



TUGAS AKHIR - TF 181801

**RANCANG BANGUN SENSOR OKSIGEN TERLARUT
(DISSOLVED OXYGEN) BERBASIS SERAT OPTIK
PLASTIK MENGGUNAKAN GRAPHENE OXIDE**

**M EKO YULIANTO WIBOWO
NRP. 02311745000024**

**Dosen Pembimbing :
Agus Muhammad Hatta, ST. M.Si.Ph.D**

**DEPARTEMEN TEKNIK FISIKA
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2019**



FINAL PROJECT - TF 181801

***DESIGN OF DISSOLVED OXYGEN SENSOR BASED ON
PLASTIC OPTIC FIBRE (POF) USING GRAPHENE OXIDE***

***M EKO YULIANTO WIBOWO
NRP. 02311745000024***

SUPERVISOR

Agus Muhammad Hatta, ST. M.Si. Ph.D

***ENGINEERING PHYSIC DEPARTEMENT
Industrial Faculty Of Technology
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2019***

PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

Saya yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : M. Eko Yulianto Wibowo

NRP : 02311745000024

Departemen : Teknik Fisika FTI-ITS

Dengan ini menyatakan bahwa tugas akhir saya yang berjudul **“RANCANG BANGUN SENSOR OKSIGEN TERLARUT (DISSOLVED OXYGEN) BERBASIS SERAT OPTIK PLASTIK MENGGUNAKAN GRAPHENE OXIDE”** 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, 25 Juli 2019

Yang membuat pernyataan



M. Eko Yulianto Wibowo

02311745000024

Halaman ini sengaja dikosongkan

**"RANCANG BANGUN SENSOR OKSIGEN TERLARUT
(DISSOLVED OXYGEN) BERBASIS SERAT OPTIK
PLASTIK MENGGUNAKAN GRAPHENE OXIDE"**

Oleh :

M. Eko Yulianto Wibowo

NRP. 023111745000024

Surabaya, 25 Juli 2019

Menyetujui,
Dosen Pembimbing



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

Mengetahui,
Kepala Departemen
Teknik Fisika FTI-ITS



Halaman ini sengaja dikosongkan

**"RANCANG BANGUN SENSOR OKSIGEN TERLARUT
(DISSOLVED OXYGEN) BERBASIS SERAT OPTIK
PLASTIK MENGGUNAKAN GRAPHENE OXIDE"**

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh
Gelar Sarjana Teknik
Pada

Bidang Minat Rekayasa Fotonika
Program studi S-1 Departemen Teknik Fisika
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh

M. Eko Yulianto Wibowo
NRP. 02311745000024

Disetujui oleh tim penguji tugas akhir :

1. Agus M Hatta, S.T.,M.Si., Ph.D(Pembimbing 1)

2. Prof. Dr. Ir. Sekartedjo., M.Sc(Penguji 1)

3. Dr. rer.nat.Ir Aulia M.T.N., M.Sc(Penguji 2)

4. Dr. Suyanto., S.T., M.T(Penguji 3)

Surabaya
2018

Halaman ini sengaja dikosongkan

**RANCANG BANGUN SENSOR OKSIGEN
TERLARUT (*DISSOLVED OXYGEN*) BERBASIS
SERAT OPTIK MENGGUNAKAN *GRAPHENE
OXIDE***

Nama Mahasiswa : M. Eko Yulianto Wibowo
NRP : 02311745000024
Program Studi : S1 Teknik Fisika
Pembimbing : Agus Muhammad Hatta, S.T, M.Si, Ph.D

Abstrak

Telah dilakukan pembuatan sensor oksigen terlarut berbasis serat optik plastik dengan graphene oxide. Sensor oksigen terlarut dibuat dengan variasi sumber cahaya LED biru dan merah dengan coating *Graphene Oxide* (GO) sepanjang 1 cm dan 2 cm. Pada hasil percobaan telah diperoleh masing-masing nilai pengukuran pada masing-masing sumber cahaya dengan variasi panjang coating Graphene oxide yang berbeda. Dilakukan pengukuran pada sensor oksigen terlarut 5 kali pengambilan data untuk menentukan sensitifitas sensor pada sebuah wadah berisi air 250 mL yang diinjeksi dengan oksigen. Pengukuran oksigen terlarut dengan masing-masing variasi LED dan coating *graphene oxide* (GO) menunjukkan hasil bahwa sensor dengan sumber cahaya LED biru dengan panjang *coating graphene oxide* (GO) 2 cm merupakan sensor dengan hasil terbaik yaitu dengan nilai $R^2 = 0.98173$ dengan sensitifitas 1.540505.

Kata kunci : Serat optik plastik, sensor, oksigen terlarut

Halaman ini sengaja dikosongkan

**DESIGN OF DISSOLVED OXYGEN SENSOR BASED
ON PLASTIC OPTIC FIBRE (POF) USING
GRAPHENE OXIDE**

Name : *M. Eko Yulianto Wibowo*
NRP : *0231174500024*
Program Study : *S1 Physic Engineering*
Lecture : *Agus Muhammad Hatta, ST. M.Si.Ph.D*

Abstract

The design of dissolved oxygen sensors based on plastic optical fibers has been made with graphene oxide. Dissolved oxygen sensor is made with a variety of blue and red LED light sources with 1 cm and 2 cm Graphene Oxide coating. In the results of the experiments, each measurement value has been obtained for each light source with different variations in the coating length of Graphene oxide. Measurements were carried out on the dissolved oxygen sensor 5 times data collection to determine the sensitivity of the sensor in a container containing 250 mL of water injected with oxygen. Dissolved oxygen measurements with each variation of LED and GO coating showed that the sensor with a blue LED light source with a length of GO 2 cm coating was the sensor with the best results, namely with a value of $R^2 = 0.98173$ with sensitivity 1.540505

Keyword : Plastic Optic Fiber, sensor, Dissolved Oxygen

Halaman ini sengaja dikosongkan

KATA PENGANTAR

Puji Syukur Alhamdulillah penulis panjatkan kehadiran Allah SWT, berkat Rahmat dan Hidayah-Nya penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul :

“RANCANG BANGUN SENSOR OKSIGEN TERLARUT (*DISSOLVED OXYGEN*) BERBASIS SERAT OPTIK PLASTIK MENGGUNAKAN *GRAPHENE OXIDE*”

Penulis mengucapkan terima kasih kepada pihak yang telah membantu dalam pelaksanaan dan penyusunan laporan Tugas Akhir ini. Untuk itu penulis mengucapkan terimakasih atas bantuan dan motivasi kepada :

1. Bapak Agus Muhammad Hatta, ST. M.Si. Ph.D selaku pembimbing penulis dan Kepala Departemen Teknik Fisika ITS, yang selalu memberikan bimbingan serta dukungan dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
2. Bapak Prof. Sekartedjo selaku kepala Laboratorium Rekayasa Fotonika dan seluruh bapak/ibu dosen bidang minat Fotonika Teknik Fisika ITS
3. Bapak dan Ibu dosen Teknik Fisika ITS yang telah memberikan ilmu selama penulis menempuh pendidikan sarjana.
4. Asisten laboratorium Rekayasa Fotonika khususnya Ika Puspita sari yang turut membantu penulis menyelesaikan tugas akhir ini.

5. Segenap keluarga besar mahasiswa Teknik Fisika ITS dan lintas jalur 2017.
6. Untuk orang tua dan keluarga penulis yang telah memberikan dukungan untuk menyelesaikan tugas akhir ini.
7. Keluarga besar Himpunan mahasiswa Islam (HMI) cabang Surabaya Komisariat Fisika Teknik Sepuluh Nopember yang tidak henti-hentinya memberikan semangat dan motivasi kepada penulis untuk istiqomah jihad fii sabilillah.
8. TA wan dan TA wati bidang minat rekayasa fotonika yang menjadi rekan seperjuangan.
9. Rekan-rekan yang namanya tidak bisa penulis sebutkan satu per satu.

Penulis menyadari bahwa penyusunan laporan Tugas Akhir ini masih belum sempurna, untuk itu saran serta kritik yang membangun sangat diharapkan. Penulis berharap semoga laporan ini bermanfaat bagi pembacanya.

Surabaya, Juli 2019

M. Eko Yulianto Wibowo

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
PERNYATAAN BEBAS PLAGIARISME	iii
LEMBAR PENGESAHAN	v
ABSTRAK.....	ix
ABTRACT.....	xi
KATA PENGANTAR.....	xiii
DAFTAR ISI	xv
DAFTAR GAMBAR.....	xvii
BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Perumusan Masalah.....	3
1.3 Batasan Masalah	3
1.4 Tujuan	3
1.5 Sistematika Laporan	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Pengertian Oksigen Terlarut	5
2.2 <i>Pengaruh Oksigen Terlarut terhadap Ikan.....</i>	9
2.3 Serat Optik.....	9
2.4 <i>Numerical Aperture</i>	10
2.5 Serat Optik sensor sebagai sensor kimia.....	11
2.6 <i>Graphene Oxide.....</i>	15
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	
3.1 Langkah-Langkah Penelitian	21
3.2 Studi Literatur	22
3.3 Alat dan Bahan Penelitian.....	22

3.4	Prosedur Kerja	23
3.4.1	Pembuatan Probe Sensor	23
3.4.2	Pengujian Sensor	25
3.5	Pengujian sensor dengan graphene oxide	30
3.6	Penarikan Kesimpulan	30

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1	Karakterisasi LED.....	33
4.2	Pengukuran Sensor Serat Optik Plastik	34

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1	Kesimpulan	45
5.2	Saran	45

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN A

LAMPIRAN B

LAMPIRAN C

BIOGRAFI PENULIS

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Lapisan penyusun serat optik.....	11
Gambar 2.2	Perambatan Cahaya Pada Dua Medium.....	12
Gambar 2.3	Macam-Macam Serat Optik	14
Gambar 2.4	Sudut Penerimaan	15
Gambar 2.5	Sensor Serat Optik Ekstrinsik.....	17
Gambar 2.6	Sensor Serat Optik Intrinsik.....	18
Gambar 2.7	Konfigurasi probe sensor serat optik	18
Gambar 2.8	Terjadinya medan evanescent.....	20
Gambar 2.9	<i>Graphene Oxide</i>	21
Gambar 3.1	Diagram alir penelitian	23
Gambar 3.2	Software <i>Spectrasuite</i>	27
Gambar 3.3	Software Thorlabs PM100D	28
Gambar 3.4	Diagram blok mekanisme sensing	29
Gambar 3.5	Skematik Rangkaian Sensor	30
Gambar 4.1	Karakterisasi LED.....	31
Gambar 4.2	Hasil pengujian sensor dengan LED merah..	33
Gambar 4.3	Hasil pengujian sensor dengan LED Biru.....	34
Gambar 4.4	Fabrikasi Sensor Serat Optik	35
Gambar 4.5	Respon DO meter	36
Gambar 4.6	Hubungan perubahan daya dengan oksigen terlarut dengan LED biru Coating GO 2 cm	39
Gambar 4.7	Hubungan Perubahan daya dengan oksigen terlarut dengan LED biru coating GO 1 cm .	40
Gambar 4.8	Hubungan Perubahan daya dengan oksigen terlarut dengan LED Merah coating GO 1 cm	42

Gambar 4.9 Hubungan Perubahan daya dengan oksigen terlarut dengan LED Merah coating GO 1 cm	43
Gambar 4.10 Spektrum LED Biru dengan kupasan 1 cm	36
Gambar 4.11 Spektrum LED Biru dengan kupasan 2 cm	45
Gambar 4.12 Spektrum LED Merah dengan kupasan 1 cm ...	46
Gambar 4.13 Spektrum LED Merah dengan kupasan 2 cm ...	47

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Hubungan Oksigen terlarut jenuh dengan suhu pada tekanan udara 760 mmHg	5
Tabel 2.2 Hubungan Oksigen terlarut dan salinitas pada tekanan udara 760 mmHg	11
Tabel 2.3 Kadar Oksigen Terlarut (OT) dan Pengaruhnya terhadap Kelangsungan Hidup Ikan	12
Tabel 4.1 Nilai daya LED biru dan LED merah	30
Tabel 4.2 Nilai Intensitas dan dBm dari berbagai jenis LED...	33
Tabel 4.3 Pengukurna daya serat optik dengan graphene oxide coating 2 cm menggunakan LED Biru	34
Tabel 4.4 Pengukurna daya serat optik dengan graphene oxide coating 1 cm menggunakan LED Biru	35
Tabel 4.5 Pengukurna daya serat optik dengan graphene oxide coating 2 cm menggunakan LED Merah	37
Tabel 4.6 Pengukurna daya serat optik dengan graphene oxide coating 1 cm menggunakan LED Merah	39

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB I

PENDAHULUAN

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

1.1. Latar Belakang

Dalam suatu sistem budidaya ikan, terdapat beberapa parameter yang digunakan sebagai ukuran kuantitas oleh pembudidaya dalam menjamin kelangsungan hidup ikan yang dibudidaya. Selain itu secara ekonomi, pendapatan akan meningkat karena kerugian akibat kematian ikan bisa dikurangi dengan cara melakukan antisipasi yang baik terhadap parameter aquatik dalam budidaya perikanan. Adapun parameter kualitas air yang harus dipantau diantara lain suhu, kecerahan, pH, oksigen terlarut, karbondioksida, alkalinitas, kesadahan, fosfat, nitrogen dan lainnya[1].

Adapun penyebab penurunan kualitas air berdasarkan parameter yang sudah disebutkan disebabkan karena makanan ikan yang tidak termakan dan membusuk, tidak dilakukan proses aerasi secara teratur dan terjadwal. Oksigen terlarut dalam suatu perairan diperoleh melalui difusi udara ke dalam air, aerasi mekanis, dan fotosintesis.

Adapun suatu fenomena yang diakibatkan oleh adanya penurunan kadar oksigen terlarut dalam air disebut dengan *hypoxia*[2]. *Hypoxia* disebabkan karena adanya konsumsi oksigen terlarut yang tidak seimbang dengan produksi oksigen.

Kadar oksigen terlarut yang rendah dapat berpengaruh terhadap pertumbuhan organisme akuatik, bahkan dapat menyebabkan kematian secara pesat.

Sistem pemantauan kualitas air adalah suatu cara untuk mengetahui kualitas air pada suatu kolam ikan menggunakan sensor yang dapat mengukur kualitas air secara terus menerus. Penggunaan sensor oksigen terlarut ini dapat digunakan untuk memastikan kondisi kualitas air yang digunakan oleh pembudidaya secara *real time*.

Oksigen berperan penting sebagai indikator kualitas perairan, karena oksigen terlarut berperan dalam proses oksidasi dan reduksi bahan organik dan anorganik. Selain itu, oksigen juga menentukan proses biologi yang dilakukan oleh organisme aerobik dan anaerobik. Dalam kondisi aerobik, peranan oksigen adalah untuk mengoksidasi bahan organik dan anorganik dengan hasil akhirnya adalah nutrisi yang ada pada akhirnya dapat memberikan kesuburan perairan. Dalam kondisi anaerobik oksigen yang dihasilkan akan mereduksi senyawa-senyawa kimia menjadi lebih sederhana dalam bentuk nutrisi dan gas [2].

Oksigen terlarut/*dissolved oxygen* (DO) merupakan salah satu parameter kualitas air yang sangat penting bagi kegiatan budidaya perikanan. Level DO yang sesuai sangat diperlukan untuk mendukung keragaman kehidupan akuatik. Level DO yang rendah dapat menyebabkan terhambatnya pertumbuhan dan bahkan dapat menyebabkan kematian pada organisme yang dibudidayakan. Dinamika DO dalam perairan melibatkan interaksi kompleks antara beberapa bahan kimia, biokimia dan lingkungan. Tiga faktor yang mempengaruhi konsentrasi DO dalam perairan adalah fotosintesis, respirasi dan reaerasi.

DO dibutuhkan oleh semua jasad hidup untuk pernafasan, proses metabolisme atau pertukaran zat yang kemudian menghasilkan energi untuk pertumbuhan dan pembiakan. Di samping itu, oksigen juga dibutuhkan untuk oksidasi bahan-bahan organik dan anorganik dalam proses aerobik. Sumber utama oksigen dalam suatu perairan berasal dari suatu proses difusi dari udara bebas dan hasil fotosintesis organisme yang hidup dalam perairan tersebut [1,2].

Pembuatan sensor berbasis optik [3] memiliki banyak kelebihan diantaranya memiliki ukuran yang kecil dan ringan serta tahan terhadap gangguan elektromagnetik, tahan terhadap temperatur dan tekanan tinggi serta memiliki sensitivitas dengan menggunakan metode seperti metode reflektansi, fluoresensi dan absorpsi. Dari ketiga metode tersebut yang dapat digunakan untuk membuat sensor oksigen terlarut salah satunya adalah metode fluoresensi. Metode ini dilakukan untuk meningkatkan sensitifitas sensor dengan cara melapisi serat optik plastik dengan material yang dapat berinteraksi secara kimiawi dengan analit. Metode ini akan menghasilkan sifat sensitifitas yang lebih tinggi karena probe sensor yang digunakan dapat mendeteksi analit yang terlarut pada suatu sampel.

1.2. Rumusan Masalah

Adapun permasalahan pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Bagaimana rancang bangun sensori oksigen terlarut berbasis sensor serat optik plastik menggunakan *graphene oxide*?

2. Bagaimana karakteristik statik sensor oksigen terlarut berbasis serat optik plastik menggunakan *graphene oxide*?

1.3. Tujuan

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Diperolehnya desain sensor menggunakan serat optik plastik dengan *graphene oxide* untuk sensor oksigen terlarut.
2. Didapatkannya karakteristik statik sensor oksigen terlarut berbasis serat optik plastik dengan *graphene oxide*.

1.4. Batasan Masalah

Batasan masalah dalam melaksanakan tugas akhir ini antara lain sebagai berikut :Serat optic yang digunakan adalah jenis Plastik (*Plastic Optic Fibre*) dengan diameter inti 1 mm.

- a. Suhu pada air akuarium adalah pada 27 – 29 °C.
- b. Sumber cahaya yang digunakan adalah LED Biru dan merah dengan panjang gelombang 470 nm dan 630 nm.
- c. Pengambilan data dilakukan di sebuah chamber 30 x 30 cm.
- d. Oksigen yang digunakan adalah oksigen medis/klinis.
- e. DO meter yang digunakan adalah DO meter merk LUTRON YK2005WA

1.5. Sistematika Laporan

Sistematika laporan yang digunakan dalam penyusunan laporan tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

BAB I : PENDAHULUAN

Bab ini membahas mengenai latar belakang permasalahan, perumusan masalah, batasan masalah, tujuan, dan sistematika penulisan tugas akhir ini.

BAB II : TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini berisi dasar - dasar teori dan beberapa penelitian sebelumnya yang mendukung dalam tugas akhir ini.

BAB III : METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini membahas pendekatan tahapan-tahapan yang dilakukan dalam proses penelitian dari tugas akhir.

BAB IV : DATA DAN ANALISIS DATA

Bab ini menguraikan hasil analisa dari percobaan.

BAB V : KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini berisi simpulan dari analisa yang telah dilakukan dan saran untuk pengembangan lebih lanjut.

BAB II

DASAR TEORI

Bab ini berisi tentang teori-teori dasar yang menjadi prinsip alur berfikir dari penyelesaian permasalahan untuk mencapai tujuan penelitian tugas akhir. Sumber dasar teori ini berasal dari *text book*, jurnal ilmiah dan *manual book*.

2.1. Pengertian Oksigen Terlarut

Oksigen dalam konteks limnologi dibutuhkan oleh semua jasad hidup untuk bernapas dan melakukan proses metabolisme atau pertukaran zat yang kemudian menghasilkan energi untuk pertumbuhan dan pembiakan. Proses oksidasi yang dibutuhkan oleh bahan-bahan organik dan anorganik dalam proses aerobik tentunya memerlukan kecepatan difusi oksigen dari udara yang bergantung pada beberapa faktor yaitu, kekeruhan air, suhu, salinitas, pergerakan massa air, dan udara seperti arus, gelombang dan pasang surut. Dalam atmosfer bumi oksigen yang terkandung sekitar 210 ml/L. Kadar OT dalam perairan alami tergantung pada suhu, salinitas, turbulensi air, dan tekanan atmosfer. Semakin besar suhu serta semakin tinggi dari permukaan laut dan semakin kecil tekanan atmosfer, maka kadar oksigen terlarut semakin kecil.

Oksigen terlarut (*Dissolved Oxygen*) adalah jumlah oksigen terlarut dalam air yang berasal dari fotosintesis dan absorpsi atmosfer/udara. Oksigen terlarut di suatu perairan sangat berperan dalam proses penyerapan makanan oleh makhluk hidup dalam air. Untuk mengetahui kualitas air dalam suatu perairan, dapat dilakukan dengan mengamati beberapa parameter kimia seperti oksigen terlarut (DO). Semakin banyak

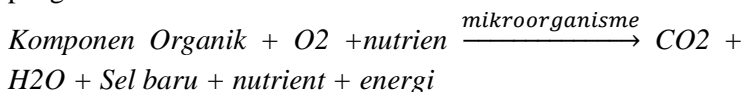
jumlah DO (*dissolved oxygen*) maka kualitas air semakin baik, jika kadar oksigen terlarut yang ada terlalu rendah akan menimbulkan bau yang tidak sedap akibat degradasi anerobik yang mungkin saja terjadi. Satuan oksigen terlarut dinyatakan dalam prosentase saturasi.

Sumber utama oksigen dalam perairan menurut Agustyar (2015) [2], berasal dari suatu proses difusi dari udara bebas dan hasil fotosintesis organisme yang hidup dalam perairan tersebut. Kecepatan difusi oksigen dari udara tergantung dari beberapa faktor seperti kekeruhan air, suhu, salinitas, pergerakan massa air dan udara, gelombang dan pasang surut. Keadaan oksigen terlarut berlawanan dengan keadaan BOD, semakin tinggi BOD semakin rendah oksigen terlarut. Keperluan organisme terhadap oksigen relatif bervariasi. Kebutuhan oksigen untuk ikan dalam keadaan diam relatif lebih sedikit dibandingkan dengan ikan pada saat bergerak. Kadangan oksigen terlarut (DO) minimum adalah 2 ppm dalam keadaan normal dan tidak tercemar oleh senyawa beracun. Idealnya, kandungan oksigen terlarut dan tidak boleh kurang dari 1,7 ppm selama waktu 8 jam dengan sedikitnya pada tingkat kejenuhan sebesar 70%.

Dekomposisi bahan organik dan oksidasi bahan anorganik dapat mengurangi kadar oksigen terlarut hingga mencapai nol (anaerob). Hubungan antara kadar oksigen terlarut jenuh dan suhu ditunjukkan dalam Tabel 2.1 yang menggambarkan bahwa semakin tinggi suhu, kelarutan oksigen semakin berkurang. Kelarutan oksigen dan gas-gas lain juga berkurang dengan meningkatnya salinitas sehingga kadar oksigen terlarut cenderung lebih rendah daripada kadar oksigen di perairan tawar.

Kadar oksigen terlarut berfluktuasi tergantung pada pencampuran dan turbulensi massa air, aktivitas fotosintesis, respirasi dan limbah yang masuk ke dalam air. Peningkatan suhu sebesar 1°C akan meningkatkan konsumsi oksigen sekitar 10%. Penguraian bahan organik dan oksidasi bahan anorganik dapat mengurangi kadar oksigen terlarut hingga mencapai nol (kondisi anaerob). Hubungan antara oksigen terlarut jenuh dan suhu dapat dilihat pada Tabel 1.2 yang menggambarkan bahwa semakin tinggi suhu, maka kelarutan oksigen semakin berkurang. Kelarutan oksigen dan gas-gas lain juga berkurang dengan meningkatnya salinitas (lihat Tabel 2.2), sehingga kadar oksigen di laut cenderung lebih rendah daripada kadar oksigen di perairan tawar.

Didalam air, oksigen memerankan peranan dalam menguraikan komponen-komponen kimia menjadi komponen yang lebih sederhana. Oksigen memiliki kemampuan untuk beroksidasi dengan zat pencemar seperti komponen organik sehingga zat pencemar tersebut tidak membahayakan. Dengan adanya oksigen dalam air, mikroorganisme semakin giat dalam menguraikan kandungan dalam air. Reaksi yang terjadi dalam penguraian tersebut adalah :



Jika reaksi pengurai komponen kimia dalam air terus berlaku, maka kadar oksigen pun akan menurun. Pada klimaksnya, oksigen yang tersedia tidak cukup untuk menguraikan komponen kimia tersebut. Keadaan yang demikian merupakan pencemaran berat pada air.

Tabel 2.1 Hubungan Oksigen terlarut jenuh dengan suhu pada tekanan udara 760 mmHg

Suhu (°C)	Kadar Oksigen Terlarut (mg/L)	Suhu (°C)	Kadar Oksigen Terlarut (mg/L)	Suhu (°C)	Kadar Oksigen Terlarut (mg/L)
0	14,62	14	10,31	28	7,83
1	14,22	15	10,08	29	7,69
2	13,83	16	9,87	30	7,56
3	13,46	17	9,66	31	7,43
4	13,11	18	9,47	32	7,30
5	12,77	19	9,28	33	7,18
6	12,45	20	9,09	34	7,06
7	12,14	21	8,91	35	6,95
8	11,84	22	8,74	36	6,84
9	11,56	23	8,58	37	6,73
10	11,29	24	8,42	38	6,62
11	11,03	25	8,26	29	6,51
12	10,78	26	8,11	40	6,41
13	10,54	27	7,97		

Tabel 2.2 Hubungan Oksigen terlarut dan salinitas pada tekanan udara 760 mmHg

Suhu (°C)	Salinitas (%)									
	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45
20	8,9	8,6	8,4	8,1	7,9	7,7	7,4	7,2	6,9	6,8
22	8,6	8,4	8,1	7,9	7,6	7,4	7,2	6,9	6,7	6,6
24	8,3	8,1	7,8	7,6	7,4	7,2	6,9	6,7	6,5	6,4
26	8,1	7,8	7,6	7,4	7,2	7,0	6,7	6,5	6,3	6,1
28	7,8	7,6	7,4	7,2	7,0	6,8	6,5	6,3	6,1	6,0
30	7,6	7,4	7,1	6,9	6,7	6,5	6,3	6,1	5,9	5,8
32	7,3	7,1	6,9	6,7	6,5	6,3	6,1	5,9	5,7	5,5

2.2. Pengaruh Keberadaan Ikan Terhadap Kadar Oksigen Terlarut

Keadaan perairan dengan kadar OT sangat rendah, berbahaya bagi organisme akuatik. Semakin rendah kadar OT, semakin tinggi toksisitas (daya racun) Zn (zinc, seng), Cu (copper, tembaga), Pb (lead, timbal, timah hitam), HCN (sianida), hidrogen sulfida, dan NH₄ (amonia). Kadar OT <2 mg/L dapat mengakibatkan kematian ikan. Hubungan antara OT dengan kelangsungan hidup ikan di kolam (lihat tabel 2.3). Kepekatan kadar oksigen terlarut di suatu perairan dipengaruhi oleh tanaman yang berfotosintesis di air, kederasan arus air, cahaya yang masuk ke dalam air dan jumlah bahan organik yang diuraikan oleh organisme air. Kadar oksigen terlarut yang tinggi pada suatu perairan dapat menguntungkan organisme

yang hidup di dalamnya karena oksigen terlarut yang tinggi dalam suatu perairan dapat menunjukkan bahwa air pada perairan tersebut berkualitas baik (Hidayat, 2015:68-69).

Tabel 2.3. Kadar Oksigen Terlarut (OT) dan Pengaruhnya terhadap Kelangsungan Hidup Ikan

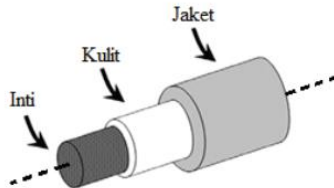
Kadar OT (mg/L)	Pengaruh terhadap Kelangsungan Hidup Ikan
<0,3	Hanya sedikit jenis ikan yang dapat bertahan pada masa pemaparan singkat (short exposure)
0,3-1,0	Pemaparan lama (prolonged exposure) dapat mengakibatkan kematian ikan
1,0-5,0	Ikan dapat bertahan hidup, tetapi pertumbuhannya terganggu
>5,0	Hampir semua organisme akuatik menyukai kondisi ini

2.3. Serat Optik

Serat optik merupakan suatu media transparan yang digunakan untuk mentransimikan cahaya [4]. Secara umum, serat optik tersusun oleh tiga bagian yaitu, inti (*core*), kulit (*cladding*), jaket (*jaket*). Inti dan kulit dari serat optik terbuat dari material yang transparan, biasanya dari bahan kaca atau plastik. Inti merupakan lapisan utama dari serat optik dimana cahaya dapat merambat, sedangkan kulit adalah lapisan pemantul atau penahan agar cahaya tetap merambat pada inti serat optik.

Selain sebagai lapisan pemantul, kulit dari serat optik juga menjadi tempat perambatan sebagian kecil cahaya. Sedangkan jaket adalah pelindung utama dari serat optik yang

mengakibatkan kerusakan dari faktor eksternal atau mekanik. Penampang sebuah serat optik ditunjukkan pada gambar 2.1.

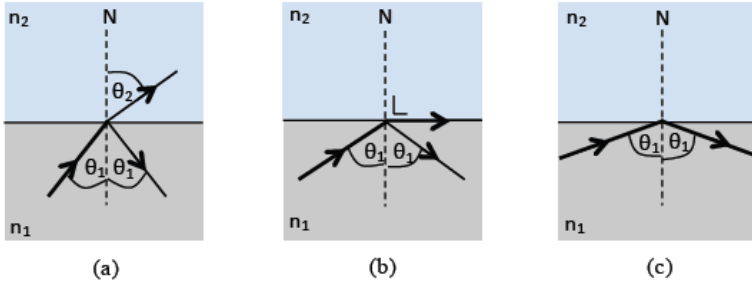


Gambar 2.1. Lapisan penyusun serat optik [2].

Cahaya yang masuk ke dalam serat optik akan ditransmisikan secara baik jika terjadi pemantulan sempurna pada bidang batas antara inti dan kulit. Namun apabila cahaya tersebut dibiarkan dan memasuki kulit maka cahaya tersebut tidak ditransmisikan secara sempurna di dalam inti serat optik. Agar kulit serat optik berfungsi sebagai pemantul sempurna, maka indeks bias kulit harus lebih kecil dari pada indeks bias inti dari serat optik.

Pada gambar 2.2 menunjukkan bahwa peristiwa perambatan cahaya pada dua medium dengan indeks bias yang berbeda. Medium satu dengan indeks bias n_1 dan medium dua dengan indeks bias n_2 dimana $n_1 > n_2$. Berkas cahaya tersebut akan mengalami pemantulan dan dapat mengalami pembiasan saat melalui bidang batas kedua medium tersebut. Gambar (a) merupakan cahaya dengan sudut datang, $\theta_1 < \theta_c$ dan mengalami pemantulan dengan sudut pantul θ_1 dan pembiasan dengan sudut bias θ_2 . Sedangkan gambar (b) merupakan cahaya dengan sudut datang $\theta_1 = \theta_c$ dan mengalami pemantulan dengan sudut pantul θ_1 dan pembiasan dengan sudut bias yang tegak lurus

terhadap garis normal. Pada gambar (c), cahaya datang dengan sudut $\theta_1 > \theta_c$ dan mengalami pemantulan sempurna.



Gambar 2.2 Perambatan cahaya pada dua medium [2]

Pemantulan dan pembiasan cahaya dalam serat optik mengikuti Hukum Snellius. Hukum Snellius untuk pembiasan pada gambar 2.3 (a), yaitu:

$$n_1 \sin \theta_1 = n_2 \sin \theta_2$$

$$\sin \theta_1 = \frac{n_2}{n_1} \sin \theta_2 \quad (2.1)$$

Oleh karena $n_1 > n_2$ maka $\theta_2 > \theta_1$. Jika diperbesar sampai diperoleh $\theta_2 = 90$ maka sinar bias akan merambat melalui bidang batas kedua medium, seperti yang ditunjukkan oleh gambar 2.2 (b). sudut datang sinar yang menghasilkan sudut bias sebesar 90 dinamakan sudut kritis (θ_c)[6].

$$\sin \theta_1 = \frac{n_2}{n_1} \sin \theta_2$$

$$\sin \theta_c = \frac{n_2}{n_1} \sin 90^\circ$$

$$\sin \theta_c = \frac{n_2}{n_1}$$

$$\theta_c = \sin^{-1} \frac{n_2}{n_1} \quad (2.2)$$

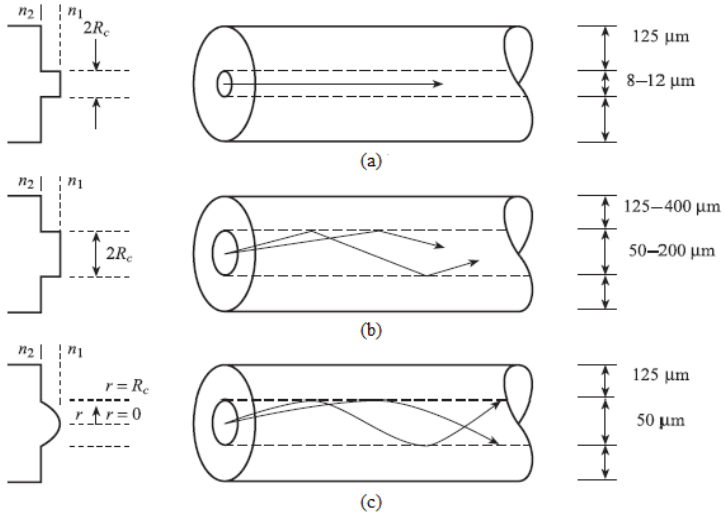
Apabila sinar datang dengan sudut datang yang lebih besar dari sudut kritis, maka sinar tersebut akan mengalami pemantulan total (*total internal reflection*), seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.2 (c).

Serat optik terdiri dari beberapa jenis, yaitu serat optik *singlemode step index*, serat optik *multimode step index* dan serat optik *multimode graded index*. Serat optik *singlemode* hanya dapat dilalui oleh satu macam cahaya dan memiliki diameter inti yang kecil, sehingga menyebabkan cahaya yang merambat pada garis yang cenderung lurus. Serat optik *multimode* memiliki diameter inti yang lebih besar dan membawa lebih dari satu macam cahaya dengan frekuensi yang berbeda. Jika perbedaan indeks bias inti dan kulit dibuat perbedaan yang cukup besar, maka disebut serat optik *step index*, sedangkan jika perbedaan index bias inti dan kulit dibuat secara perlahan-lahan maka disebut serat optik *graded index* [5].

Pada gambar 2.3, terlihat bahwa serat optik jenis *singlemode step index* memiliki diameter inti yang paling kecil dibandingkan dengan serat optik jenis lainnya. Kondisi ini mengakibatkan serat optik jenis ini memiliki *bandwith* yang lebih lebar. Demikian juga untuk perbedaan indeks bias antara inti dan kulitnya, serat optik jenis *singlemode step index* memiliki perbedaan nilai indeks bias yang kecil sehingga mengakibatkan nilai *Numerical aperture*-nya menjadi kecil. *Numerical aperture* yang kecil membutuhkan tingkat presisi yang tinggi untuk penghubungannya[5].

Sementara itu, serat optik jenis *multimode* memiliki diameter inti yang lebih besar dibandingkan dengan jenis *singlemode*. Serat optik jenis *multimode step index* memiliki diameter inti yang paling besar. Hal ini menyebabkan *bandwith*

serat optik jenis ini memiliki *bandwith* yang paling rendah dibandingkan dengan jenis serat optik lainnya. Namun pada aplikasinya, serat optik jenis *multimode* ideal digunakan untuk



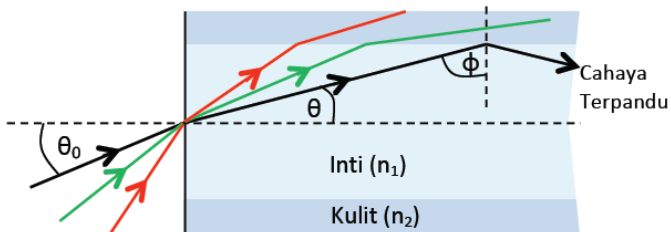
koneksi jarak dekat dan tidak membutuhkan *bandwith* yang terlalu besar[7,8].

Gambar 2.3. Macam-macam serat optik (a) *singlemode step-index* (b) *multimode step index* (c) *multimode graded index*[2]

2.4. Numerical Aperture

Numerical aperture (NA) merupakan parameter yang merepresentasikan sudut penerimaan maksimum dari serat optik dimana berkas cahaya masih bisa merambat di dalam inti dari serat optik. Gambar 2.4 menunjukkan sudut penerimaan suatu

serat optik. Berkas sinar mengalami pembiasan saat mengenai bidang batas antara inti dan kulit, sedangkan hanya berkas sinar hitam yang mengalami pemantulan sempurna. Dengan demikian, hanya berkas sinar hitam yang dapat terpandu oleh inti dari serat optik sedangkan kedua sinar lainnya akan terlepas.



Gambar 2.4. Sudut penerimaan [2].

Berkas sinar hitam dapat terpandu pada inti serat optik disebabkan oleh besar sudut datangnya (θ_o) dari udara ke serat optik. Seperti yang telah didapatkan pada persamaan sebelumnya bahwa sinar yang dapat terpandu dalam inti serat optik adalah berkas sinar yang datang pada bidang batas antara inti dan kulit dengan sudut datang lebih besar atau sama dengan sudut kritis, yaitu $\phi \geq \theta_c$ maka dari gambar 2.4 didapatkan :

$$\sin\phi \geq \frac{n_2}{n_1}$$

$$\cos\phi \geq \sqrt{1 - \left(\frac{n_2}{n_1}\right)^2} \quad (2.3)$$

θ_o adalah sudut datang sinar inti maka diperoleh

$$n_o \sin \theta_o = n_1 \sin\theta$$

$$n_o \sin\theta_o = n_1 \cos\phi \quad (2.4)$$

Jika persamaan (2.3) di substitusi ke persamaan (2.4), maka didapatkan:

$$\sin\theta \leq \frac{n_1}{n_o} \sqrt{1 - \left(\frac{n_2}{n_1}\right)^2} \quad (2.5)$$

Jika medium luar adalah udara, maka $n_o = 1$ sehingga sudut penerimaan maksimumnya adalah :

$$\sin\theta_{maks} = \sqrt{n_1^2 - n_2^2} = NA \quad (2.6)$$

Dari persamaan diatas, diketahui bahwa *Numerical aperture* bergantung pada indeks bias inti dan kulit dari serat optik. Semakin besar NA maka semakin besar sudut penerimaan maksimum sehingga semakin banyak jumlah cahaya yang dapat dipandu oleh serat optik. Akan tetapi sebanding dengan kenaikan NA akan menyebabkan lebar pita berkurang, dan rugi penyebaran serta penyerapan akan bertambah. Nilai *Numerical aperture* hanya digunakan untuk aplikasi transmisi jarak pendek dengan kecepatan rendah.

2.5 Indeks Bias Udara

Indeks bias merupakan parameter optik yang penting dalam udara. Indeks bias menunjukkan tingkat kerapatan udara. Perambatan cahaya di udara dipengaruhi oleh indeks bias tersebut. Indeks bias udara bergantung pada suhu, kelembaban, tekanan, kandungan kimia dan panjang gelombang cahaya yang melewatinya. [6,12].

Secara sederhana, indeks bias merupakan nilai yang menunjukkan bagaimana perambatan cahaya melalui medium.

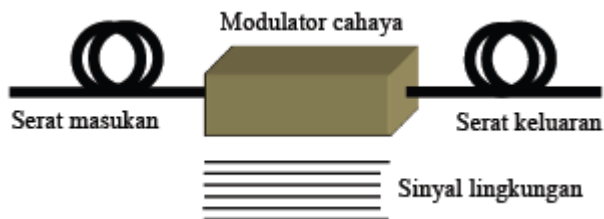
Cahaya merupakan salah satu jenis gelombang elektromagnetik dengan sifat – sifat tertentu. Ketika cahaya melalui batas antar dua medium dengan indeks bias berbeda, maka cahaya tersebut akan mengalami perubahan arah rambat serta kecepatan. Indeks bias merupakan perbandingan kecepatan cahaya di ruang hampa 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 :

$$n = \frac{c}{v} \quad (2.7)$$

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

2.5. Serat Optik Sebagai Sensor Reaksi Kimia

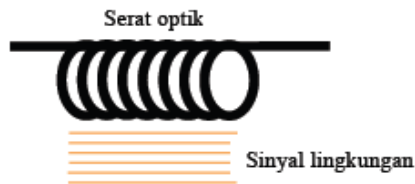
Sensor merupakan alat yang dapat menerima stimulus dan memberikan respon dengan sinyal listrik atau sinyal optik. Sensor akan mengukur jumlah, sifat, atau kondisi yang diukur dan diubah ke dalam besaran yang dibutuhkan[15]. Sensor serat optik sering dikelompokkan menjadi dua kelompok dasar yaitu sensor serat optik intrinsik dan serat optik ekstrinsik. Sensor serat optik ekstrinsik menggunakan modulator cahaya



yang responsif terhadap perubahan kondisi lingkungan. Berkas cahaya yang melewati serat optik akan terganggu oleh modulator sehingga cahaya yang keluar dari serat optik akan tereduksi atau bahkan bertambah intensitasnya. Karakteristik sensor serat optik ekstrinsik ditunjukkan pada gambar 2.5.

Gambar 2.5 Sensor serat optik ekstrinsik [4].

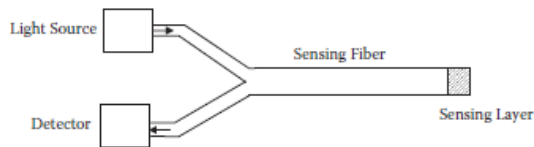
Sensor serat optik intrinsik pada gambar 2.6 yaitu sensor serat optik yang bergantung pada perambatan cahaya yang termodulasi dalam serat optik oleh karena efek lingkungan, baik secara langsung maupun melalui perubahan panjang lintasan optik yang terinduksi oleh lingkungan. Cahaya yang termodulasi dalam serat optik misalnya disebabkan adanya perubahan jari-jari lekukan serat optik, atau perubahan struktur kulit serat optik.



Gambar 2.6 Sensor serat optik intrinsik [4]

Sensor fiber optik yang digunakan untuk mendeteksi adanya unsur kimia pada umumnya menggunakan transmisi cahaya pada fiber yang berinteraksi dengan analit atau zat kimia yang diukur pada sebuah sampel. Secara umum komponen yang digunakan adalah sumber cahaya (LED, Laser), Detektor (Photodiode), Fiber optik dan material

sensing. Pengukuran intensitas cahaya dapat diukur secara langsung menggunakan beberapa karakteristik optiknya seperti absorbansi, reflektansi, fluoresensi, fluorescence quenching, gelombang evanescent, surface plasmon resonance, dan luminesensi. Fiber optik dapat mengukur zat kimia dengan konfigurasi Optrode Sensor. Optrode adalah singkatan dari optik dan elektroda pada fiber optik yang digunakan untuk mengukur konsentrasi spesifik dari zat kimia seperti pada gambar 2.7.



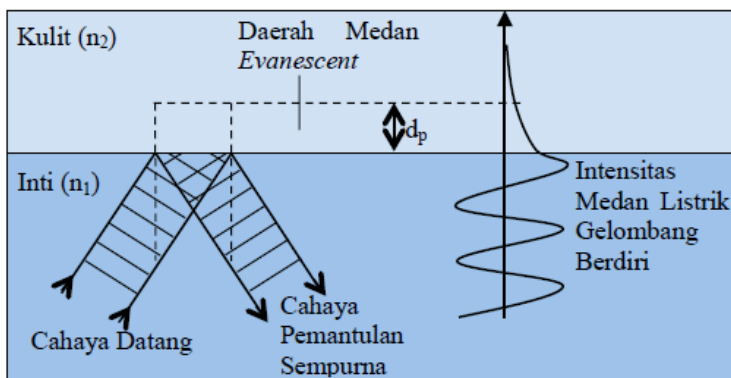
Gambar 2.7. Konfigurasi Fiber Optik optrode sensor kimia[5].

Sensor optrode menggunakan cahaya yang ditransmisikan pada ujung fiber untuk menghasilkan sinyal. Adanya fenomena gelombang *evanescent* yang dapat berinteraksi dengan zat kimia melalui mekanisme absorpsi dari propagasi cahaya atau fluoresensi selama berikatan dengan analit yang dapat dideteksi.

Metode fluoresensi dilakukan dengan cara melapisi serat optik dengan material yang memiliki sifat fluoresensi. Sensor optik dengan metode absorpsi didasarkan pada fenomena absorpsi gelombang evanescent pada batas inti dan mantel serat optik. Ketika zat terserap oleh material pengganti mantel maka material tersebut bertambah ukurannya karena pori-pori material terisi zat sehingga indeks biasanya akan berubah. Perubahan indeks bias akan berubah perubahan

indeks bias mantel akan menentukan kedalaman penetrasi medan evanescent. Penurunan indeks bias mantel akan meningkatkan kedalaman penetrasi sehingga intensitas medan evanescent akan menurun.

Medan *evanescent* timbul bermula dari adanya pemantulan sempurna pada bidang batas inti dengan kulit serat optik. Cahaya datang dan cahaya pantul pada peristiwa pemantulan sempurna pada bidang batas inti dengan kulit serat optik. Cahaya datang dan cahaya pantul pada peristiwa pemantulan sempurna tersebut kemudian mengalami interferensi. Dari interferensi tersebut kemudian terjadi gelombang berdiri pada setiap titik terjadinya pemantulan sempurna. Gelombang berdiri tersebut merambat pada inti serat optik dan menembus masuk ke kulit.



Gambar. 2.8 Terjadinya medan evanescent[14].

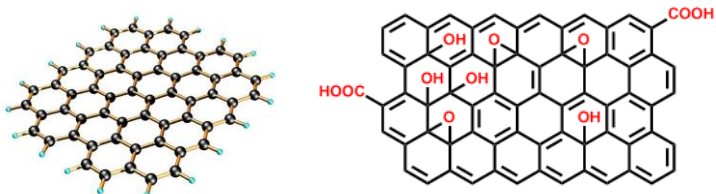
2.6. Graphene oxide (GO)

Graphene merupakan satu lapis atom karbon yang tersusun dalam bentuk kisi heksagonal menyerupai sarang

lebah. *Graphene* menjadi sangat menarik karena memiliki sifat kelistrikan, termal dan mekanik yang luar biasa. Struktur yang unik dari *graphene* memberikan peningkatan sifat *graphene* misalnya mobilitas pembawa yang tinggi ($\sim 10.000 \text{ cm}^2/\text{Vs}$), efek Quantum Hall pada temperatur ruangan, transparansi optik yang baik (97.7%), konduktivitas yang baik $\sim 3000 \text{ W/mK}$.

Graphene dapat diperoleh dengan mensintesis material *graphite*. Menurut Geim (2007)[16], *graphite* merupakan material yang terdiri dari banyak lembaran *graphene* yang ditumpuk secara bersama. Lembaran *graphene* satu dengan lainnya diikat oleh ikatan van der Waals. Jarak antar lembaran *graphene* satu dengan yang lainnya adalah 0.335 nm dan jarak antar lembaran *graphene* yang sejajar adalah 0.67 nm. Panjang ikatan kovalen rangkap antar atom C pada lembaran *graphene* adalah 0.142.

Graphene oxide banyak mengandung kelompok berbasis oksigen yang dapat diperoleh dengan mudah dari oksidasi *graphite*.



Gambar 2.8. *Graphene oxide* [16]

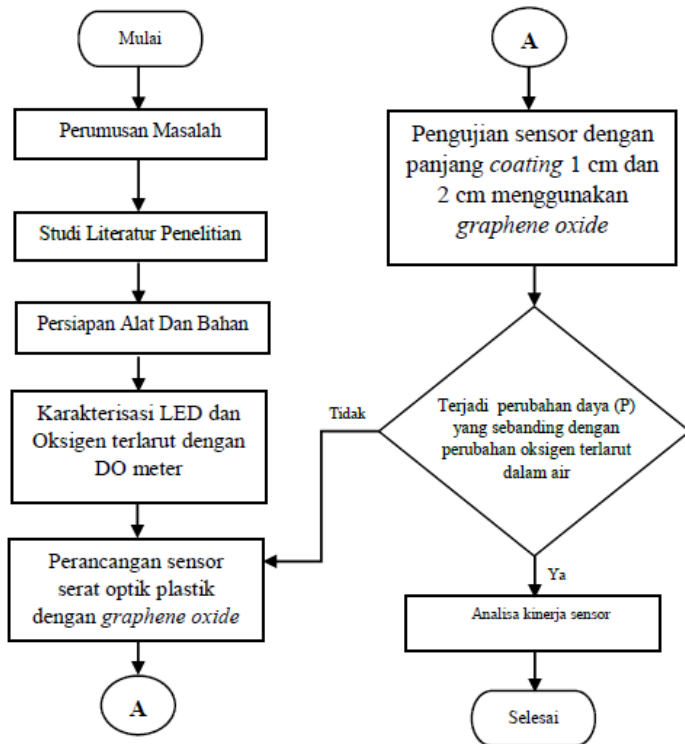
Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini berisi tentang metodologi penelitian yang terdiri dari langkah-langkah yang dilakukan dari awal hingga akhir untuk tercapainya tujuan tugas akhir ini.

3.1 Langkah-Langkah Penelitian

Dalam mengerjakan penelitian ini terbagi menjadi beberapa bagian yang dijelaskan melalui diagram alir berikut :



Gambar 3.1. Diagram Alir Penelitian

3.2. Studi Literatur

Dalam pengerjaan tugas akhir ini dimulai dengan studi literatur. Studi literatur merupakan kegiatan yang dilakukan untuk mempelajari prinsip dasar serat optik plastik, oksigen yang di injeksi terhadap inti dari serat optik plastik. Literature yang digunakan antara lain adalah buku, jurnal penelitian, artikel ilmiah, disertasi, tesis, serta laporan tugas akhir yang membahas tentang serat optik plastik dan oksigen terlarut.

3.3. Alat dan bahan Penelitian

Alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini dibagi menjadi tiga macam, yaitu alat dan bahan yang digunakan untuk membuat probe sensor dan sintesis *graphene oxide*.

Alat dan bahan yang digunakan untuk membuat probe sensor dari serat optik plastik adalah sebagai berikut :

1. Resistor 4 KOhm
2. Driver LED 3.3 Volt
3. Serat optik plastik dengan panjang 40 cm
4. Tabung oksigen 1 m³
5. Regulator tekanan oksigen dan *flow meter*
6. *Chamber*
7. *Optical power meter* (Thorlabs)
8. *Detector*
9. DO meter

Alat dan bahan yang digunakan untuk membuat sintesis *Graphene oxide* adalah sebagai berikut :

1. *Graphene oxide* 25 mg
2. Alkohol
3. Gelas ukur kimia
4. Timbangan digital
5. *Ultrasonic bath*

3.4. Prosedur Kerja

Prosedur kerja pada penelitian ini dibagi menjadi dua macam, yaitu pembuatan sensor serat optik berbahan plastik dan pembuatan sintesis *graphene oxide*. Uraian dari masing-masing prosedur yaitu seperti dibawah ini.

3.4.1. Pembuatan Probe sensor

Probe sensor dibuat dengan menggunakan serat optik plastik jenis *multimode step index* yang diproduksi oleh *industrial fibre optics*. Diameter yang dimiliki oleh inti (*core*) serat optik tersebut adalah 0,98 mm dan ketebalan kulit (*cladding*) 0,02 mm. Sensor serat optik plastik dipotong dengan panjang 40 cm dan panjang kupasan untuk sensor adalah 1 cm dan 2 cm. Setelah sensor serat optik plastik dipotong, kemudian serat dikupas bagian *jacket* dengan menggunakan silet pada daerah yang berada di dalam air, sedangkan pengelupasan kulitnya (*cladding*) dilakukan dengan menggunakan cairan aseton dan alkohol.

Probe sensor diperlukan untuk mendeteksi udara oksigen terlarut dalam air. Pada sensor oksigen terlarut yang akan dibuat, pertama dilakukan penghilangan (*removal*) pada jaket dan *cladding* dari serat optik plastik. Hal ini bertujuan untuk membuat sensor lebih sensitif terhadap perubahan fisis yang akan berhubungan langsung dengan inti dari serat optik plastik.

Menurut Rebecca J. Barlet (2000) untuk melakukan pengelupasan selubung pada serat optik plastik dapat digunakan dua metode, yaitu secara mekanik dilakukan dengan cara menggosok serat optik plastik dengan menggunakan *polishing fiber* secara hati-hati. Namun terdapat kelemahan dalam proses fabrikasinya yaitu adanya kemungkinan

ketidakrataan dalam proses pengelupasan *cladding* pada serat optik plastik. Kedua, yaitu pengelupasan *cladding* dengan menggunakan aseton dan alkohol pada serat optik plastik.

Berikut langkah-langkah pengelupasan *cladding* adalah sebagai berikut :

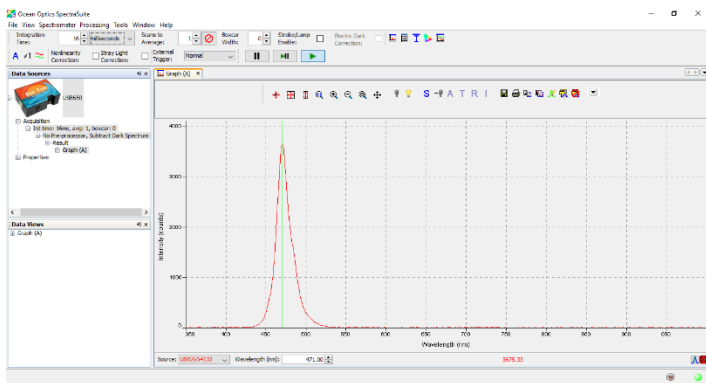
- a. Serat optik plastik dipotong dengan panjang 40 cm dengan menggunakan pemotong serat optik plastik.
- b. Jaket dari pelindung dari serat optik dikupas dengan menggunakan silet serat optik.
- c. Ujung-ujung serat optik plastik dijepit dengan menggunakan penjepit agar serat optik plastik tergantung pada area yang akan dikelupas.
- d. Disiapkan tisu dengan ukuran 2 x 5 cm kemudian ditetesi aseton 2 kali.
- e. Selanjutnya tisu dengan tetesan aseton diputar dan digeser secara perlahan pada area serat optik plastik yang akan dihilangkan *cladding*nya.
- f. Kemudian, ditetaskan alkohol untuk mengangkat kotoran dari *cladding* yang masih menempel pada inti serat optik plastik.
- g. Serat optik plastik dikeringkan dengan menggunakan tisu kering.

3.4.2. Karakterisasi Sumber cahaya LED

Untuk mengetahui daya puncak yang dimiliki oleh LED yang digunakan, dilakukan karakterisasi sumber cahaya yang menggunakan LED biru dan LED merah. Nilai panjang gelombang dengan nilai daya tertinggi akan digunakan sebagai tolak ukur dalam pengambilan data menggunakan optical power meter yang berfungsi sebagai

detektor. Pada gambar 3.2 (a) dan (b) merupakan skematik penelitian dimana pada rangkaian LED digunakan tegangan input sebesar 5 volt untuk LED merah dengan resistor sebesar 4 KOhm. Sedangkan LED merah menggunakan tegangan input sebesar 3.3 V tanpa menggunakan resistor. Pengukuran spektrum cahaya LED biru dan merah menggunakan spektrometer *visible* dan software *spectrasuite*.

Setelah dilakukan pembuatan rankaian LED biru dan merah, selanjutnya adalah dilakukan pengukuran daya dengan pengaturan software Optical Power Meter Thorlabs PM100D. Pengambilan data dilakukan sebanyak 100 sample untuk masing-masing jenis LED pada masing-masing jenis serat optik plastik yang telah dimodifikasi untuk mendapatkan daya rata-rata.



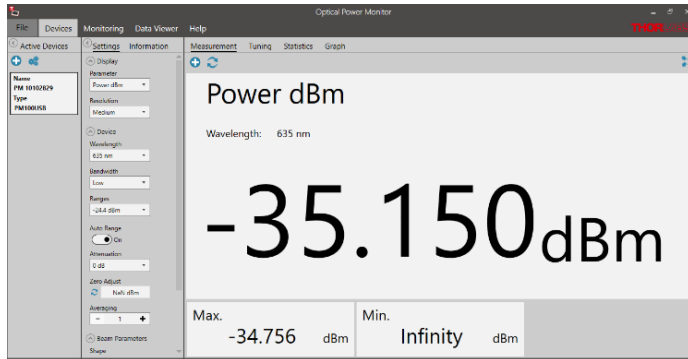
Gambar 3.2. Software *Spectrasuite*.

3.5. Pengujian Sensor Serat Optik Plastik Menggunakan *Graphene oxide*.

Pengujian sensor oksigen terlarut berbasis serat optik plastik ini dibagi menjadi 2, yaitu sebelum dan setelah penggunaan *Graphene oxide*. Pengujian dilakukan dengan menggunakan sumber cahaya LED merah dan biru dengan masing-masing panjang gelombang 470 dan 640 nm. Sensor yang diuji adalah serat optik plastik yang telah dikelupas *cladding*nya, serat optik dengan *coating graphene oxide* dengan panjang 1 cm dan 2 cm. setelah itu akan dilakukan analisa daya keluaran pada masing-masing sumber cahaya dengan jenis serat optik plastik yang berbeda-beda.

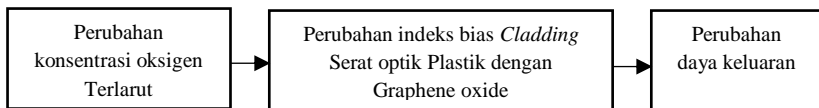
Pengambilan data dilakukan dengan memasukkan serat optik plastik tanpa *cladding* dan *graphene oxide* kedalam air dengan kapasitas 2.5 liter untuk masing-masing sumber cahaya dan masing-masing jenis serat optik plastik tanpa *cladding* dan *coating graphene oxide*. Pada saat pengambilan data, temperatur diukur melalui DO meter merek LUTRON YK2005WA yang digunakan pada rentang suhu 27 – 29 °C. Pengujian ini menggunakan OPM thorlabs PM100D.

Perangkat tersebut disambungkan ke laptop yang telah terinstall software dari perangkat OPM thorlabs PM100D. Pada saat dilakukan pengukuran, terlebih dahulu dilakukan pengaturan perangkat lunak software yaitu mengatur panjang gelombang yang digunakan dan pengambilan *sampling* data yang akan dilakukan dengan skema sesuai dengan gambar 3.2.



Gambar. 3.3 Software Thorlabs PM100D

3.6. Mekanisme Sensing



Gambar 3.4 Blok diagram sensing

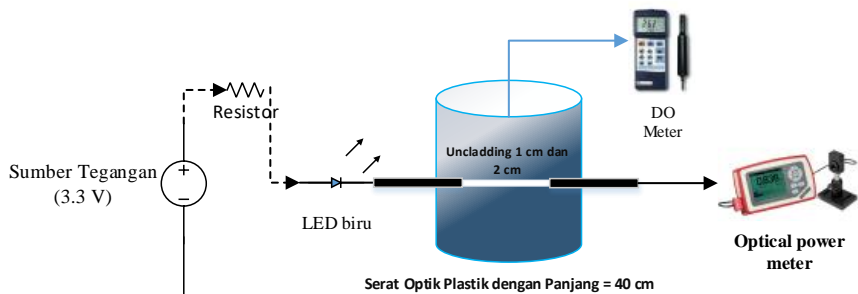
Blok diagram ini menjelaskan tentang bagaimana sensor dapat bekerja secara fisis melalui fenomena optik yang terjadi. Secara umum yang dibutuhkan dalam penelitian ini adalah sumber cahaya, serat optik plastik dan detektor. Sumber cahaya dibutuhkan untuk mentransmisikan energi foton ke dalam serat optik plastik. Sumber cahaya yang digunakan adalah LED biru dan LED merah. Serat optik plastik digunakan sebagai media transmisi energi foton dan media sensing, sedangkan detektor digunakan untuk mengkuantisasi besaran fisis secara optik yang melewati serat optik plastik.

Serat optik plastik sebagai media sensing digunakan untuk mengetahui kandungan oksigen terlarut dengan variasi kupasan

1 cm dan 2 cm dan variasi *coating* menggunakan *graphene oxide* serta tanpa *graphene oxide*. Pada serat optik plastik terdapat inti (*core*) dengan indeks bias 1.49 dan indeks bias *cladding* 1.41, apabila *cladding* dihilangkan dengan menggunakan aseton dan alkohol, maka indeks bias serat optik akan berubah menjadi indeks bias dengan media air sebagai *cladding* yaitu 1. Berdasarkan persamaan 2.7, apabila indeks bias inti lebih besar dari pada indeks bias *cladding* maka cahaya akan terpandu secara sempurna atau akan terjadi *total internal reflection* (TIR).

Sedangkan ketika *cladding* diganti dengan material lain seperti *graphene oxide* yang memiliki nilai indeks bias 1.9 maka akan terjadi perubahan optik pada serat optik plastik yang dikenal dengan medan *evanescent*. Selain itu efek dari *graphene oxide* adalah terserapnya (*absorbtion*) energi foton yang melintas serat optik akibat adanya material *graphene oxide* sebagai *coating*.

Gambar 3.5 merupakan skematik pengukuran oksigen terlarut dengan serat optik plastik menggunakan *graphene oxide* dimana oksigen dimasukkan ke dalam air dengan nilai yang berbeda-beda. Selanjutnya perubahan intensitas dari sumber cahaya ketika dilewatkan dalam serat optik plastik dengan variasi diukur dengan detektor, yaitu Thorlabs PM100D.



Gambar 3.5. Skematik Rangkaian Probe Sensor

Pengujian yang dilakukan memerlukan kondisi yang stabil dan konsisten agar dalam pengambilan data diperoleh hasil pengukuran tidak terjadi perubahan nilai yang berbeda dengan setup yang sama. Sehingga dalam penelitian ini diperlukan langkah-langkah yang harus diikuti dalam melakukan pengujian pada penelitian ini sebagaimana berikut :

- a. Peralatan disiapkan dan disusun sesuai dengan gambar 3.5
- b. Sensor serat optik dengan konfigurasi kupasan 1 cm dan 2 cm disiapkan untuk pengambilan data.
- c. Pengambilan data pada serat optik dengan variasi kupasan dilakukan pada air untuk mengetahui daya yang dibaca oleh detektor.
- d. Setelah itu, dilakukan pengambilan data menggunakan sensor serat optik plastik dengan coating *graphene oxide* (GO) di dalam air dengan perubahan jumlah oksigen terlarut yang berbeda-beda.
- e. Hasil pengukuran disimpan dan diolah dalam perangkat lunak excel dan origin.

Pada pengambilan data dilakukan proses pengambilan data selama 100 detik. Dan proses injeksi oksigen oksigen pada air dilakukan selama 60 detik.

3.7. Penarikan Kesimpulan

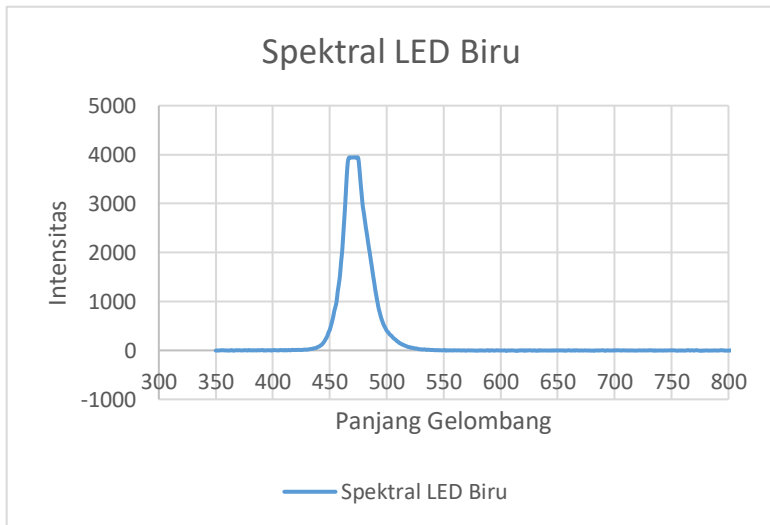
Penarikan kesimpulan dilakukan setelah menganalisa dan melakukan kajian penelitian tentang karakteristik dari serat optik plastik hingga terjadinya rugi daya atau perubahan panjang gelombang akibat dampak dari material *Graphene oxide*. Penarikan kesimpulan disesuaikan dengan tujuan dari penelitian

BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

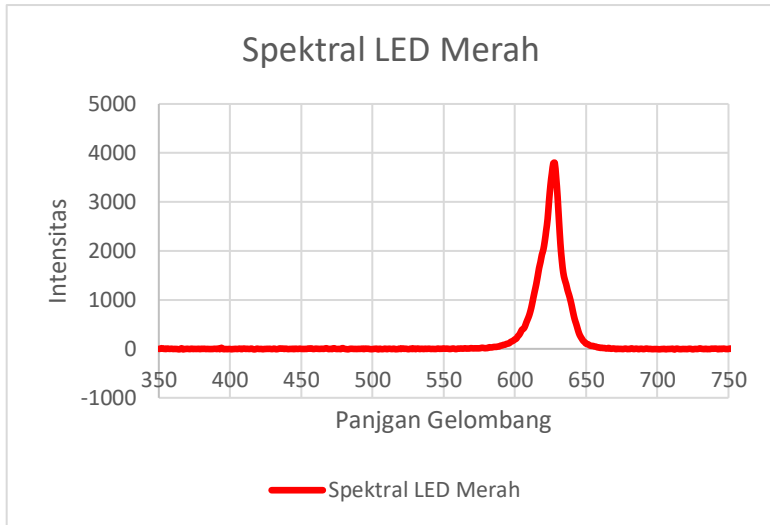
Pada bab ini akan dijelaskan mengenai hasil dari penelitian yang telah dilakukan yaitu dengan menganalisis pengaruh oksigen terlarut sebagai sensor dengan menggunakan serat optik plastik, LED dan *graphene oxide*.

4.1. Hasil Karakterisasi LED sebagai sumber cahaya

Pada bagian ini telah dilakukan pengukuran daya optik dari sumber cahaya berupa LED biru dan LED merah dengan menggunakan spectrometer visible dan software spectra suite. Dari pengukuran tersebut dapat diketahui lebar panjang gelombang dari masing-masing LED.



(a)



(b)

Gambar 4.1. Karakterisasi LED (a) LED Biru (b) LED Merah.

Berdasarkan hasil pengukuran data spektrum LED biru dan LED merah dengan menggunakan software spectrasuite dan alat ukur spektrometer maka diperoleh panjang gelombang masing-masing LED biru adalah 470 nm dan LED merah adalah 640 nm.

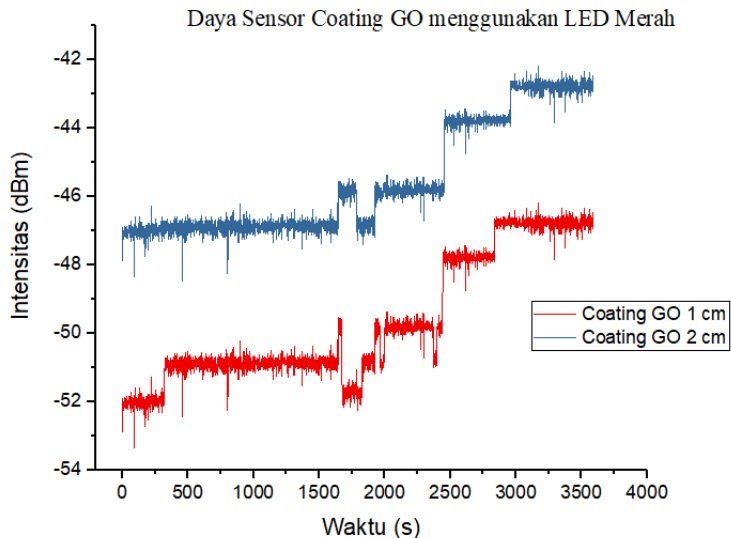
Setelah itu dilakukan pengukuran daya LED biru dan LED merah untuk menentukan nilai daya optik pada masing-masing LED menggunakan serat optik plastik tanpa dikelupas dan tanpa coating dengan *Optical Power Meter* Thorlabs sebagai berikut :

Tabel 4.1. Nilai daya LED biru dan LED merah

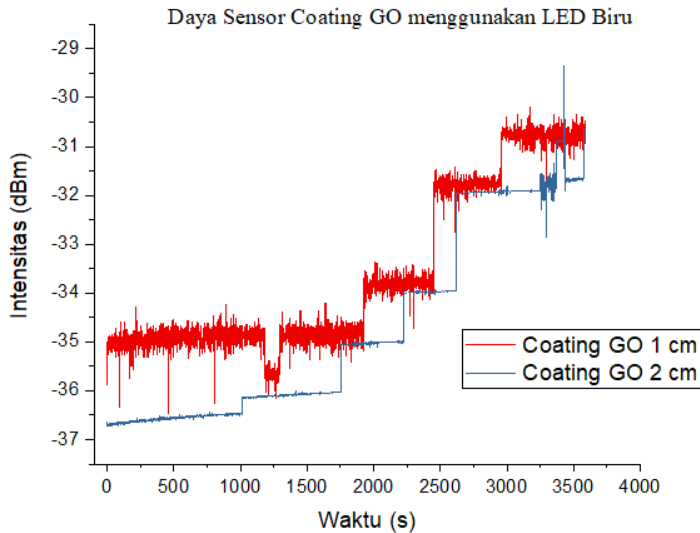
Jenis LED	P (watt)	P (dBm)
Biru	1.15E-06	-29.3929
Merah	4.48E-08	-43.4833

4.2. Pengujian Kestabilan Sensor dengan *Graphene Oxide* dalam air.

Pengujian kestabilan sensor dengan *coating graphene oxide* dilakukan untuk mengetahui kemampuan dari sensor ketika digunakan untuk mengukur oksigen terlarut dalam air. Hal ini disebabkan material graphene oxide sebagai coating meluruh dalam air sehingga dalam penelitian ini *coating GO* belum maksimal.



Gambar 4.2. Hasil Pengujian sensor dengan menggunakan LED merah



Gambar 4.3. Hasil pengujian sensor dengan menggunakan LED biru.

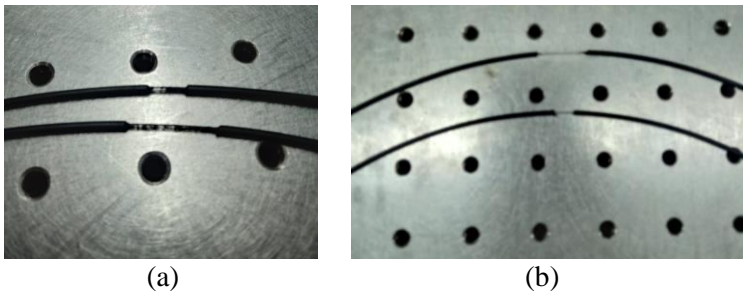
Dalam pengujian yang dilakukan yaitu dengan meletakkan sensor di dalam air selama satu jam. Kemudian dilakukan pengamatan terhadap hasil daya keluaran setiap waktunya untuk menunjukkan adanya perubahan nilai daya. Semakin lama sensor berada dalam air semakin tinggi intensitas yang didapatkan. Hal itu dikarenakan GO yang meluruh sehingga *cladding* yang semula adalah material GO dengan parameter indeks biasanya adalah 1.9 mengalami perubahan akibat peluruhan dalam air. Akibat peluruhan tersebut parameter indeks bias air dengan nilai 1 akan mengganti material *cladding* GO yang mengalami peluruhan.

4.3. Pengukuran Sensor Serat Optik Plastik.

Pengukuran ini dilakukan untuk mengetahui daya optik dari serat optik plastik yang telah dikelupas *claddingnya* dan

serat optik plastik tanpa pengelupasan. Untuk melakukan pengukuran sensor dilakukan dua tahap yaitu pengukuran sensor tanpa menggunakan air untuk serat optik plastik dengan pengelupasan *cladding* dan tanpa pengelupasan serta pengukuran sensor di dalam wadah yang berisi air dengan larutan oksigen terlarut dengan nilai oksigen terlarut tertentu menggunakan DO meter.

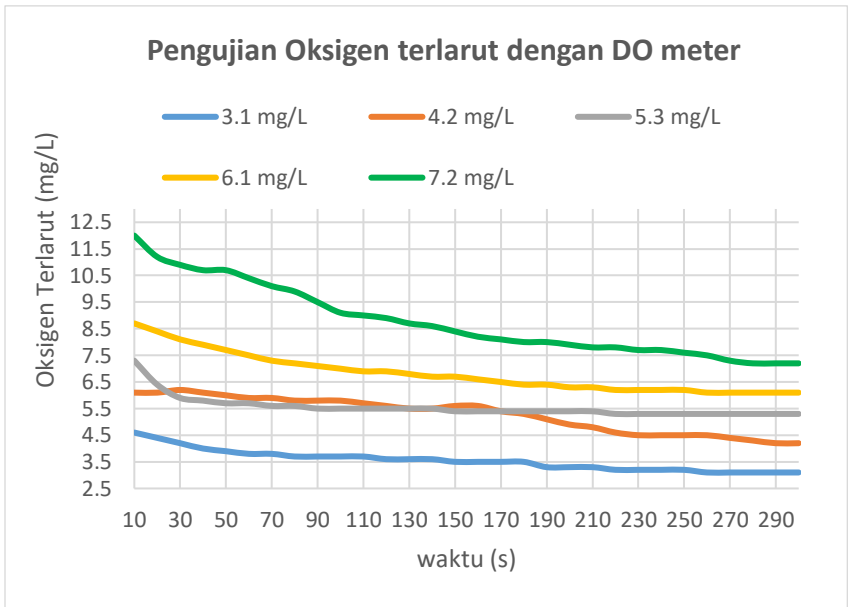
Sebelum dilakukan pengukuran, proses fabrikasi serat optik plastik sebagai sensor telah dilakukan. Pada bab III telah dijelaskan proses fabrikasi sensor serat optik yaitu dengan pengelupasan *cladding* dengan panjang 1 cm dan 2 cm kemudian ditambahkan *graphene oxide* untuk meningkatkan sensitifitas.



Gambar 4.4. Fabrikasi sensor Serat optik plastik. (a) serat optik plastik *coating graphene oxide* (b) *uncladding* serat optik plastik 1 cm dan 2 cm

Gambar 4.4. merupakan fabrikasi sensor serat optik plastik dengan pengelupasan jaket dan *cladding* dengan panjang masing-masing 1 cm dan 2 cm. Sedangkan gambar 4.2 (a) merupakan penambahan coating dengan *graphene oxide* untuk mengetahui sensitifitas serat optik plastik terhadap oksigen terlarut.

Setelah dilakukan fabrikasi sensor, selanjutnya dilakukan pengukuran serat optik plastik pada air dengan tingkat oksigen terlarut yang bervariasi, dilakukan pengamatan terhadap DO meter untuk mengetahui respon alat ukur oksigen terlarut pada air saat dilakukan penambahan kadar oksigen terlarut pada nilai tertentu. Nilai DO yang diukur adalah 3.1 mg/L, 4.2 mg/L, 5.3 mg/L, 6.1 mg/L dan 7.2 mg/L.



Gambar 4.5 Respon DO meter terhadap oksigen terlarut.

Setelah dilakukan pengukuran dan respon DO meter terhadap variasi kadar oksigen seperti pada gambar 4.3, hasil respon dari DO meter dapat menentukan kadar oksigen terlarut di air sesuai dengan nilai yang ditentukan. Alat ukur DO meter berada kondisi tunak setelah dilakukan pengukuran selama 300 detik.

Tabel 4.2 merupakan hasil pengukuran LED biru dan merah dengan pengelupasan *cladding* sepanjang 1 cm dan 2 cm.

Tabel 4.2. Nilai Intensitas variasi sensor berbagai jenis LED

Jenis LED dan Sensor	P (dBm)	P (dBm) dengan Graphene Oxide
Biru dikelupas 2 cm	-29.52947	-36.4493
Biru dikelupas 1 cm	-30.61553	-35.9371
Merah dikelupas 2 cm	-41.3821	-47.23358
Merah dikelupas 1 cm	-50.72718	-52.1808

4.4. Hasil Pengujian Sensor Serat Optik Plastik Dengan *Graphene oxide*

Pengujian sensor dengan variasi sumber cahaya LED biru dan merah dengan variasi panjang serat optik yang dicoating 1 cm dan 2 cm bertujuan untuk mengetahui jenis serat optik dengan sumber cahaya apa yang tepat untuk dijadikan sensor oksigen terlarut berbasis serat optik plastik. Selain itu dilakukan pengukuran terhadap serat optik plastik tanpa coating *graphene oxide* untuk mengetahui perubahan kinerja sensor yang dirancang. Suhu air yang digunakan dan terukur dalam DO meter adalah 29 – 27 C untuk pengambilan data.

Tabel 4.3 Pengukuran Daya Serat Optik Dengan *Graphene oxide* 2 cm Menggunakan LED Biru

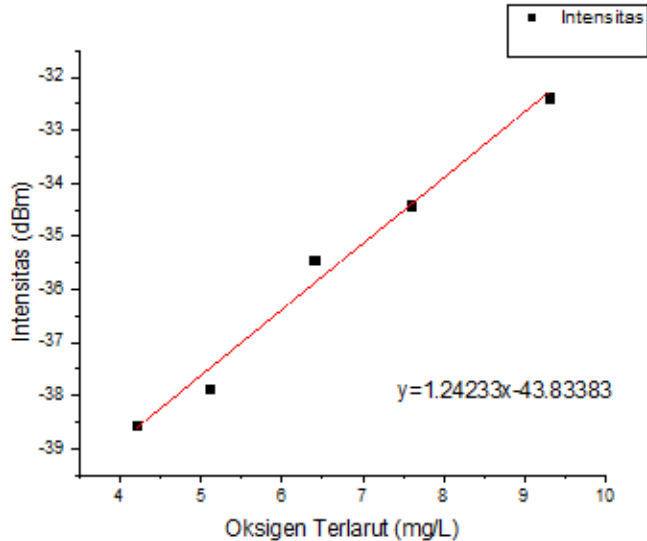
Karakteristik Statik			LED Biru GO 2 cm
Range	Input	Max	5
		Min	1
	Output	Max	-32.39078
		Min	-38.5528
Span	Input		4
	Output		6.16202
Sensitifitas			1.540505
R ²			0.98173

Pada sub bab ini dilakukan pengambilan data daya pada serat optik plastik dengan LED biru sebagai sumber cahaya dan panjang *coating* serat optik plastik dengan *graphene oxide* sepanjang 2 cm.

Tabel 4.3. merupakan hasil pengukuran daya pada serat optik plastik dengan LED biru sebagai sumber cahaya dan panjang *coating* serat optik plastik dengan *graphene oxide* sepanjang 2 cm.

Pada pengukuran yang telah dilakukan menggunakan *Optical Power Meter* telah diperoleh hasil pengukuran sebagaimana ditunjukkan pada gambar 4.4 yaitu grafik hubungan antara intensitas dengan Oksigen terlarut menghasilkan nilai sensitifitas sensor sebesar 1.540505

dengan koefisien linieritas $R^2=0.98173$ dengan persamaan garis $y=1.2423x-4383383$.



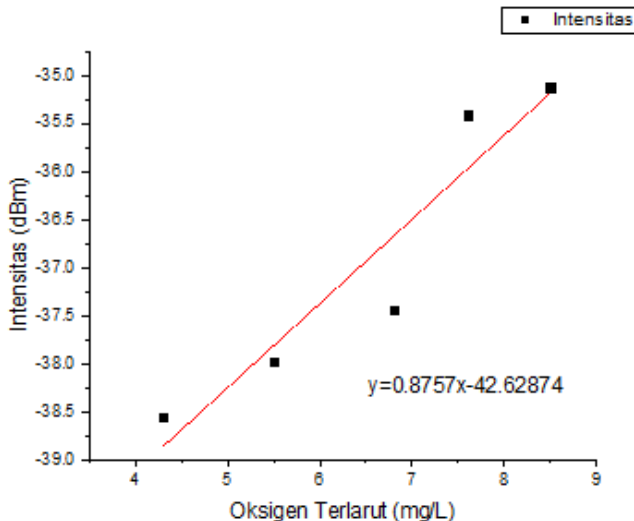
Gambar 4.6 Respon Intensitas terhadap oksigen terlarut dengan LED biru variasi panjang coating dengan GO 2 cm menggunakan LED biru

Tabel 4.4 Pengukuran Daya Serat Optik Dengan *Graphene oxide* 1 cm Menggunakan LED Biru

Karakteristik Statik			LED Biru GO 1 cm
Range	Input	Max	5
		Min	1
	Output	Max	-35.120784
		Min	-38.552804
Span	Input		4

	Output	3.43202
	Sensitifitas	0.858005
	R ²	0.90692

Selanjutnya dilakukan pengujian sensor dengan LED biru dan *coating* serat optik plastik dengan GO 1 cm. Berdasarkan hasil percobaan pada sensor tersebut dapat dilihat tabel 4.4 merupakan hasil pengukuran daya pada sensor dan gambar 4.5 merupakan respon intensitas serat optik plastik terhadap perubahan oksigen terlarut dalam air. Diperoleh nilai koefisien linieritas pada sensor adalah 0.90692 dengan nilai sensitifitasnya sebesar 0.858005 melalui persamaan garis $y=0.8757x-42.62874$.



Gambar 4.7 Respon Intensitas terhadap oksigen terlarut dengan LED biru variasi panjang coating dengan GO 1 cm menggunakan LED biru

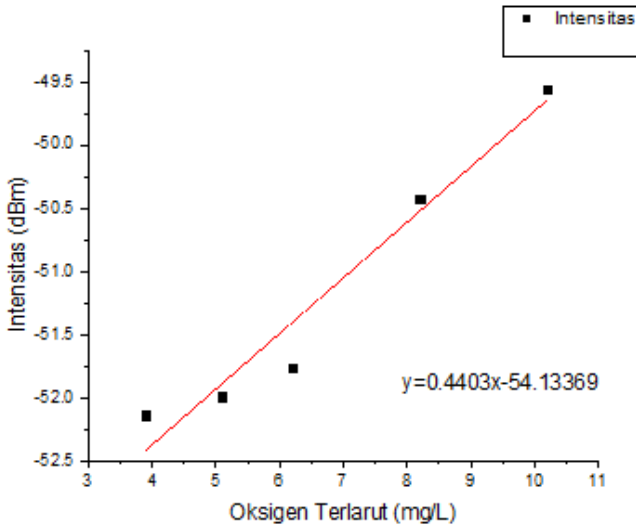
Setelah dilakukan pengujian dan pengukuran sensor dengan menggunakan sumber cahaya biru dengan variasi *coating*, maka dilakukan pengukuran sensor dengan menggunakan sumber cahaya LED merah untuk mengetahui performansi dari sensor.

Berdasarkan tabel 4.5 telah diperoleh nilai daya serat optik plastik yang terukur pada OPM dimana hasil percobaan pada sensor tersebut diperoleh nilai koefisien linieritas pada sensor adalah 0.91898 dengan nilai sensitifitasnya sebesar 0.858005 melalui persamaan garis $y=0.4403x-54.13369$.

Tabel 4.5 Pengukuran Daya Serat Optik plastik dengan *Graphene oxide* 2 cm Menggunakan LED Merah

Karakteristik Statik			LED merah GO 1 cm
Range	Input	Max	5
		Min	1
	Output	Max	-49.556598
		Min	-52.134784
Span	Input		4
	Output		2.578186
Sensitifitas			0.6445465
R ²			0.91898

Dari data pengukuran selanjutnya dilihat hubungan antara intensitas (dBm) pada sensor dengan jumlah oksigen terlarut pada air yang ditunjukkan pada gambar 4.6.

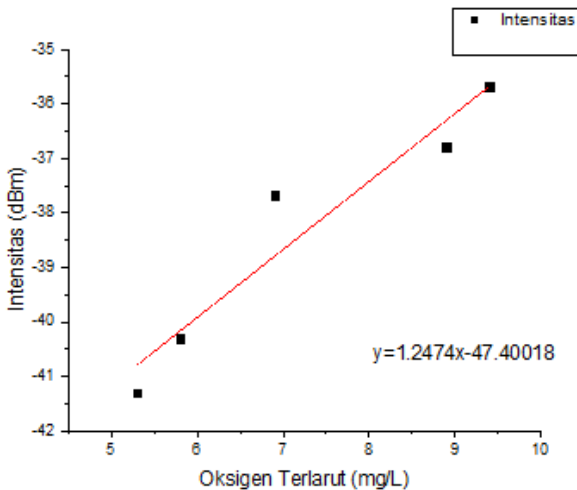


Gambar 4.8. Respon Intensitas terhadap oksigen terlarut dengan LED biru variasi panjang coating dengan GO 2 cm menggunakan LED merah

Selanjutnya adalah pengujian sensor yang terakhir adalah sensor serat optik dengan panjang coating *graphene oxide* 1 cm dengan menggunakan LED merah. Berdasarkan hasil percobaan pada sensor tersebut diperoleh nilai koefisien linieritas pada sensor adalah 0.89665 melalui persamaan garis $y=1.2474x-47.40018$.

Tabel 4.5 Pengukuran Daya Serat Optik plastik dengan coating *Graphene oxide* 1 cm Menggunakan LED merah

Karakteristik Statik			LED merah GO 2 cm
Range	Input	Max	5
		Min	1
	Output	Max	-35.67341
		Min	-41.29648
Span	Input		4
	Output		5.62307
Senstifitas			1.4057675
R ²			0.89665

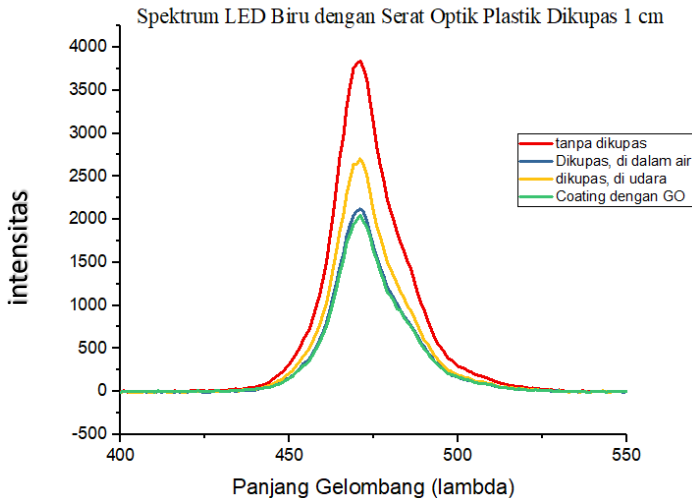


Gambar 4.9. Respon Intensitas terhadap oksigen terlarut dengan LED biru variasi panjang coating dengan GO 2 cm menggunakan LED merah

4.5. Hasil Pengukuran Spektrum Sensor

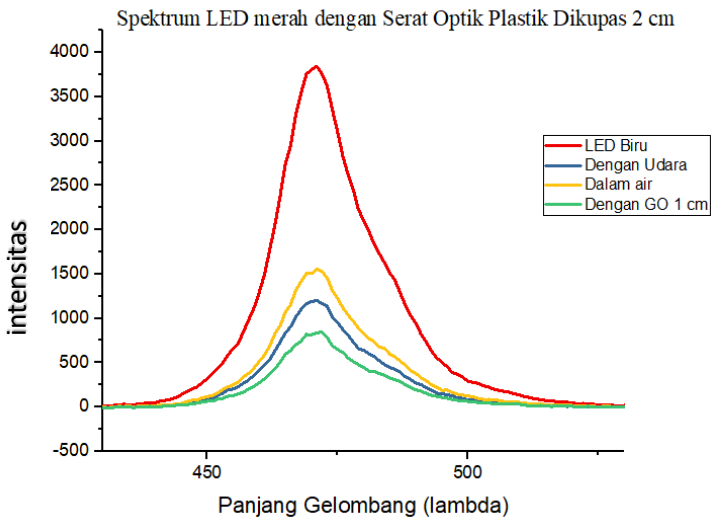
Pengukuran spektrum dari masing-masing variasi sumber cahaya dengan jenis *coating* yang berbeda dilakukan untuk mengetahui pola spektral dari masing-masing sensor terhadap jenis *coating* sebagai bahan utama sensornya. Untuk mengetahui spektrum masing-masing sumber cahaya digunakan software *spectrasuite* dan dilakukan set-up sesuai gambar 3.5.

Pengukuran dilakukan dengan beberapa variasi yaitu pengukuran spektrum dengan sensor tanpa *coating*, pengukuran dengan sensor yang dikupas sepanjang 1 cm dan 2 cm, pengukuran dengan sensor menggunakan *coating* GO di udara dan di dalam air untuk masing-masing sumber cahaya. Sumber cahaya LED biru menggunakan integration time 10.000 sedangkan integration time dari LED merah sebesar 850.000.

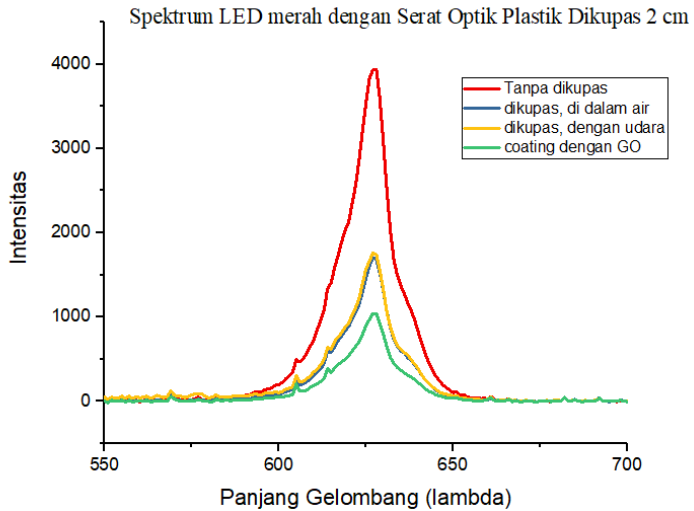


Gambar 4.10. Spektrum LED Biru dengan kupasan 1 cm

Pengukuran spektrum dilakukan dengan masing-masing variasi menghasilkan spektrum dengan panjang gelombang 470 untuk LED biru. Akan tetapi untuk masing-masing jenis pengukuran menghasilkan intensitas yang berbeda di setiap jenis sensor yang diukur. Pada gambar 4.10 dan 4.11 spektrum dengan coating GO memiliki nilai intensitas paling rendah. Hal ini menandakan pengaruh GO sebagai coating dari sensor serat optik plastik dan pengaruh oksigen yang berada dalam air. Sedangkan untuk LED biru dengan coating 2 cm diperoleh hasil spektrum yang lebih baik dari hasil spektrum jenis sensor lain.

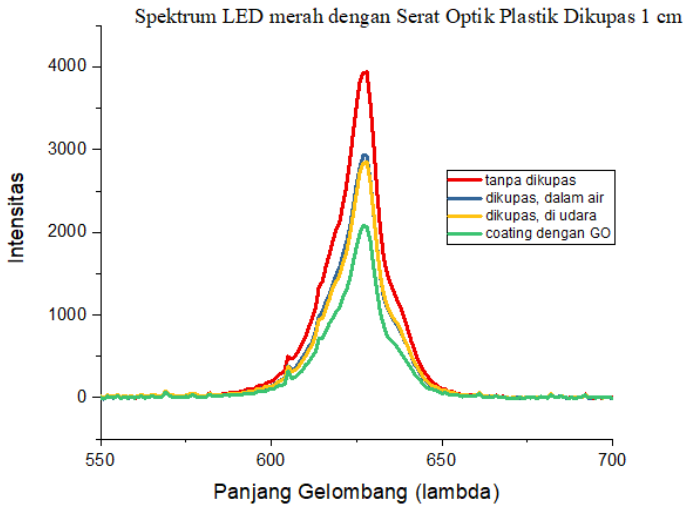


Gambar 4.11 Spektrum LED Biru dengan kupasan 2 cm



Gambar 4.12 Spektrum LED Merah dengan kupasan 1 cm

Setelah dilakukan pengukuran spektrum dengan sumber cahaya LED biru dan variasi jenis sensor, maka selanjutnya adalah pengukuran dengan menggunakan jenis sumber cahaya LED merah. Pada gambar 4.12 dan gambar 4.13 merupakan hasil spektrum panjang gelombang LED merah berada pada titik 630 nm. Dari masing-masing pengukuran spektrum yang terukur menunjukkan perbedaan intensitas pada masing-masing jenis sensor. akan tetapi untuk jenis sensor dengan coating GO tetap berada pada nilai intensitas paling rendah, sedangkan untuk jenis sensor dengan media antara udara dengan air memiliki perbedaan yang kecil, hal tersebut akibat indeks bias dari masing-masing mediumnya tidak jauh berbeda.



Gambar 4.13 Spektrum LED Merah dengan kupasan 2 cm

Dari hasil pengukuran menggunakan *spectrasuite* diperoleh panjang gelombang sesuai, yaitu LED biru dengan panjang gelombang 470 nm dan LED merah dengan panjang gelombang 630 nm. Dari beberapa variasi uji dengan medium yang berbeda memberikan pengaruh terhadap intensitas sensor yang semakin turun.

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB V

PENUTUP

5.1. Kesimpulan

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

- a. Telah dilakukan rancang bangun sensor oksigen terlarut berbasis serat optik plastik dengan variasi coating *graphene oxide* dengan variasi sumber cahaya LED biru dan merah dan panjang coating 1 cm dan 2 cm menggunakan *graphene oxide*.
- b. Berdasarkan hasil pengujian sensor dengan variasi LED biru dan merah dengan panjang coating GO masing-masing 1 dan 2 cm maka diperoleh karakteristik statik sensor terbaik adalah jenis sensor coating *graphene oxide* dengan kupasan 2 cm menggunakan LED biru nilai sensitifitas tertinggi yaitu 1.540505 dan koefisien linier adalah 0.98173.

5.2. Saran

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan terdapat saran yang dapat dipertimbangkan untuk pengembangan penelitian selanjutnya adalah :

- a. Perlu dilakukan penelitian tentang pembuatan coating serat optik menggunakan material lain untuk meningkatkan sensitifitas serat optik plastik terhadap oksigen terlarut.
- b. Perlu dilakukan analisa dengan menggunakan spektrum terhadap emisi yang dipancarkan material yang digunakan saat coating.

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Department of Primary Industries and Resources of South Australia. 2003. Water Quality in Fresh Aquaculture Ponds.
- [2] Mahasri, G. 2006. Diktat Manajemen Kualitas Air. Program Studi S-1 Budidaya Perairan. Fakultas Kedokteran Hewan. Universitas Airlangga. Surabaya. hal 29
- [3] Lizuka, k. (2008). *Engineering Optics Third Edition: Springer series in optical science*. Canada: Springer.
- [4] Zubia, J., & Arrue, J. (2001). *Plastic optical fibers: An introduction to their technological processes and applications*. Opt. Fiber Technol.
- [5] Jens Witt, François Narbonneau, Marcus Schukar, Katerina Krebber, Julien De Jonckheere, Mathieu Jeanne, Damien Kinet, Bernard Paquet, Annick Depré, Lorenzo T. D'Angelo, Torsten Thiel, and Regis Logier, (2010). *Medical textiles with embedded fiber optic sensors for monitoring of respiratory movement*. IEEE.
- [6] B. Edlén, (1966). *The Refractive Index of Air*,
- [7] T.L. Yeo, (2008). *Fibre-optic sensor technologies for humidity and moisture measurement, Sensors and Actuators A* Vol. 144, Hal. 280–295
- [8] B. Edlén, (1966). *The Refractive Index of Air*, *Metrologia* 2, Hal 71-80.
- [9] K.P. Birch, M.J. Downs, *An updated Edlén equation for the refractive index of air*, *Metrologia* 30 (1993) Hal. 155-162.
- [10] John Crisp, (2001). *Introduction to Fiber Optics*. Oxford: Newnes.

- [11] John P. Bentley, (2005). *Principles of Measurement Systems*. Harlow England: Prentice Hall.
- [12] Mark G. Kuzyk, (2007). *Polymer Fiber Optics*. Boca Raton USA: Taylor & Francis Group, LLC.
- [13] Jacob Fraden, (2006). *Handbook of Modern Sensors*. AIP Press, San Diego California.
- [14] Francis T. S. Yu, and Shizhuo Yin, (2002). *Fiber Optic Sensors*. New York: Marcel Dekker Inc.
- [15] Grattan dan Meggitt. *Optical Fiber Sensor Technology volume 3 application and system*. ISBN 978-1-4419-4736-9
- [16] Geim, A. K. & Novoselov, K. S. (2007). The Rise of Graphene. *Nature Materials*, vol.6. 1-14.

LAMPIRAN A
Data Hasil Eksperimen

Tabel 1. Hasil Karakterisasi LED Biru menggunakan *spectrasuite*.

Panjang Gelombang	Daya Terukur	Panjang Gelombang	Daya Terukur	Panjang Gelombang	Daya Terukur
351	-0.99	371	2.42	391	7.14
352	-3.32	372	-1.07	392	-1.9
353	-1.68	373	0.72	393	2.11
354	2.74	374	-1.57	394	-2.92
355	1.43	375	5.23	395	2.32
356	4.4	376	2.96	396	4.51
357	1.18	377	0.95	397	1.19
358	0.15	378	-1.87	398	3.29
359	-1.11	379	8.01	399	-4.08
360	0.69	380	1.11	400	4.87
361	-5.32	381	1.51	401	5.94
362	0.22	382	-1.28	402	5.87
363	-1.39	383	3.72	403	2.13
364	6.18	384	-0.1	404	2.48
365	-1.52	385	1.32	405	-2.06
366	-5.3	386	-1.44	406	6.04
367	1.63	387	5.61	407	6.96
368	3.12	388	1.2	408	3.05
369	0.47	389	2.55	409	5.5
370	2.94	390	4.84	410	-0.29
411	8.22	431	17.39	451	496.56
412	0.17	432	23.41	452	585.33

413	4.32	433	26.93	453	679.41
414	8.85	434	30.79	454	803.06
415	1.94	435	30.99	455	888.99
416	4.54	436	42.82	456	994.53
417	11.67	437	44.41	457	1197.39
418	8.75	438	50.49	458	1351.31
419	9.31	439	63.19	459	1531.74
420	7.01	440	74.49	460	1806.15
421	9.04	441	82.91	461	2044.14
422	10.78	442	102.56	462	2401.52
423	9.01	443	116.66	463	2757.18
424	10.05	444	144.03	464	3150.15
425	7.3	445	172.96	465	3579.27
426	10.42	446	212.53	466	3867.39
427	13.34	447	253.61	467	3939.73
428	16.86	448	300.34	468	3935.64
429	15.57	449	368.75	469	3942.49
430	16.14	450	416.56	470	3940.02
471	3943.32	491	1104.03	511	154.02
472	3942.45	492	974.18	512	143.81
473	3934.58	493	854.23	513	126.75
474	3946.94	494	767.59	514	121.25
475	3930.39	495	676.88	515	105.17
476	3732.16	496	608.37	516	100.44
477	3447.37	497	542.97	517	87.67
478	3199.55	498	492.04	518	78.11
479	2948.5	499	451.09	519	69.2
480	2803.35	500	403.85	520	68.24

481	2629.26	501	375.74	521	55.79
482	2469.72	502	348.17	522	55.53
483	2322.11	503	318.32	523	51.15
484	2155.18	504	302.21	524	43.14
485	2013.17	505	274.83	525	40.94
486	1856.66	506	250.97	526	39.03
487	1706.56	507	231.57	527	35.48
488	1540.42	508	215.59	528	25.05
489	1396.45	509	190.15	529	24.03
490	1234.66	510	176.64	530	22.95
531	17.93	551	6.98	571	-1.08
532	18.21	552	-5.64	572	1.93
533	21.49	553	0.82	573	-1.02
534	17.72	554	0.91	574	-1.16
535	9.87	555	-1.58	575	-0.54
536	13.3	556	2.7	576	-2.25
537	13.54	557	-0.39	577	-3.46
538	10.4	558	-2.95	578	-2.21
539	7.72	559	3.04	579	-6.06
540	9.57	560	1.11	580	-4.51
541	7.24	561	1.42	581	0.17
542	5.41	562	-1.41	582	-3.53
543	4.25	563	1.24	583	1
544	3.02	564	1.07	584	-2.55
545	5.81	565	-1.94	585	-2.91
546	2.18	566	-1.57	586	-3.2
547	1.9	567	-0.77	587	-2.79
548	1.84	568	1.97	588	1.61

549	0.35	569	-5.69	589	2.91
550	3.93	570	-2.73	590	-7.41
591	0.19	611	-1	631	-6.76
592	0.11	612	-3.2	632	-6.31
593	1.77	613	-4.09	633	1.9
594	-4.47	614	-11.71	634	-5.89
595	-1.9	615	-0.9	635	2.76
596	-0.99	616	-4.84	636	-2
597	3.19	617	1.49	637	-2.7
598	-1.33	618	-2.13	638	-0.33
599	-1.38	619	2.41	639	-0.91
600	-1.85	620	-0.98	640	-3.27
601	-1.47	621	-8.35	641	-2.31
602	-2.07	622	2.87	642	-2.74
603	-0.23	623	-3.59	643	-3.04
604	-0.09	624	0.22	644	0.58
605	-11.47	625	1.45	645	-4.9
606	-3.93	626	0.7	646	1.69
607	0.59	627	-1.14	647	-3.57
608	-4.29	628	-5.6	648	-0.47
609	-0.59	629	-0.15	649	2.54
610	0.61	630	0.98	650	-3.28

Tabel 2. Hasil Karakterisasi LED merah menggunakan *spectrasuite*

Panjang Gelombang	Daya Terukur	Panjang Gelombang	Daya Terukur	Panjang Gelombang	Daya Terukur
351	0.81	381	-1.42	411	-2.25
352	12.67	382	1.43	412	0.82
353	-1.08	383	-3.95	413	-2.25
354	3.15	384	-1.92	414	-2.42
355	-5.54	385	-3.69	415	5.37
356	5.9	386	-4.72	416	-5
357	0.06	387	-4.19	417	-11.07
358	-0.8	388	-3.43	418	-5.97
359	2.17	389	0.77	419	3.67
360	-3.71	390	-0.6	420	-2.07
361	-1.59	391	-4.12	421	-2.83
362	-2.7	392	7.54	422	-2.01
363	-4.35	393	-7.95	423	-8.43
364	-9.93	394	21.36	424	-3.39
365	-5.47	395	-2.53	425	-2.1
366	11.73	396	-6.66	426	-0.24
367	-11.18	397	-3.98	427	-0.68
368	-3.84	398	-5.93	428	0.11
369	-2.57	399	-3.89	429	-4.32
370	0.64	400	-3.43	430	-4.17
371	-3.01	401	-9.2	431	5.24
372	-4.59	402	-5.29	432	-5.76
373	3.47	403	-3.14	433	-6.74
374	-3.97	404	-0.72	434	-0.6
375	-1.3	405	-3.94	435	8.14

376	-2.55	406	0.44	436	2.48
377	-2.01	407	3.75	437	6.02
378	0.36	408	-8.01	438	-2.72
379	-6.42	409	1.5	439	2.88
380	1.01	410	5.06	440	-0.75
381	-1.42	411	-2.25	441	-5.74
382	1.43	412	0.82	442	-1.65
383	-3.95	413	-2.25	443	-2.08
384	-1.92	414	-2.42	444	0.79
385	-3.69	415	5.37	445	-7.07
386	-4.72	416	-5	446	2.75
387	-4.19	417	-11.07	447	-1.11
388	-3.43	418	-5.97	448	-1.82
389	0.77	419	3.67	449	3.41
390	-0.6	420	-2.07	450	-2.05
391	-4.12	421	-2.83	451	-2.15
392	7.54	422	-2.01	452	-2.97
393	-7.95	423	-8.43	453	-1.26
394	21.36	424	-3.39	454	-1.48
395	-2.53	425	-2.1	455	7.03
396	-6.66	426	-0.24	456	2.41
397	-3.98	427	-0.68	457	9.58
398	-5.93	428	0.11	458	-1.5
399	-3.89	429	-4.32	459	-3.18
400	-3.43	430	-4.17	460	2.81
401	-9.2	431	5.24	461	2.23
402	-5.29	432	-5.76	462	-0.46
403	-3.14	433	-6.74	463	-1.59

404	-0.72	434	-0.6	464	0.71
405	-3.94	435	8.14	465	0.51
406	0.44	436	2.48	466	-0.73
407	3.75	437	6.02	467	9.26
408	-8.01	438	-2.72	468	9.67
409	1.5	439	2.88	469	-4.14
410	5.06	440	-0.75	470	-2.8
471	-0.22	501	-1.04	531	-0.17
472	-5.32	502	0.81	532	6.61
473	12.87	503	2.19	533	-4.35
474	1	504	-11.67	534	-0.69
475	-3.62	505	3.11	535	0.81
476	-2.12	506	-3.99	536	-4.68
477	-2.69	507	-6.7	537	2.52
478	-4.73	508	-2.35	538	-1.09
479	14.92	509	3.77	539	1.55
480	3.91	510	-6.93	540	2.5
481	-3.25	511	-1.4	541	-2.89
482	-7.26	512	2.15	542	-1.04
483	-9.52	513	-2.8	543	-2.12
484	-1.64	514	-4.73	544	-3.4
485	1.58	515	4.08	545	-1.52
486	0.41	516	-7.07	546	5.28
487	-2.44	517	-6.84	547	-0.02
488	-1.6	518	-4.38	548	1.3
489	-3.59	519	4.86	549	1.66
490	-1.09	520	-4.5	550	7.37
491	-1.03	521	9.07	551	2.2

492	0.27	522	0.45	552	4
493	3.4	523	1.94	553	1.87
494	-6.87	524	-0.39	554	-2.7
495	4.56	525	-6.76	555	-1.83
496	1.24	526	-4.26	556	3.65
497	2.21	527	4.95	557	6.06
498	-3.74	528	-4.92	558	-2.94
499	-6.69	529	7.84	559	-4.23
500	-6.06	530	-6.09	560	4.86
561	3.3	591	69.16	621	2196.07
562	6.89	592	81.01	622	2413.12
563	4.71	593	84.51	623	2648.84
564	5.37	594	98.14	624	3014.93
565	10.94	595	106.18	625	3340.57
566	5.51	596	114.77	626	3578.52
567	6.58	597	139.29	627	3785.93
568	6.15	598	153.59	628	3795.75
569	12.97	599	169.52	629	3497.37
570	11.11	600	193.49	630	3103.91
571	9.07	601	207.77	631	2606.8
572	10.81	602	253.04	632	2143.03
573	9.98	603	284.55	633	1804.61
574	10.3	604	334.18	634	1556.93
575	10.45	605	390.86	635	1417.35
576	15.35	606	408.69	636	1321.69
577	21.81	607	452.62	637	1199.46
578	17.95	608	533.36	638	1104.35
579	13.01	609	603.73	639	997.24

580	15.15	610	679.04	640	869.05
581	17.55	611	777.04	641	729.48
582	31.83	612	900.41	642	604.92
583	28.22	613	1045.85	643	515.15
584	29.93	614	1181.7	644	415.64
585	37.02	615	1316.57	645	320.57
586	39.59	616	1476.17	646	256.61
587	39.56	617	1644.69	647	208.97
588	46.12	618	1772.66	648	163.72
589	49.58	619	1922.23	649	136.94
590	64.2	620	2025.14	650	104.48
651	98.62	681	-3.09	711	1.2
652	81.47	682	10.14	712	-14.17
653	65.83	683	-2.1	713	-0.6
654	60.66	684	-3.23	714	3.04
655	57.36	685	3.68	715	-3.4
656	47.93	686	-0.2	716	-6.56
657	43.56	687	-7.46	717	-6.28
658	30.13	688	0.16	718	-3
659	29.5	689	1.28	719	-3.95
660	19.36	690	-5.05	720	-4.18
661	21.96	691	-3.69	721	-5.48
662	16.08	692	4.08	722	-0.34
663	16.17	693	3.01	723	1.41
664	7.92	694	-2.99	724	-3.92
665	10.15	695	-1.18	725	-9.86
666	18.8	696	-5.67	726	-4.06
667	4.46	697	-6.67	727	-1.9

668	2.46	698	-4.71	728	-3.95
669	6.69	699	-4.49	729	1
670	3.77	700	-4.96	730	9.03
671	-6.13	701	-8.94	731	1.02
672	1.77	702	-8.26	732	-3
673	-1.41	703	-4.46	733	-4.99
674	-0.95	704	-3.31	734	2.01
675	-2.36	705	-0.9	735	-6.02
676	-5.1	706	-9.84	736	-4.01
677	1.98	707	-3.9	737	-5.02
678	3.38	708	-3.43	738	3.01
679	-5.27	709	-2.3	739	2.17
680	-2.55	710	-0.06	740	2.97

Tabel.3. Pengukuran sensor tanpa coating GO 2 cm LED Biru

pengukuran ke -	Daya Keluaran				
	3.7 mg/L	4.6 mg/L	5.8 mg/L	6.6 mg/L	7.9 mg/L
1	-29.501	-29.5036	-29.5072	-29.5146	-29.5172
2	-29.5108	-29.5106	-29.5132	-29.5152	-29.5056
3	-29.5106	-29.5123	-29.5094	-29.5034	-29.5058
4	-29.5214	-29.5142	-29.5118	-29.5152	-29.5148
5	-29.5246	-29.5134	-29.5029	-29.5074	-29.5146
rata-rata	-29.5137	-29.5108	-29.5089	-29.5112	-29.5116

Tabel 4. Pengukuran sensor tanpa coating GO 1 cm LED biru

pengukuran ke -	Daya Keluaran				
	3.9 mg/L	4.9 mg/L	5.7 mg/L	6.7 mg/L	7.8 mg/L
1	-30.6196	-30.6208	-30.6186	-30.612	-30.6074
2	-30.62	-30.6156	-30.6182	-30.6146	-30.6074
3	-30.6218	-30.6156	-30.6182	-30.6126	-30.6168
4	-30.6178	-30.6202	-30.6168	-30.6066	-30.616
5	-30.6147	-30.6172	-30.6162	-30.6134	-30.6102
rata-rata	-30.6188	-30.6179	-30.6176	-30.6118	-30.6116

Tabel.5 Pengukuran sensor tanpa coating 2 cm LED Merah

pengukuran ke -	Daya Keluaran				
	3.8 mg/L	4.8 mg/L	5.9 mg/L	6.7 mg/L	7.7 mg/L
1	-47.8427	-47.912	-47.9613	-47.94	-48.053
2	-47.8193	-47.9157	-47.9987	-48.0487	-48.036
3	-47.8327	-47.9863	-47.9947	-48.0033	-48.061
4	-47.8717	-47.956	-47.9477	-48.0527	-48.034
5	-47.9087	-47.9657	-47.9687	-48.0033	-48.06
rata-rata	-47.855	-47.9471	-47.9742	-48.0096	-48.0488

Tabel.6 Pengukuran sensor tanpa coating 1 cm LED merah

pengukuran ke -	Daya Keluaran				
	4.1 mg/L	5.1 mg/L	6.3 mg/L	7.7 mg/L	8.3 mg/L
1	-50.5566	-50.5472	-50.556	-50.663	-50.5786
2	-50.5786	-50.6034	- 50.6402	- 50.6334	-50.6402
3	-50.5796	-50.59	- 50.6206	- 50.6494	-50.6494
4	-50.6102	-50.594	-50.558	-50.636	-50.5194
5	-50.6188	-50.5142	-50.633	- 50.6044	-50.6233
rata-rata	-50.5888	-50.5698	- 50.6016	- 50.6372	-50.6022

Tabel 7. Pengukuran sensor coating GO 2 cm LED Biru

Oksigen Terlarut (mg/L)	Daya Terukur (dBm)
4.2	-38.5528
5.1	-37.87063
6.4	-35.44231
7.6	-34.4125
9.3	-32.39078

Tabel 8. Pengukuran sensor coating GO 1 cm LED Biru

Oksigen Terlarut (mg/L)	Daya Terukur (dBm)
4.3	-38.552804
5.5	-37.979832
6.8	-37.44231
7.6	-35.412504
8.5	-35.120784

Tabel 9. Pengukuran sensor coating GO 2 cm LED Merah

Oksigen Terlarut (mg/L)	Daya Terukur (dBm)
4.3	-41.29648
5.8	-40.29648
6.9	-37.67895
8.9	-36.77977
9.4	-35.67341

Tabel 10. Pengukuran sensor coating GO 1 cm LED merah

Oksigen Terlarut (mg/L)	Daya Terukur (dBm)
3.9	-52.134784
5.1	-51.992092
6.2	-51.76238
8.2	-50.428372
10.2	-49.556598

Tabel 11. Data pengukuran perbandingan GO dengan udara

Data Pengukuran dengan udara				
Pengukuran Ke	LED biru GO 2 CM	LED Biru GO 1 cm	LED merah GO 2 cm	LED merah GO 1 cm
1	-40.65727	-42.37155	-51.29648	-55.552804
2	-41.05452	-42.37243	-51.29648	-55.979832
3	-40.19037	-42.38195	-51.67895	-55.44231
4	-40.23703	-42.38888	-51.77977	-55.412504
5	-40.27656	-42.39296	-51.67341	-55.120784
Rata-rata	-40.48315	-42.38155	-51.54501	-55.501646

LAMPIRAN B

Spesifikasi Alat

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

Item		SH 4001			
		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

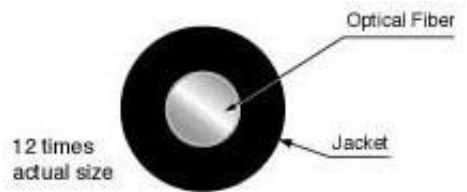
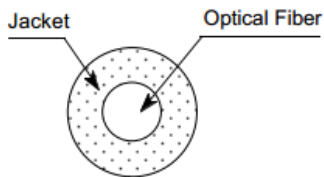


Table2

			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]	°C	- 55	—	+ 70
	Operation Temperature	No Deterioration in Optical Properties* [in a Dry Atmosphere]	°C	- 55	—	+ 70
	Operation Temperature in a Moist Atmosphere	No Deterioration in Optical Properties** [under 95 %RH]	°C	—	—	+ 60
Optical Properties	Transmission Loss	∅50 nm Collimated Light]	dB/km	—	—	190
	Transmission Loss under 95 %RH	∅50 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.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 ³⁾	#8-32 G M4 thread
Aperture Thread	SM1, outer thread
Fiber Adapters (optional)	FC, SC, LC, SMA, ST

¹⁾ Measured with PM100D console in bandwidth low setting.

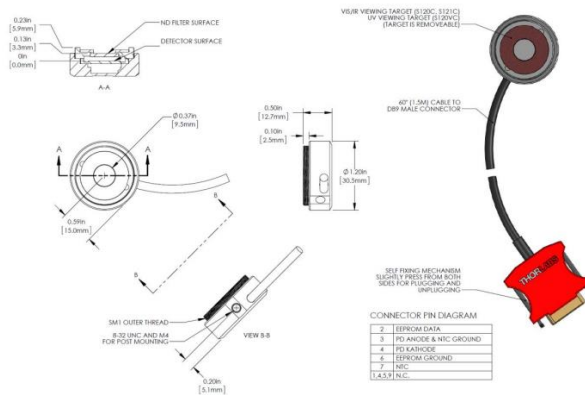
²⁾ Beam diameter = 1mm

³⁾ This specification is valid for S120C devices from serial number 1203xxx. For older versions, please contact technical support.

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



BIOGRAFI PENULIS



Nama lengkap penulis adalah M. Eko Yulianto Wibowo, penulis dilahirkan di Kota Lamongan pada tanggal 4 Juli 1994. Penulis memperoleh pendidikan tingkat dasar di SDN 1 Sukodadi, kemudian melanjutkan pendidikan tingkat menengah pertama di SMPN 1 Pucuk dan menamatkan pendidikan menengah atas di SMAN 1 Sukodadi Lamongan. Sebelum melanjutkan pendidikan di Prodi D3 Metrologi dan

Instrumentasi Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) pada tahun 2013, penulis terlebih dahulu belajar ketrampilan Bahasa Inggris di *Basic English Course* (BEC) Pare-Kediri selama 9 bulan. Penulis semenjak menjadi mahasiswa dari tahun pertama telah mengikuti berbagai aktivitas di organisasi Islam ekstra kampus tertua di Indonesia yaitu Himpunan mahasiswa Islam (HMI) komisariat Fisika Teknik Sepuluh Nopember. Saat ini penulis telah menyelesaikan studi Lintas Jalur S1 Teknik Fisika ITS sejak tahun 2017 hingga 2019. Untuk dapat menghubungi penulis dapat mengirim melalui via email meko.yw@gmail.com.

Halaman ini sengaja dikosongkan