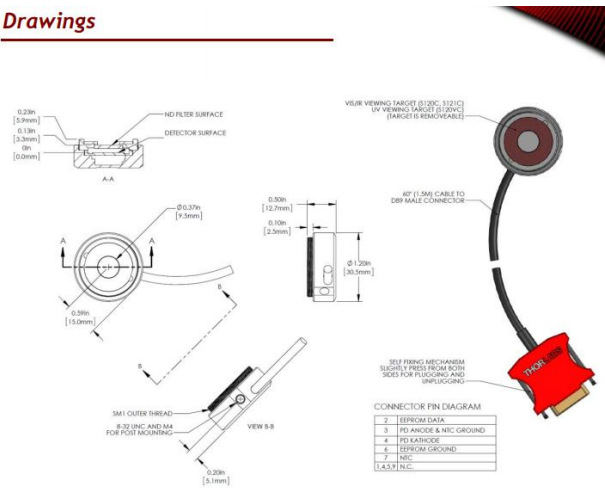
B.4 Spesifikasi Fiber Power Head S120C THORLABS

Specifications	
Detector Type	Silicon Photodiode
Wavelength Range	400 - 1100 nm
Optical Power Working Range	50 nW - 50 mW
Max Average Power Density	20 W/cm ²
Max Pulse Energy	20 µJ
Linearity	± 0.5%
Resolution ¹⁾	1nW
Measurement Uncertainty ²⁾	±3% 440 - 980 nm ±5% 400 - 439 nm, ±7% 981 - 1100 nm
Typical Application	Low Power Lasers
Laser Types	Diode, Diode Arrays, He-Ne, Dye, Ion Lasers (Ar ⁺ , Kr ⁺)
Coating /Diffuser ³⁾	Reflective ND (OD1)
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 ⁴⁾	#8-32 to M4 thread
Aperture Thread	SM1, outer thread
Fiber Adapters (optional)	FC, SC, LC, SMA, ST

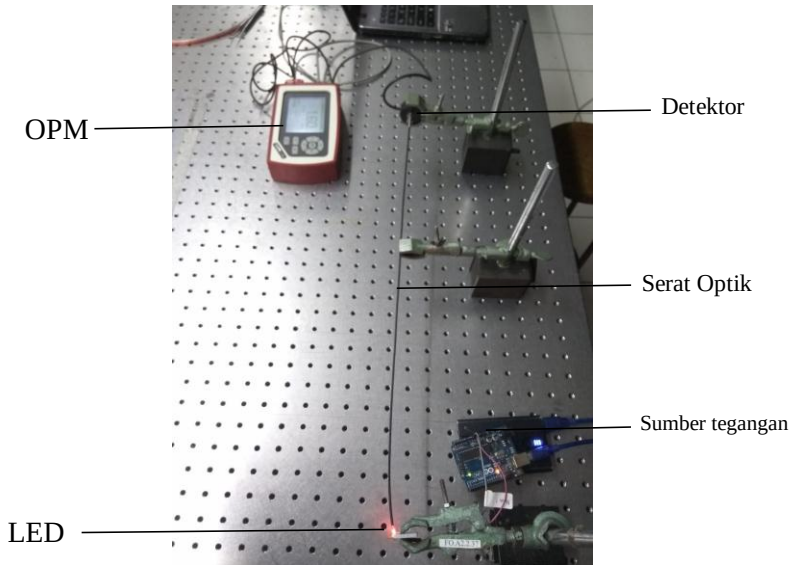
¹⁾ Measured with PM100D console in bandwidth low setting.
²⁾ Beam diameter > 1mm
³⁾ This specification is valid for S120C devices from serial number 1203xxx. For older versions, please contact technical support.
⁴⁾ Please note that the S120C power meter head is not compatible with the older Thorlabs power meter consoles (PM100, PM30, PM300, PM300E, S100).

B.5 Penampang Detektor Fiber Power Head S120C THORLABS

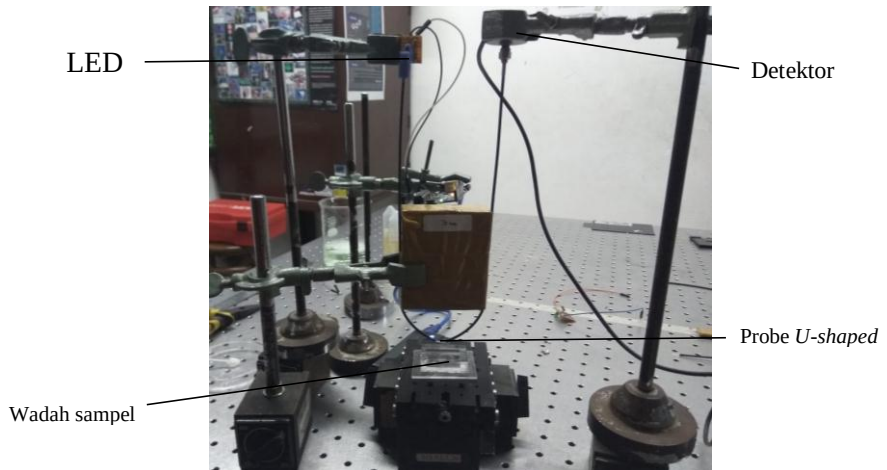
Drawings



LAMPIRAN C DOKUMENTASI PENELITIAN



Gambar C.1 Setup Pengujian sensor konfigurasi lurus



Gambar C.2 Setup Pengujian sensor



Gambar C.3 Alat bantu pembentuk lekukan diameter 10 mm – 70 mm (dari kiri ke kanan)



Gambar C.4 Sampel minyak sawit murni dan minyak sawit dengan campuran lemak babi dengan konsentrasi 0% - 5% (dari kiri ke kanan)

BIODATA PENULIS



Lahir pada tanggal 7 Mei 1996 di Bukittinggi. Penulis merupakan anak pertama dari Friwandi dan Isda Julmisgi. Mulai mengenyam pendidikan formal di SDN 63 Surabaya, Lubuk Basung dan lulus pada tahun 2008 dan melanjutkan pendidikan di SMPN 1 Lubuk Basung dan lulus pada tahun 2011. Kemudian melanjutkan pendidikan di SMAN Agam Cendekia. Lulus dari pendidikan SMA pada 2014, penulis melanjutkan pendidikan di Institut Teknologi Sepuluh Nopember Departemen Teknik Fisika FTI. Selama berkuliah, penulis aktif dalam berbagai kegiatan kompetisi ilmiah dan aktif sebagai asisten di Laboratorium Rekayasa Fotonika serta aktif di SPIE Student Chapter ITS. Penulis memiliki pengalaman kerja praktek di Pusat Penelitian Fisika LIPI (PPF – LIPI) dengan tema penelitian laser dan sintesis nanopartikel. Penulis memiliki moto hidup, *“They always say time changes things, but actually you have to change them yourself”*. Penulis dapat dihubungi di email fadhelhusada7@gmail.com