

**PENGEMBANGAN SENSOR BERBASIS FIBER OPTIK PLASTIK
DENGAN VARIASI *MACROBEND*
UNTUK MENDETEKSI KESADAHAN AIR ($CaCO_3$)**

TUGAS AKHIR SKRIPSI

Diajukan kepada Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Universitas Negeri Yogyakarta untuk Memenuhi Sebagian Persyaratan Guna
Memperoleh Gelar Sarjana Sains



Oleh:

Anggi Tri Prasetyo

NIM 16306141055

**PROGRAM STUDI FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS NEGERI YOGYAKARTA
2020**

LEMBAR PERSETUJUAN

Tugas Akhir Skripsi dengan Judul

**PENGEMBANGAN SENSOR BERBASIS FIBER OPTIK PLASTIK
DENGAN VARIASI *MACROBEND*
UNTUK MENDETEKSI KESADAHAN AIR ($CaCO_3$)**

Disusun oleh:

Anggi Tri Prasetyo

NIM 16306141055

telah memenuhi syarat dan disetujui oleh Dosen Pembimbing
untuk dilaksanakan Ujian Akhir Tugas Akhir Skripsi bagi yang bersangkutan.

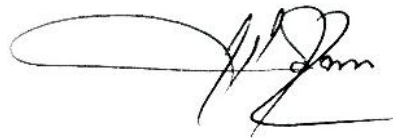
Yogyakarta, 18 Maret 2020

Mengetahui,
Ketua Program Studi



Warsono, M.Si.
NIP. 196811011999031002

Disetujui,
Dosen Pembimbing



Prof. Dr. Heru Kuswanto
NIP. 1961111121987021001

SURAT PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Anggi Tri Prasetyo
NIM : 16306141055
Program Studi : Fisika
Judul TAS : Pengembangan Sensor Berbasis Fiber Optik
Plastik dengan Variasi Bentuk *Macrobend* untuk Mendeteksi Kesadahan
Air ($CaCO_3$)

menyatakan bahwa skripsi ini benar-benar karya saya sendiri. Sepanjang pengetahuan saya tidak terdapat karya atau pendapat yang ditulis atau diterbitkan orang lain kecuali sebagai acuan kutipan dengan mengikuti tata penulisan karya ilmiah yang telah lazim.

Yogyakarta, 18 Maret 2020

Yang Menyatakan,



Anggi Tri Prasetyo

NIM. 16306141055

HALAMAN PENGESAHAN

Tugas Akhir Skripsi yang berjudul “Pengembangan Sensor Berbasis Fiber Optik Plastik dengan Variasi Bentuk *Macrobend* untuk Mendeteksi Kesadahan Air (CaCO_3)” yang disusun oleh Anggi Tri Prasetyo, NIM 16306141055 ini telah dipertahankan di depan Tim Penguji Tugas Akhir Skripsi pada tanggal 9 April 2020 dan dinyatakan lulus.

TIM PENGUJI

Nama / Jabatan	Tanda Tangan	Tanggal
Prof. Dr. Heru Kuswanto Ketua Penguji/Pembimbing		14 April 2020
Drs. Juli Astono, M.Si. Penguji 1		13 April 2020
Supardi, M.Si. Penguji 2		16 April 2020

Yogyakarta, 17 April 2020

Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

Dekan,



Prof. Dr. Ariswan
NIP. 195909141988031003

MOTTO

“Berbuat baiklah kepada siapapun. Karena, Allah SWT. akan membalas kebaikan yang kita lakukan meski sekecil apa pun dan kebaikan yang kita perbuat akan kembali pada diri kita sendiri.”

"Tidak ada balasan untuk kebaikan selain kebaikan (pula)"

[Q.S Ar Rahman : 60]

PERSEMBAHAN

Skripsi ini saya persembahkan untuk:

**Kedua orang tua tercinta yang selalu memberikan
nasehat, do'a dan motivasi.**

**PENGEMBANGAN SENSOR BERBASIS FIBER OPTIK PLASTIK
DENGAN VARIASI BENTUK *MACROBEND*
UNTUK MENDETEKSI KESADAHAN AIR ($CaCO_3$)**

**Anggi Tri Prasetyo
16306141055**

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui besar pengaruh konsentrasi larutan $CaCO_3$ dan jumlah lekukan terhadap keluaran daya optik. Mengetahui nilai sensitivitas dan linearitas sistem sensor fiber optik plastik pada berbagai lekukan dan konsentrasi larutan $CaCO_3$.

Sensor fiber optik plastik dilekukan dengan variasi jumlah lekukan yaitu 1, 2, dan 3. Fiber optik plastik yang digunakan dengan panjang 90 cm untuk setiap variasinya. Sensor tersebut dipasang di dalam gelas *beaker*. Penelitian ini menggunakan sumber cahaya laser *He-Ne* dengan daya keluaran 5 mW dan panjang gelombang 623,8 nm. Laser *He-Ne* memancarkan cahaya melalui fiber optik plastik yang diterima oleh *Optical Power Meter* (OPM). Daya optik diukur untuk setiap kenaikan konsentrasi larutan sebesar 50 mg/L. Hasil pengukuran kemudian di-plot dalam bentuk grafik dan melakukan fitting linear untuk mengetahui nilai sensitivitas dan linearitas sensor tersebut.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa Perubahan konsentrasi di dalam larutan dapat mempengaruhi keluaran daya optik. Semakin besar konsentrasi larutan, maka atenuasi di dalam fiber optik plastik semakin besar. Lekukan fiber optik plastik berbentuk *macrobend* dapat mengurangi keluaran daya optik. Semakin banyak jumlah lekukan maka sistem sensor fiber optik plastik akan mengalami banyak kehilangan rugi daya. Sensitivitas terbaik pada variasi 1 lekukan dengan nilai -0.00397 dan linearitas terbaik pada variasi 3 lekukan dengan nilai 0.96558.

Kata kunci: Sensor fiber optik plastik, kesadahan air, lekukan *macrobend*.

**THE DEVELOPMENT OF PLASTIC OPTICAL FIBER-BASED SENSORS
WITH A VARIATION OF MACROBEND SHAPE
TO DETECT WATER HARDNESS (CaCO_3)**

**Anggi Tri Prasetyo
16306141055**

ABSTRACT

This research aimed to determine the effects of CaCO_3 solution concentrations and the number of bending on optical power output. The next purpose is to investigate the sensitivity and linearity of the plastic optical fiber sensor system at various bends and CaCO_3 solution concentrations.

Plastic optical fiber sensors are bent with variations in the number of bends of 1, 2, and 3. The fibers used in this research are fibers with a length of 90 cm for each variation. The sensor was installed in the beaker glass. This research used He-Ne laser light sources with an output power of 5 mW and a wavelength of 623.8 nm. The He-Ne laser emitted light through plastic optical fibers that were received by the Optical Power Meter (OPM). Optical power was measured for each increase in a solution concentration of 50 mg/L. Then, the measurement results were plotted in graphical form and linear fitting was carried out to determine the sensitivity and linearity of the sensor.

The results of the research showed that changes in solution concentration affected optical power output. The greater the solution concentrations, the greater the attenuation in plastic optical fibers. Macrobend-shaped plastic optical fiber bend can reduce optical power output. The greater the number of bends, the more power loss will occur in the plastic fiber optic sensor system. The best sensitivity is the variation of 1 bend with a value of -0.00397 and the best linearity is the variation of 3 bends with a value of 0.96558.

Keywords: *plastic optical fiber sensors, water hardness, macrobend-shaped*

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Allah SWT atas berkat rahmat dan karunia-Nya, Tugas Akhir Skripsi dalam rangka untuk memenuhi sebagian persyaratan untuk mendapatkan gelar Sarjana Sains dengan judul “Pengembangan Sensor Berbasis Fiber Optik Plastik dengan Variasi Bentuk *Macrobend* untuk Mendeteksi Kesadahan Air ($CaCO_3$)” dapat disusun sesuai dengan harapan. Tugas Akhir Skripsi ini dapat diselesaikan tidak lepas dari bantuan dan kerjasama dengan pihak lain. Berkenaan dengan hal tersebut, penulis menyampaikan ucapan terimakasih kepada yang terhormat:

1. Prof. Dr. Ariswan selaku Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam yang memberikan fasilitas dan bantuannya untuk memperlancar tugas akhir skripsi.
2. Jaslin Ikhsan, Ph.D. selaku Wakil Dekan 1 Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam yang memberikan bantuannya untuk memperlancar administrasi tugas akhir skripsi.
3. Warsono, M.Si. selaku Ketua Jurusan Pendidikan Fisika dan Ketua Program Studi Fisika beserta dosen dan staf yang telah memberikan bantuan dan fasilitas selama proses penyusunan pra proposal sampai dengan selesainya TAS ini.
4. Prof. Dr. Heru Kuswanto selaku Dosen Pembimbing TAS yang telah banyak memberikan semangat, dorongan, dan bimbingan selama penyusunan Tugas Akhir Skripsi ini.
5. Ketua Penguji, Sekretaris, dan Penguji yang sudah memberikan koreksi perbaikan secara komprehensif terhadap TAS ini.
6. Laila Katriani, M.Si. selaku Penasehat Akademik yang telah memberikan arahan, bimbingan, serta motivasi selama menyelesaikan pendidikan di bangku perkuliahan.
7. Rekan Penelitian Wakhid Alamsyah yang telah bersama-sama menemani dan membantu menyelesaikan Tugas Akhir Skripsi ini.

8. Teman-teman Fisika E 2016 yang selalu memberikan motivasi dan semangat.
9. Semua pihak, secara langsung maupun tidak langsung, yang tidak dapat disebutkan di sini atas bantuan dan perhatiannya selama penyusunan Tugas Akhir Skripsi ini.

Akhirnya, semoga segala bantuan yang telah diberikan semua pihak di atas menjadi amalan yang bermanfaat dan mendapatkan balasan dari Allah SWT dan Tugas Akhir Skripsi ini menjadi informasi bermanfaat bagi pembaca atau pihak lain yang membutuhkannya.

Yogyakarta, 18 Maret 2020

Penulis,

Anggi Tri Prasetyo

NIM. 16306141055

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN SAMPUL	i
LEMBAR PERSETUJUAN	ii
SURAT PERNYATAAN	iii
LEMBAR PENGESAHAN	iv
HALAMAN MOTTO	v
HALAMAN PERSEMBAHAN	vi
ABSTRAK	vii
KATA PENGANTAR	ix
DAFTAR ISI	xi
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR GAMBAR	xiv
DAFTAR LAMPIRAN	xv

BAB I PENDAHULUAN

A. Latar Belakang	1
B. Identifikasi Masalah	3
C. Pembatasan Masalah	3
D. Rumusan Masalah	4
E. Tujuan Penelitian	4
F. Manfaat Penelitian	4

BAB II KAJIAN PUSTAKA

A. Kajian Teori	5
1. Kesadahan Air	5
2. Kalsium Karbonat ($CaCO_3$)	6
3. Fiber Optik	6
4. Fiber Optik Plastik	12
5. Fiber Optik Plastik Sebagai Sensor	14

6. Sensitivitas dan Linearitas Sensor	17
B. Kerangka Berpikir	17

BAB III METODE PENELITIAN

A. Tempat dan Waktu Penelitian	19
B. Variabel Penelitian	19
C. Alat dan Bahan Penelitian	19
D. Desain Penelitian	21
E. Prosedur Penelitian	23
F. Teknik Analisis Data	24

BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

A. Pengaruh Konsentrasi Larutan $CaCO_3$ dan Jumlah Lekukan Terhadap Keluaran Daya Optik	25
B. Sensitivitas dan Linearitas Sistem Sensor Fiber Optik Plastik Pada Berbagai Lekukan dan Konsentrasi Larutan $CaCO_3$	27

BAB V SIMPULAN DAN SARAN

A. Simpulan	30
B. Saran	30

DAFTAR PUSTAKA	31
-----------------------------	-----------

LAMPIRAN-LAMPIRAN	33
--------------------------------	-----------

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 1. Tingkat Kesadahan Air	5
Tabel 2. Indeks bias bahan untuk fiber optik plastik	13
Tabel 3. Desain Penelitian	21
Tabel 4. Spesifikasi variasi fiber optik plastik	23
Tabel 5. Sensitivitas dan linearitas sensor fiber optik plastik	29

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 1. Struktur Fiber Optik	7
Gambar 2. Pantulan internal total melalui sambungan <i>core-cladding</i> di dalam fiber optik <i>step-indeks</i>	8
Gambar 3. Pemantulan Fresnel	10
Gambar 4. Pemantulan Fresnel di setiap bidang batas	10
Gambar 5. Keadaan normal	11
Gambar 6. Lekukan tajam berakibat buruk	11
Gambar 7. Perbedaan laju penyusutan dapat menimbulkan lekukan mikro ...	11
Gambar 8. Sensor fiber optik ekstrinsik	15
Gambar 9. Sensor fiber optik intrinsik	15
Gambar 10. Fiber optik lurus tanpa lekukan ketika tekanan tidak diberikan ke keset	16
Gambar 11. Tekanan mengakibatkan rugi-rugi lekukan	16
Gambar 12. Desain penelitian sensor tingkat cairan	16
Gambar 13. Desain penelitian sensor pH	17
Gambar 14. Skema alat	21
Gambar 15. Grafik hubungan antara konsentrasi larutan dengan keluaran daya optik ternormalisasi pada variasi jumlah lekukan	25
Gambar 16. Struktur fiber optik plastik sebelum dilekukan	26
Gambar 17. Struktur fiber optik plastik setelah dilekukan	26
Gambar 18. Grafik hasil fitting linear pada variasi 1 lekukan	28
Gambar 19. Grafik hasil fitting linear pada variasi 2 lekukan	28
Gambar 20. Grafik hasil fitting linear pada variasi 3 lekukan	29

DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
Lampiran 1. Data Hasil Penelitian	33
Lampiran 2. Data Hasil Fitting Penelitian Menggunakan <i>Origin Pro 2019b</i> .	35
Lampiran 3. Alat dan Bahan	37
Lampiran 4. Dokumentasi Peneletian	39

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang Masalah

Air merupakan kebutuhan dasar makhluk hidup. Menurut filosofi “dimana ada air, disitu ada kehidupan”. Tanpa adanya air, makhluk hidup tidak akan bertahan lama.

Total jumlah kandungan air di bumi hampir 326 juta kubik mil, menurut Lembaga Survei Geologi Amerika Serikat. Sebanyak 72% permukaan bumi tertutup oleh air, tetapi 97% air tersebut asin dan tidak baik untuk diminum. Diantara 70% air minum tersebut berbentuk es, kurang dari 1% air minum yang ada di dunia siap dimanfaatkan secara langsung (LPPM IPB, 2010).

Kandungan air alam terdiri dari bermacam-macam jenis zat dan mikroorganisme, baik yang larut dalam air maupun tidak larut dalam air. Air yang baik memiliki sifat tidak berasa, tidak berwarna dan tidak berbau.

Alat pengukur kesadahan air yang saat ini digunakan salah satunya adalah *Water Wardness Tester* YD300. Alat ini menggunakan sensor elektroda. Harga untuk alat ini tergolong mahal karena memiliki kombinasi sempurna antara teknologi sensor dan software.

Dalam Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 32 Tahun 2017 tentang Standar Baku Mutu Kesehatan Lingkungan dan Persyaratan Kesehatan Air untuk Keperluan Higiene Sanitasi, Kolam Renang, *Solus Per Aqua*, dan Pemandian Umum disebutkan bahwa parameter kimia wajib dalam standar baku mutu kesehatan lingkungan dan persyaratan kesehatan air untuk keperluan higiene sanitasi maksimum yaitu Kesadahan (CaCO_3) = 500 mg/L. Kesadahan merupakan suatu keadaan dimana di dalam air terdapat kandungan kapur yang berlebihan. Pada daerah berbatu kapur maka akan memiliki tingkat kesadahan air yang tinggi.

Berdasarkan hasil survey di Dusun Siraman 1 Kecamatan Wonosari Kabupaten Gunung Kidul Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta, diperoleh data bahwa 98% warga menggunakan sumur sebagai sumber air bersih dan air minum. Kondisi yang perlu diperhatikan terkait air bersih dan air minum warga berdasarkan data hasil survey di Dusun Siraman 1 adalah 31% air yang dimiliki warga berbau dan keruh, 60% timbul endapan pada tempat menampung air bersih, serta 92% kondisi alat masak yang digunakan untuk memasak berkerak. Kondisi kesehatan lingkungan yang kaitannya dengan penyediaan air bersih tersebut berpotensi terhadap gangguan kesehatan masyarakat. Mengonsumsi air dengan kesadahan tinggi menjadi faktor penyebab penyakit batu ginjal (Puskesmas Wonosari I, 2018).

Pemantauan kadar kesadahan air secara teratur merupakan bagian yang penting, sehingga, dapat mengurangi dampak buruk yang ditimbulkan oleh kesadahan air. Untuk itu, dalam penelitian skripsi ini akan dilakukan pengembangan sensor berbasis fiber optik plastik dengan variasi bentuk *macro bend* untuk mendeteksi kesadahan air.

Pada tahun 2016 tim PPM Fakultas MIPA Universitas Negeri Yogyakarta membangun sistem pendeteksi adanya kapur dalam cairan berbasis *Light Emitting Diode* (LED) dan sensor *Light Dependent Resistor* (LDR). LED digunakan untuk menyinari cairan dengan kadar kapur yang berbeda-beda, kemudian LDR akan mendeteksi cahaya LED yang melewati cairan tersebut. Besar kecilnya nilai keluaran LDR akan bergantung pada kadar kapur dalam cairan (Sumarna, 2018:1).

Saat ini fiber optik plastik sedang dikembangkan dalam bidang sensor yang dikenal dengan Sensor Fiber Optik Plastik. Sensor fiber optik adalah jenis sensor optik yang menggunakan fiber optik dalam mekanisme pengindraan atau pendeteksian, baik sebagai komponen aktif sensor maupun sekedar sebagai pemandu gelombang (optik) saja. Prinsip kerja sensor serat optik pada pengukuran rugi daya adalah membuka bagian jaket dan *cladding*-nya. Pada bagian serat optik dengan panjang tertentu *cladding* dibuka agar terdapat rugi daya bocor. Bagian serat yang dibuka berfungsi

sebagai sensor *head*. Dengan adanya rugi bocor maka terdapat perbedaan antara daya cahaya masukan pada satu ujung serat dengan daya cahaya luaran yang diukur pada ujung lainnya (Khambali & Endarko, 2014: 33).

Dalam penelitian ini akan diteliti pengaruh lekukan fiber optik plastik berbentuk *macrobend* terhadap besarnya keluaran daya optik. Sinyal rambatan cahaya yang digunakan dalam penelitian adalah laser *He-Ne* dengan daya maksimum sebesar 5 mW dan panjang gelombang 632,8 nm yang merambat di dalam fiber optik plastik. Sedangkan, daya optik keluaran di deteksi menggunakan alat *Optical Power Meter* (OPM).

B. Identifikasi Masalah

Berdasarkan latar belakang masalah yang diuraikan di atas, maka beberapa permasalahan pada penelitian ini dapat diidentifikasi sebagai berikut:

1. Kesadahan air dapat menimbulkan dampak buruk bagi kesehatan dan merusak peralatan rumah tangga.
2. Lekukan fiber optik plastik berbentuk *macrobend* dapat melemahkan keluaran daya optik.
3. Jumlah lekukan pada variasi fiber optik plastik berbentuk *macrobend* dapat melemahkan keluaran daya optik.
4. Perubahan konsentrasi larutan CaCO_3 mempengaruhi keluaran daya optik.

C. Pembatasan Masalah

Penelitian ini difokuskan dan dibatasi pada pengaruh konsentrasi larutan CaCO_3 dan jumlah intensitas keluaran dibandingkan masukan. Variasi konsentrasi larutan CaCO_3 yang digunakan dalam penelitian ini adalah 50 mg/L, 100 mg/L, 150 mg/L, 200 mg/L, 250 mg/L, 300 mg/L, 350 mg/L, 400 mg/L, 450 mg/L, 500 mg/L dengan volume tetap yaitu 1 L. Variasi jumlah lekukan pada fiber optik plastik adalah 1 lekukan, 2 lekukan dan 3 lekukan.

D. Rumusan Masalah

Rumusan masalah dalam penelitian ini adalah:

1. Berapa besar pengaruh konsentrasi larutan $CaCO_3$ dan jumlah lekukan terhadap keluaran daya optik?
2. Berapa nilai sensitivitas dan linearitas sistem sensor fiber optik plastik terhadap jumlah lekukan dan konsentrasi larutan $CaCO_3$?

E. Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah:

1. Mengetahui besar pengaruh konsentrasi larutan $CaCO_3$ dan jumlah lekukan terhadap keluaran daya optik.
2. Mengetahui nilai sensitivitas dan linearitas sistem sensor fiber optik plastik pada berbagai lekukan dan konsentrasi larutan $CaCO_3$.

F. Manfaat Penelitian

Manfaat penelitian ini adalah:

1. Dapat mengembangkan fiber optik plastik di bidang sensor.
2. Dapat memberikan informasi bagaimana sensitivitas dan linearitas sensor pengukur kesadahan air ($CaCO_3$) dengan variasi bentuk *macrobend*.
3. Sebagai acuan atau referensi untuk melakukan riset selanjutnya.

BAB II

KAJIAN PUSTAKA

A. Kajian Teori

1. Kesadahan Air

Kesadahan air adalah air yang memiliki kandungan Ca^{2+} dan Mg^{2+} . Air sadah tidak baik untuk penggunaan rumah tangga dan industri. Penggunaan air sadah dalam rumah tangga dapat menyebabkan konsumsi sabun lebih banyak karena salah satu bagian dari molekul sabun diikat oleh unsur Ca atau Mg . Sedangkan, penggunaan air sadah dalam industri dapat menyebabkan kerak pada dinding peralatan sistem pemanasan yang dapat menyebabkan kerusakan pada peralatan industri (Said: 2008: 387).

Daerah yang berkapur memiliki tingkat kesadahan air yang tinggi. Tingkat kesadahan air dapat dinyatakan dalam satuan mg/L $CaCO_3$ atau ppm $CaCO_3$. Menurut Said (2008: 388) Tingkat kesadahan air dibagi menjadi beberapa jenis yaitu:

Tabel 1.
Tingkat Kesadahan Air

Mg/L $CaCO_3$	Tingkat Kesadahan
0 – 75	Lunak (<i>soft</i>)
75 – 150	Sedang (<i>moderately hard</i>)
150 – 300	Tinggi (<i>hard</i>)
>300	Tinggi sekali (<i>very hard</i>)

Kesadahan air dibagi menjadi 2 jenis, yaitu kesadahan sementara (temporer) dan kesadahan tetap (permanen). Kesadahan sementara adalah kesadahan yang disebabkan oleh garam-garam karbonat CO_3^{2-} dan bikarbonat HCO_3^- dari kalsium dan magnesium. Kesadahan sementara dapat dihilangkan dengan cara pemanasan atau dengan menambahkan kapur tohor. Sedangkan, kesadahan tetap atau kesadahan

non karbonat adalah kesadahan yang disebabkan oleh adanya garam-garam khlorida Cl^- dan sulfat SO_4^{2-} dari kalsium dan magnesium. Kesadahan tetap tidak dapat dihilangkan dengan cara pemanasan, tetapi dengan cara pertukaran ion (Said, 2008: 388-389).

2. Kalsium Karbonat ($CaCO_3$)

$CaCO_3$ adalah senyawa kimia berwarna putih yang paling umum dari mineral nonsilikat. $CaCO_3$ terdapat di alam dalam bentuk *limestone* dan kapur. $CaCO_3$ terdapat dalam tiga bentuk kristal yaitu *calcite* (*trigonal-rhombohedral*), *Aragonite*, dan *Vaterite* (Bahanan, 2010: 5).

Di pasaran, $CaCO_3$ dijual dalam dua jenis yang berbeda yaitu *heavy type* dan *light type*. Yang membedakan kedua jenis produk tersebut adalah tingkat kemurnian produk $CaCO_3$ di dalamnya. $CaCO_3$ *heavy type* diproduksi dengan cara menghancurkan batu kapur hasil penambangan menjadi powder halus, lalu disaring sampai diperoleh ukuran powder yang diinginkan. Sedangkan $CaCO_3$ *light type* diperoleh dari endapan hasil reaksi kimia yang dihaluskan menjadi powder (IBA, 2020).

Saat ini $CaCO_3$ telah dimanfaatkan di berbagai bidang industri. Contohnya bidang pertanian untuk meningkatkan kesuburan serta mengurangi keasaman dan efisiensi penggunaan pupuk. Kemudian, $CaCO_3$ dimanfaatkan dalam bidang perikanan tambak untuk meningkatkan kualitas air tambak (pH air menjadi netral) dan unsur Calsium (kalsium) pada kapur dibutuhkan untuk pembentukan kulit pada udang.

3. Fiber Optik

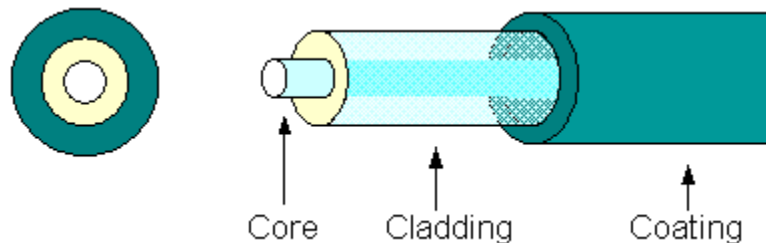
a. Pengertian Fiber Optik

Fiber optik adalah sebuah bahan transparan yang sangat jernih, atau kabel yang terbuat dari bahan semacam ini, yang dapat digunakan untuk mentransmisikan gelombang cahaya (Crisp &

Elliot, 2006: 10). Fiber optik adalah transmisi cahaya melalui kaca yang sangat halus atau serat plastik yang digunakan dalam berbagai aplikasi (Curran & Shirk, 2012: 1). Dari uraian diatas dapat disimpulkan bahwa fiber optik adalah bahan transparan yang sangat jernih dapat berupa kaca yang sangat halus atau serat plastik yang dapat digunakan sebagai media untuk menstransmisikan gelombang cahaya.

b. Struktur Fiber Optik

Struktur fiber optik terdiri dari 3 bagian yaitu *core*, *cladding*, dan *coating* ditunjukkan oleh Gambar 1. *Core* adalah bagian inti fiber optik yang terbuat dari bahan silika atau polimer organik (plastik) dengan diameter < 1,0 mm. *Cladding* adalah bagian fiber optik yang mengelilingi *core* dengan indeks bias yang lebih kecil dari *core*. *Coating* adalah bagian fiber optik yang terbuat dari bahan plastik yang berfungsi untuk melindungi fiber optik dari gangguan fisik secara langsung (Yasin, 2016: 9).



Gambar 1. Struktur Fiber Optik (CMM, 2019: 1)

c. Lintasan Berkas Cahaya di Dalam Fiber Optik

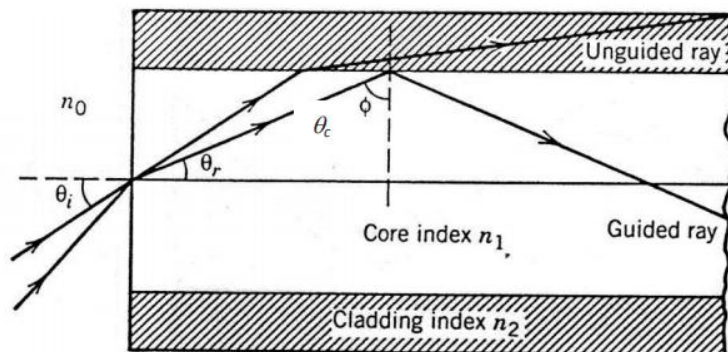
Gambar 2 dapat dilihat lintasan berkas cahaya di dalam fiber optik secara geometris dengan θ_i adalah sudut datang terhadap sumbu aksial *core*. Karena pembiasan terjadi pada sambungan serat-udara, maka berkas akan mendekati garis normal. Sehingga, sudut bias θ_r diberikan oleh persamaan,

$$n_0 \sin \theta_i = n_1 \sin \theta_r \quad \dots\dots\dots (1)$$

Dengan n_1 dan n_0 berturut-turut adalah indeks bias *core* dan udara, kemudian sinar akan mengenai sambungan *core-cladding* dan terjadi pembiasan lagi yang terjadi pada keadaan $\sin \theta_p < \left(\frac{n_2}{n_1}\right)$, dengan n_2 adalah indeks-bias *cladding*. Untuk sudut yang lebih besar dari pada sudut kritis, didefinisikan sebagai,

$$\sin \theta_c = \frac{n_2}{n_1} \quad \dots\dots\dots (2)$$

Jika cahaya dengan sudut datang lebih besar dari sudut kritis, maka cahaya akan mengalami pantulan internal total pada sambungan *core-cladding* sepanjang dari panjang fiber optik, sehingga terjadi pemanduan gelombang cahaya sepanjang fiber optik tersebut.



Gambar 2. Pantulan internal total melalui sambungan *core-cladding* di dalam fiber optik step-indeks (Yasin, 2016: 11)

Dalam mencari sudut maksimum sinar yang datang, dapat digunakan persamaan (1) dan persamaan (2) serta hubungan, $\theta_r = \frac{\pi}{2} - \theta_c$ akan diperoleh

$$n_0 \sin \theta_i = n_1 \cos \theta_c = (n_1^2 - n_2^2)^{1/2} \quad \dots\dots\dots (3)$$

Besaran pada persamaan (3) disebut dengan: *numerical aperture* (NA) suatu fiber optik. Besaran NA menyatakan tentang kemampuan fiber optik untuk mengumpulkan cahaya. Bila $n_1 \approx n_2$, NA akan sama dengan,

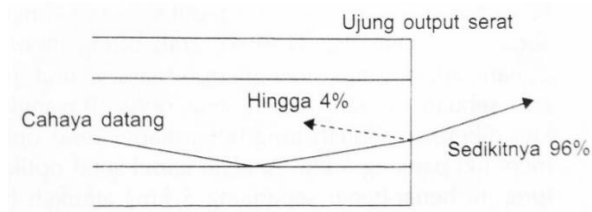
$$NA = n_1 [2(n_1 - n_2/n_1)]^{1/2} \dots\dots\dots (4)$$

d. Rugi-Rugi Daya Fiber Optik

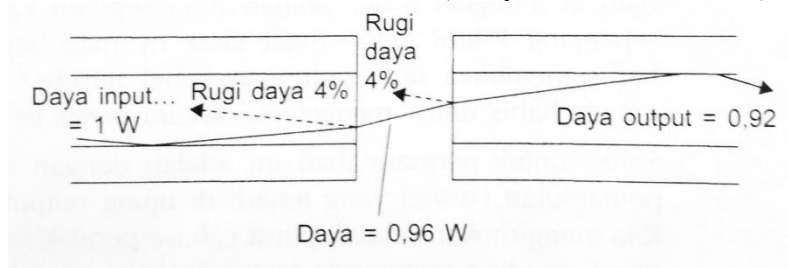
Menurut Crisp & Elliot (2006: 58-67) Penyebab hilangnya energi cahaya di dalam fiber optik ada dua yaitu bahan inti fiber optik tidak cukup jernih (kotor) dan cahaya dibelokkan ke arah yang salah.

Pertama, Zat kotoran (*impurity*) apa pun yang masih tersisa di dalam bahan inti akan menyerap sebagian dari energi cahaya yang merambat di dalam fiber optik. Kontaminan yang menimbulkan efek paling serius adalah ion-ion hidroksil dan zat-zat logam. Untuk permasalahan ini, jawaban yang paling tepat adalah mencegah timbulnya kontaminan atau tertinggalnya zat-zat kotoran di dalam kaca saat proses manufaktur dilakukan.

Kedua, pembelokan cahaya yaitu ketika sinar cahaya menumbuk sebuah bintik perubahan indeks bias dan terpecah ke segala arah, komponen pencaran yang merambat dengan sudut datang mendekati garis normal (90°) akan lewat begitu saja menembus bidang perbatasan. Lebih tepatnya, sebagian besar dari komponen itu akan menembus bidang perbatasan. Akan tetapi, tidak semua bagian dari cahaya yang datang dengan sudut mendekati garis normal akan menembus bidang perbatasan. Sebagian yang sangat kecil dari cahaya itu akan terpantul balik di bidang perbatasan. Efek ini dapat menjadi masalah bagi cahaya yang meninggalkan ujung *output* fiber optik, seperti dalam Gambar 3. Di titik ini, terjadi perubahan seketika dari indeks bias inti ke indeks bias udara yang ada di luar fiber optik. Efek yang sama juga terjadi pada arah yang berlawanan. Sebagian sangat kecil dari cahaya yang datang dan hendak memasuki fiber optik akan terpantul balik oleh bidang perbatasan udara-inti, seperti dalam Gambar 4.



Gambar 3. Pemantulan Fresnel (Crisp & Elliot, 2006: 61)

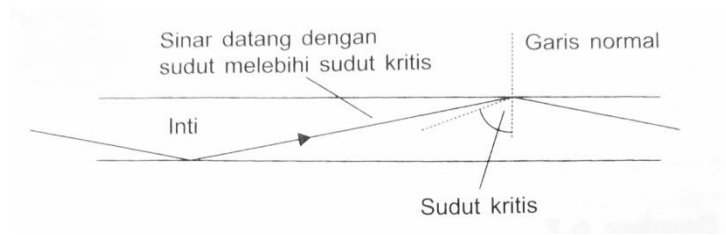


Gambar 4. Pemantulan Fresnel di setiap bidang batas (Crisp & Elliot, 2006: 61)

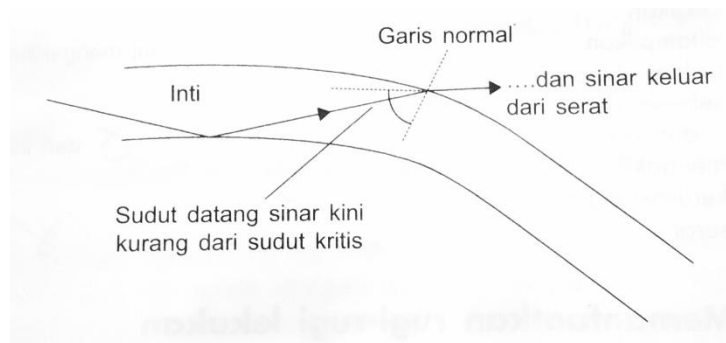
Rugi-Rugi Lekukan Kabel

1) *Macrobend* (Lekukan skala makro)

Lekukan tajam pada sebuah kabel fiber optik dapat menyebabkan timbulnya rugi daya yang cukup serius. Sinar cahaya yang diperlihatkan dalam Gambar 5 memiliki sudut datang yang melebihi sudut kritis, dan karenanya dapat merambat secara ‘aman’ di dalam inti fiber optik. Ingatlah bahwa garis normal selalu mengarah tegak lurus terhadap permukaan inti (bidang batas *core-cladding*). Sekarang, jika inti dilengkungkan, seperti pada Gambar 6, maka garis normal akan berubah arahnya mengikuti permukaan inti. Akibatnya, sinar yang tadinya merambat dengan sudut ‘aman’, kini tidak lagi demikian. Sehingga, sudut datangnya menjadi kurang dari sudut kritis dan mengakibatkan sinar dapat menembus *core* dan keluar dari fiber optik.



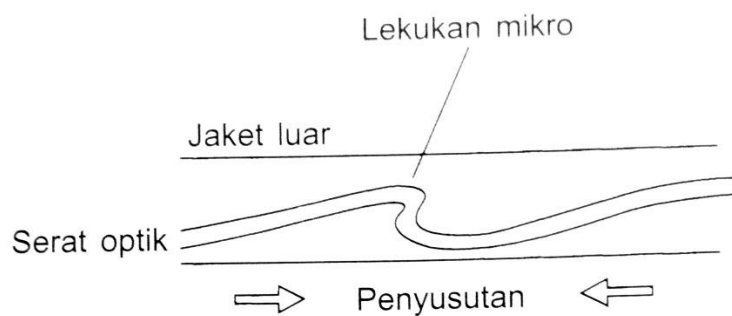
Gambar 5. Keadaan normal (Crisp & Elliot, 2006: 63)



Gambar 6. Lekukan tajam berakibat buruk (Crisp & Elliot, 2006: 63)

2) *Microbend* (Lekukan skala mikro)

Permasalahan ini pada prinsipnya menimbulkan efek yang sama dengan *macrobend*, hanya saja ukuran lekukan dan penyebab terjadinya berbeda. Jari-jari lekukan yang dalam kasus ini adalah sama dengan atau kurang dari garis-tengah sebuah fiber optik telanjang.



Gambar 7. Perbedaan laju penyusutan dapat menimbulkan lekukan mikro (Crisp & Elliot, 2006: 63)

Permasalahan *microbend* pada umumnya timbul di dalam proses manufaktur. Penyebab yang bisa dijumpai adalah perbedaan laju pemuaian (dan penyusutan) antara fiber optik dan lapisan-lapisan pelindung luarnya (jaket).

Rugi daya karena lekukan fiber optik sebenarnya dapat dimanfaatkan untuk banyak hal melalui dua cara: dengan memanfaatkan peningkatan *loss* yang terjadi di dalam fiber optik dan dengan memanfaatkan cahaya yang lolos dari fiber optik.

4. Fiber Optik Plastik

Fiber optik plastik memiliki sifat ringan, murah, luwes, dan mudah ditangani. Fiber optik plastik berindeks undak baku memiliki inti (*core*) dengan bahan *polymethyl metachrylate* (PMMA) dan suatu selubung (*cladding*) dari *polymer* berindeks lebih rendah, yang biasanya mengandung *fluorine*. Perbedaan indeks bias antara *core-cladding* lebih besar dari fiber gelas, sehingga memiliki bilangan yang lebih lebar. Diameter *core* berkisar dari 85 μm hingga lebih dari 3 mm (Kuswanto, 2004: 7-8).

Menurut Kuswanto (2004: 8-10) Suatu klasifikasi fiber optik plastik dapat dilakukan berdasarkan bahan dasar *core*. Dalam fiber bening inti (*core*) terbentuk dari bahan organik semurni mungkin. Fiber tertentu terbuat dari *core* “*doping*”, yaitu tambahan yang memiliki sifat aktif emisi cahaya terhadap tekanan partikel atau penyinaran cahaya, yang dimasukkan dalam jumlah kecil ke dalam bahan *core*. Jenis-jenis dasar fiber optik plastik dapat dibedakan menjadi:

Tabel 2.
Indeks bias bahan untuk fiber optik plastik

Bahan	indeks	Bahan	Indeks
Polymer fluor amorf	1,29-1,31	Poly (methacrylate methyl) PMMA	1,49
Polymer fluor semi krtistalin:		Polycarbonate PC	1,50-1,57
FEP	1,34	Alkohol polyvinyl	1,49-1,53
PTFE	1,35	Polyacronitril	1,52
PCTFE	1,42-1,43	Poly (methacrylimide methyl) PMMI	1,53-1,54
PVDF	1,42	Poly (clor vinyl) PVC	1,54-1,55
Poly (dimethyl siloxane)	1,43	Resin epoxy	1,55-1,60
Poly (trifluoroethyl methacrylate)	1,44	Polystyren PS	1,59
Poly (acetat vinyl)	1,47		
Poly (acrylat methyl)	1,47-1,48		

a. Fiber dengan *core* PMMA (*Poly Methacrylat Methyl*)

Bahan ini memiliki indeks bias lemah (1,49). Pilihan bahan *cladding* optik juga terbatas. Hal ini berkaitan dengan *copolymer* dari *methacrylate*, *fluoro-alkole*, *fluoro vinylid*, *tetrafluorethylen* (indeks mendekati 1,40). Fiber jenis ini sering dipakai.

b. Fiber dengan *core* PS (*Polystyren*)

Indeks dari bahan ini adalah 1,59. *Cladding* optik yang paling sering adalah PMMA (indeks 1,49) atau dari *poly asetat vynil* (indeks 1,47). Fiber PS dengan *core non-doping* dapat digunakan serupa dengan *core non-doping* dapat digunakan serupa dengan fiber ber-*coating* PMMA. Tetapi sifat mekaniknya berbeda. Fiber PS dengan *core* terdoping memberikan sifat lain yang sangat menarik sebagai sintilasi atau fluoresen.

c. Fiber dengan *core* PC (*Polycarbonat*)

Fiber ini dikembangkan sangat khusus untuk ketahanan terhadap temperature yang lebih baik. Tetapi fiber ini menghasilkan sifat optik yang kurang baik dari pada yang sebelumnya.

d. Fiber dengan *core* terisi *deuterium*

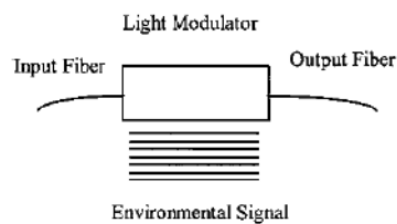
Dalam fiber yang disebut “terdeutrium” secara khusus dengan *core* PMMA, penggantian bagian atom-atom *hydrogen* dengan atom *deuterium* yang memungkinkan penggeseran jendela spektrum transparansi ke arah panjang gelombang yang lebih besar dan memperbaiki harga-harga absolut dari fiber sebelumnya. Fiber ini sangat baik, meskipun tidak sukses dalam pemasaran. Salah satu alasan, di luar hal yang penting, serapan air yang mengakibatkan degresi transparansi terutama pada daerah dekat IR. Stabilitas fiber terhadap waktu tidak terjamin lagi, PMMA sendiri juga memiliki sifat hysgroskopik.

5. Fiber Optik Plastik Sebagai Sensor

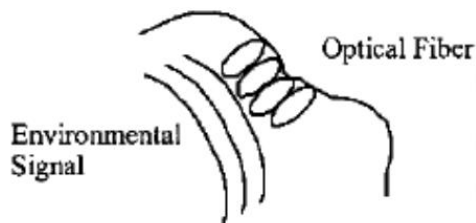
Sensor fiber optik merupakan bagian dari sensor optik (*optical sensor*) adalah sensor yang menggunakan fiber optik sebagai unsur pengindera (*sensing element*) perubahan fisis yang akan dideteksi. Di dalam sub-cabang teknologi fiber optik telah memunculkan bidang baru yang disebut “Sensor Serat Optik/SSO” (*Fiber Optic Sensor/FOS*). Pengembangan sensor fiber optik telah di mulai pada tahun 1977. Saat ini fiber optik plastik banyak digunakan sebagai bahan utama dalam pengaplikasian fiber optik di bidang telekomunikasi dan sensor. Fiber optik plastik berdiameter besar ($\approx 1-2$ mm), *bandwith* tinggi dan indeks-landai (*graded index*) dengan rugi daya rendah dapat diaplikasikan dalam bidang sensor. Bahan yang sering digunakan untuk pengembangan fiber optik plastik sebagai sensor yaitu fiber optik plastik jenis *step-index* (indeks bias teras fiber optik dengan nilai tetap) adalah *poly methyl methacrylate* (PMMA) (Yasin, 2016: 3-19).

Sensor fiber optik diklasifikasikan menjadi dua yaitu ekstrinsik dan intrinsik. Fiber optik ekstrinsik terdiri dari fiber optik yang masuk dan keluar kotak hitam (*black box*) yang memodulasi berkas cahaya yang melaluinya dan merespons efek perubahan lingkungan (Gambar

8). Fiber optik yang masuk ke kotak hitam akan mengindera informasi di dalam berkas cahaya untuk merespons efek perubahan lingkungan. Informasi tersebut dapat diindera dalam bentuk intensitas, fase, frekuensi, polarisasi dan metode lain. Kemudian fiber optik dapat menyalurkan cahaya dengan informasi yang sesuai dengan efek perubahan lingkungan dan kemudian dapat dihubungkan ke prosesor optik dalam bentuk sinyal elektronik. Fiber optik intrinsik ditunjukkan oleh Gambar 9. Ketika berkas cahaya yang merambat dalam fiber optik tersebut di modulasi oleh pengaruh lingkungan secara langsung atau melalui perubahan panjang lintasan yang terimbas oleh efek lingkungan tersebut.



Gambar 8. Sensor fiber optik ekstrinsik (Yasin, 2016: 16)

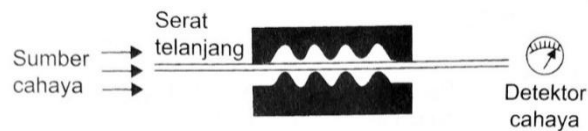


Gambar 9. Sensor fiber optik intrinsik (Yasin, 2016: 16)

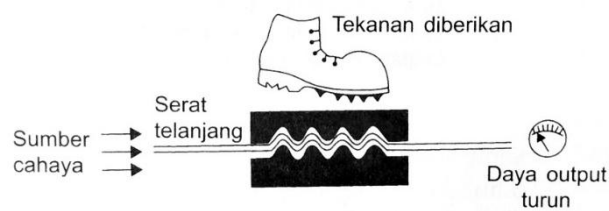
Menurut Yasin (2016: 17) Sensor fiber optik dibagi menjadi lima kategori dasar, yaitu: sensor termulasi-fase, sensor termulasi-intensitas, sensor termulasi-panjang gelombang, sensor berbasis hamburan, dan sensor berbasis polarisasi. Sensor termulasi-intensitas umumnya terkait dengan perpindahan atau beberapa gangguan fisis lainnya yang berinteraksi dengan fiber optik atau transduser mekanis yang terpasang. Metode deteksi berbasis modulasi intensitas

mempunyai beberapa keunggulan dibandingkan metode yang lain, yaitu sederhana, biaya murah dan ketelitian tinggi. Sensor fiber optik berbasis modulasi intensitas didefinisikan sebagai sensor yang mendeteksi perubahan intensitas berkas cahaya yang berkaitan dengan perubahan lingkungan. Piranti dasar sensor fiber optik terdiri dari sumber cahaya, fiber optik, dan foto-detektor. Contoh aplikasi sensor fiber optik plastik berbasis modulasi intensitas yaitu:

a. Sensor tekanan

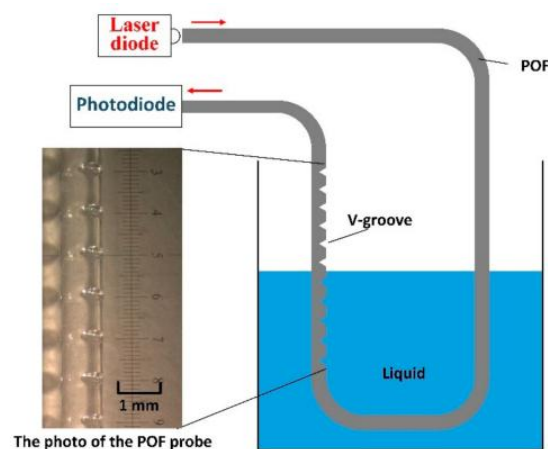


Gambar 10. Fiber optik lurus tanpa lekukan ketika tekanan tidak diberikan ke keset (Crisp & Elliot, 2006: 65)



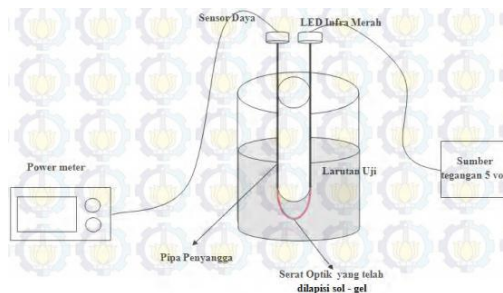
Gambar 11. Tekanan mengakibatkan rugi-rugi lekukan (Crisp & Elliot, 2006: 65)

b. Sensor tingkat cairan



Gambar 12. Desain penelitian sensor tingkat cairan (Teng, 2018: 4)

c. Sensor pH



Gambar 13. Desain penelitian sensor pH (Matiin, 2012: 14)

6. Sentivitas dan Linearitas Sensor

Sentivitas adalah perbandingan antara perubahan amplitudo sinyal keluaran atau respons instrumen terhadap perubahan amplitudo sinyal masukan (sinyal masukan/keluaran dapat berarti variabel yang diukur). Jika nilai sensitivitas tersebut konstan untuk setiap titik pengukuran, maka sensor/transduser tersebut bersifat linier (Sumarna, 2011:9).

Histerisis menunjuk kepada perbedaan antara dua harga keluaran pada masukan yang sama oleh karena arah perubahan (naik atau turun) nilai masukan yang berturutan. Jadi histerisis merupakan sifat ketergantungan keluaran sensor/transduser berdasarkan sejarah perubahan yang mendahuluinya (Sumarna, 2011:9).

B. Kerangka Berpikir

Penelitian ini untuk mencari pengaruh perubahan konsentrasi larutan kesadahan ($CaCO_3$) dan jumlah lekukan terhadap keluaran daya optik yang diterima oleh OPM. Sebagaimana kita ketahui bahwa fiber optik selain banyak digunakan dalam bidang komunikasi juga dapat digunakan sebagai sensor besaran fisis. Sumber cahaya yang digunakan adalah Laser *He-Ne* yang dilewatkan pada fiber optik plastik tipe SH 4001-1.3. Prinsip kerja sensor fiber plastik ini menggunakan prinsip pembiasan dan pemantulan yang berhubungan dengan konsentrasi larutan.

Pada penelitian ini, perubahan konsentrasi larutan berpengaruh terhadap indeks bias larutan tersebut. Fiber optik plastik dibentuk *macro bend*. Kemudian fiber optik plastik berbentuk *macro bend* dimasukan ke dalam gelas *beaker* yang sudah terisi larutan. Akibat pembengkokan tersebut, maka akan mengakibatkan turunnya intensitas cahaya di ujung *output* fiber optik plastik. Larutan dengan indeks bias (n) akan berfungsi untuk membiaskan dan memantulkan cahaya yang keluar dari fiber optik plastik. Dari hasil penelitian ini, diharapkan dapat diketahui pengaruh konsentrasi larutan $CaCO_3$ dan jumlah lekukan terhadap keluaran daya optik yang diterima oleh OPM. Perlakuan lekukkan pada fiber optik tersebut dapat memanfaatkan atenuasi yang terjadi di dalam fiber optik dan memanfaatkan cahaya yang lolos dari fiber optik. Pelemahan intensitas cahaya yang terjadi pada penelitian ini, diharapkan dapat dikembangkan sebagai sensor kesadahan air ($CaCO_3$).

BAB III

METODE PENELITIAN

A. Tempat dan Waktu Penelitian

1. Tempat Penelitian

Penelitian dilakukan di Laboratorium Spektroskopi, Jurusan Pendidikan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Yogyakarta.

2. Waktu Penelitian

Penelitian dilakukan pada bulan Oktober 2019 sampai Januari 2020.

B. Variabel Penelitian

1. Variabel bebas : Perubahahan konsentrasi larutan $CaCO_3$ dan jumlah lekukan.
2. Variabel terikat : Daya optik yang diterima oleh *Optical Power Meter* (OPM).
3. Variabel kontrol : Daya laser Helium-Neon, panjang kabel fiber optik plastik, volume air dan cahaya ruang.

C. Alat dan Bahan Penelitian

1. Alat :
 - a. Laser Helium-Neon sebagai sumber cahaya masukan fiber optik plastik dengan daya keluaran 5 mW dan $\lambda = 632,8$ nm.
 - b. OPM sebagai alat pengukur daya optik. Daya optik yang diukur memiliki $\lambda = 660$ nm dengan satuan desibel (dBm).
 - c. Timbangan digital untuk menimbang massa $CaCO_3$.
 - d. Labu *Erlenmeyer* untuk mencampur dan mengukur larutan.
 - e. Gelas *Beaker* 1000 ml dan 2000 ml sebagai wadah larutan.
 - f. Penggaris untuk mengukur panjang fiber optik plastik.
 - g. Tang fiber optik.

- h. Pengaduk untuk mengaduk larutan.
 - i. Penyangga untuk media bantu tempat meletakkan OPM.
 - j. Plastisin untuk penutup laser *He-Ne*.
 - k. Pipet untuk memindahkan larutan.
 - l. Botol pot untuk wadah sampel $CaCO_3$.
 - m. Sendok untuk mengambil sampel $CaCO_3$.
 - n. Lakban hitam untuk menempelkan fiber optik plastik pada gelas *beaker*.
 - o. *Styrofoam Box*
 - p. *Cutter*
 - q. Gunting
 - r. Tang
 - s. Mikroskop Nikon SMZ1500
 - t. Komputer
2. Bahan :
- a. Kalsium Karbonat ($CaCO_3$).
 - b. Kabel fiber optik plastik tipe SH-4001-1-3.
 - c. Aquades.

D. Desain Penelitian

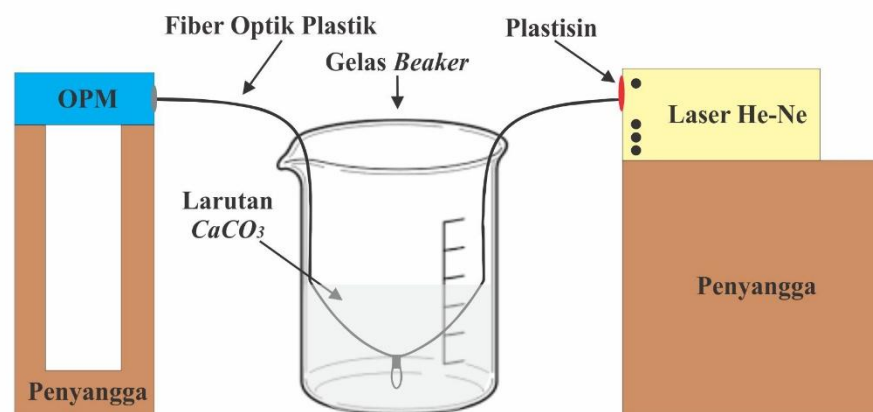
Berdasarkan variabel penelitian yang disajikan dalam penelitian ini, maka desain penelitiannya adalah sebagai berikut:

Tabel 3.
Desain Penelitian

Konsentrasi $CaCO_3$ Jumlah Lekukan	$\frac{0}{500}$	$\frac{50}{500}$	$\frac{100}{500}$	$\frac{150}{500}$	$\frac{200}{500}$	$\frac{250}{500}$	$\frac{300}{500}$	$\frac{350}{500}$	$\frac{400}{500}$	$\frac{450}{500}$	$\frac{500}{500}$
1 buah lekukan											
2 buah lekukan											
3 buah lekukan											

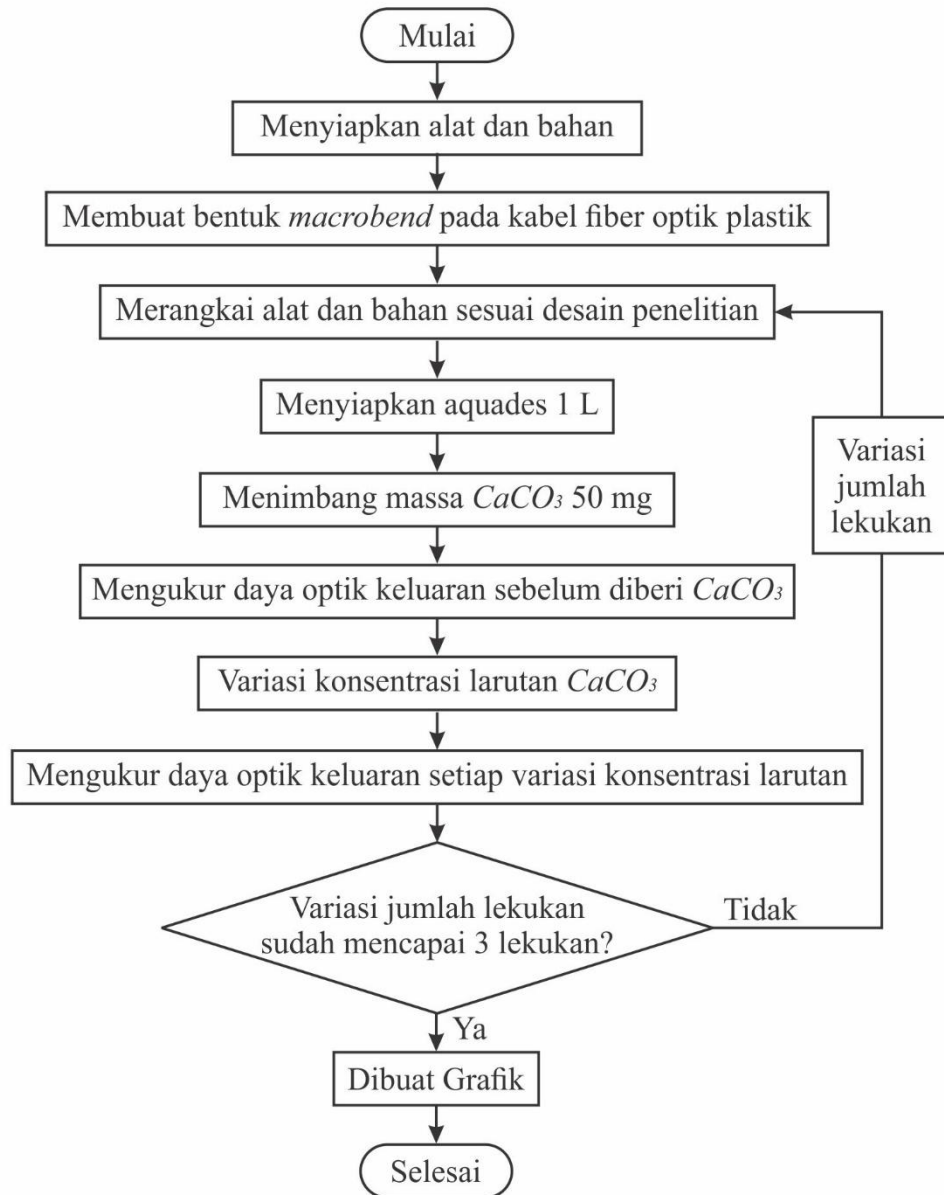
Berdasarkan desain penelitian tersebut maka memerlukan 33 sampel penelitian.

1. Skema Alat



Gambar 14. Skema Alat

2. Flow chart



3. Spesifikasi variasi fiber optik plastik

Tabel 4.
Spesifikasi variasi fiber optik plastik

Variasi	Jumlah Lekukan	Panjang Kupasan	Panjang Fiber Optik
Ke- 1	1	4 cm	90 cm
Ke- 2	2		
Ke- 3	3		

E. Prosedur Penelitian

1. Menyiapkan alat dan bahan sesuai desain penelitian.
2. Membuat bentuk *macrobend* pada kabel fiber optik plastik sesuai dengan spesifikasi pada Tabel 3 yaitu:
 - a. Memotong kabel fiber optik plastik sepanjang 90 cm sebanyak 3 buah.
 - b. Mengelupas jaket pelindung kaber fiber optik plastik dengan panjang 4 cm.
 - c. Melekukan kabel fiber optik plastik.
3. Memasang alat dan bahan sesuai desain penelitian.
4. Mengisi gelas *Beaker* dengan aquades 1 L.
5. Menimbang massa $CaCO_3$ 50 mg sejumlah 10 buah.
6. Menyalakan laser Helium-Neon dan menunggu hingga stabil.
7. Mengukur daya optik keluaran yang diterima OPM sebelum diberi $CaCO_3$.
8. Memasukkan $CaCO_3$ 50 mg kedalam aquades 1 L.
9. Mengaduk larutan yang ada di dalam gelas *Beaker*.
10. Mengukur daya optik keluaran yang diterima OPM setelah menambahkan $CaCO_3$.
11. Mengulangi langkah 8 sampai langkah 13 sejumlah 9 kali. Sehingga, total $CaCO_3$ yang dimasukkan kedalam larutan 500 mg.

12. Mengulangi langkah 3 sampai langkah 13 untuk variasi jumlah lekukan pada fiber optik plastik..

F. Teknik Analisis Data

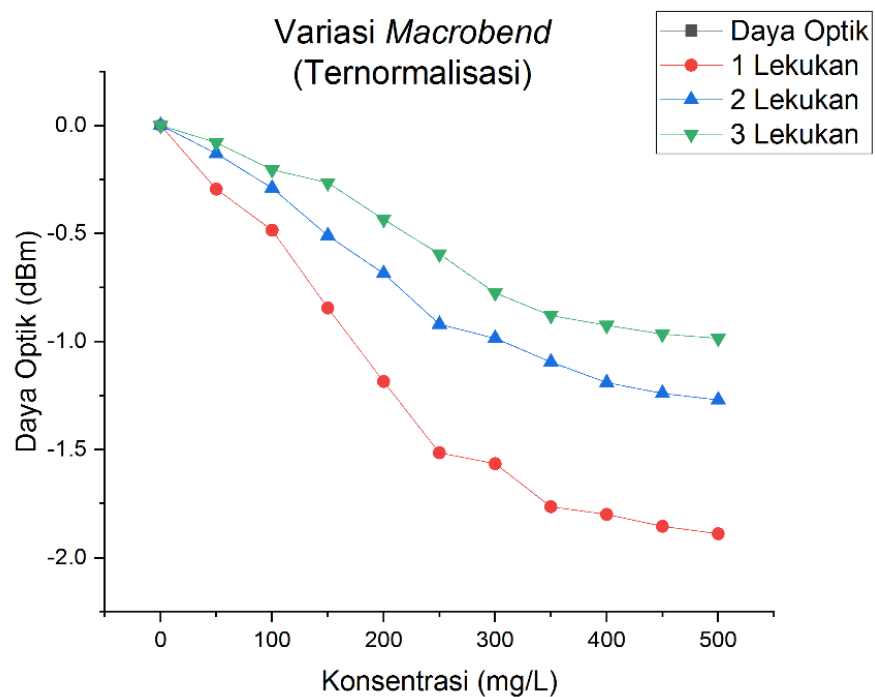
1. OPM mendeteksi keluaran daya optik.
2. Jika konsentrasi larutan berubah maka daya optik berubah.
3. Fitting linear data menggunakan *Origin Pro 2019b*.
4. Membuat grafik hubungan antara konsentrasi larutan (mg/L) dan daya optik keluaran (dBm) menggunakan *Origin Pro 2019b*.
5. Menghitung nilai sensitivitas dan linearitas untuk setiap perlakuan fiber optik plastik.

BAB IV

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Penelitian telah dilaksanakan di Laboratorium Spektroskopi Jurusan Pendidikan Fisika FMIPA UNY. Dalam penelitian ini cahaya laser *He-Ne* ditransmisikan oleh fiber optik plastik tipe SH-400101.3. Hasil yang diperoleh berupa daya optik yang dinyatakan dalam desible (dBm). Daya keluaran optik dideteksi dengan menggunakan *Optical Power Meter* (OPM). Hasil penelitian diuraikan di bawah ini:

A. Pengaruh Konsentrasi Larutan CaCO_3 dan Jumlah Lekukan Terhadap Keluaran Daya Optik



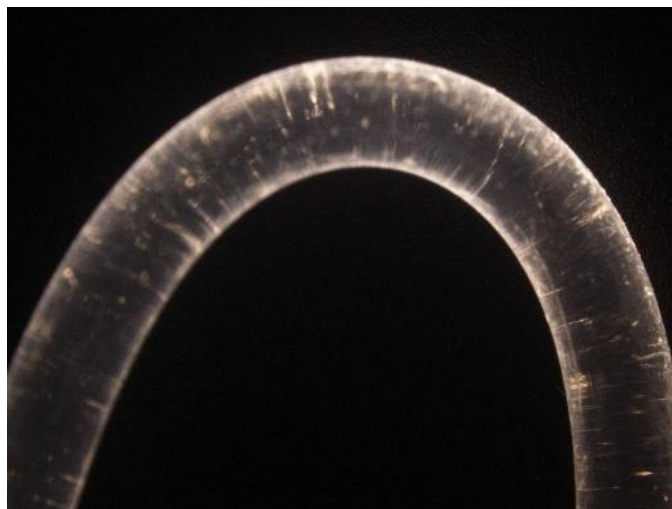
Gambar 15. Grafik hubungan antara konsentrasi larutan dengan keluaran daya optik ternormalisasi pada variasi jumlah lekukan

Dari Gambar 15. menunjukkan grafik hubungan antara konsentrasi larutan dengan keluaran daya optik. Pada fiber optik plastik, perubahan konsentrasi di dalam larutan dapat mempengaruhi keluaran daya optik. Hal ini disebabkan karena adanya perbedaan pemantulan pada bahan pelapis fiber optik plastik. Semakin besar konsentrasi larutan, maka atenuasi di dalam fiber optik plastik semakin besar.

Pada variasi 1 lekukan, daya optik yang terukur adalah -1.89 dBm. Pada variasi 2 lekukan, daya optik yang terukur adalah -1.27 dBm. Pada variasi 3 lekukan, daya optik yang terukur adalah -0.985 dBm. Semakin banyak jumlah lekukan maka sistem sensor fiber optik plastik akan mengalami banyak kehilangan rugi daya. Sehingga, daya optik yang terukur oleh OPM semakin berkurang.



Gambar 16. Struktur fiber optik plastik sebelum dilekukan

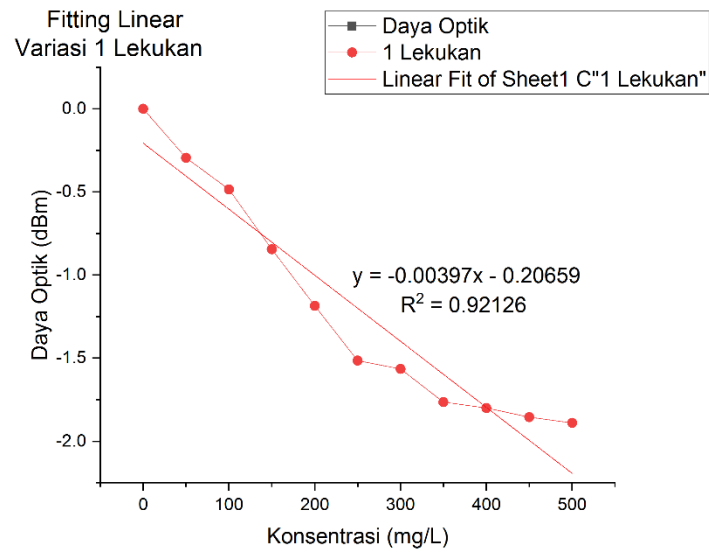


Gambar 17. Struktur fiber optik plastik setelah dilekukan

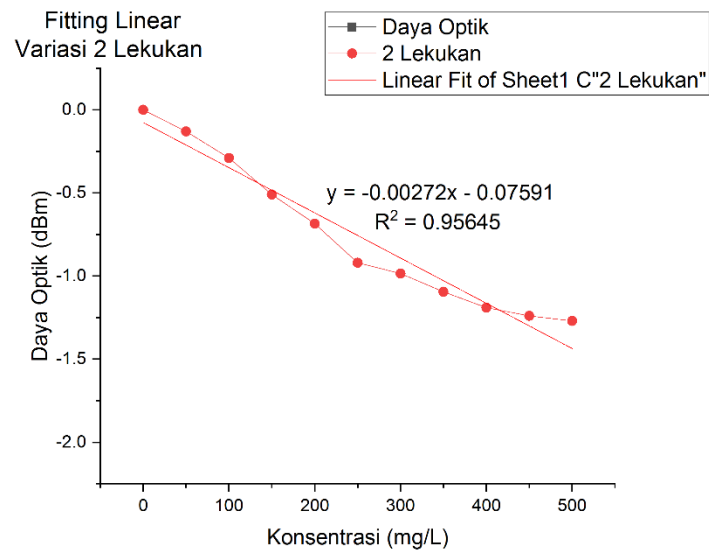
Untuk mengetahui lebih detail struktur fiber optik plastik yang lurus dan sudah dilekukan dilihat menggunakan mikroskop Nikon SMZ1500 yang sudah terhubung dengan komputer. Gambar 16 menunjukkan adanya cacat dan kotoran dalam serat. Kotoran dan cacat tersebut dapat menyebabkan atenuasi di dalam fiber optik plastik. Atenuasi terjadi ketika ada penyerapan cahaya yang merambat ke fiber optik plastik. Penyerapan cahaya tersebut disebabkan oleh ketidaksempurnaan dalam struktur fiber optik plastik berupa cacat oksigen atau difusi molekul hidrogen ke dalam fiber optik plastik. Gambar 17 menunjukkan dengan jelas adanya kerusakan struktur fiber optik plastik berupa garis dan titik. Pada lekukan fiber optik plastik dapat dilihat cahaya cenderung keluar dari fiber optik plastik. Sehingga dapat dikatakan bahwa ada kerugian total pantulan internal cahaya di daerah lekukan karena kelengkungan tikungan menciptakan sudut yang sangat tajam agar cahaya dipantulkan kembali ke inti dan sebagiannya lolos melalui lapisan *cladding*.

B. Sensitivitas dan Linearitas Sistem Sensor Fiber Optik Plastik Pada Berbagai Lekukan dan Konsentrasi Larutan $CaCO_3$.

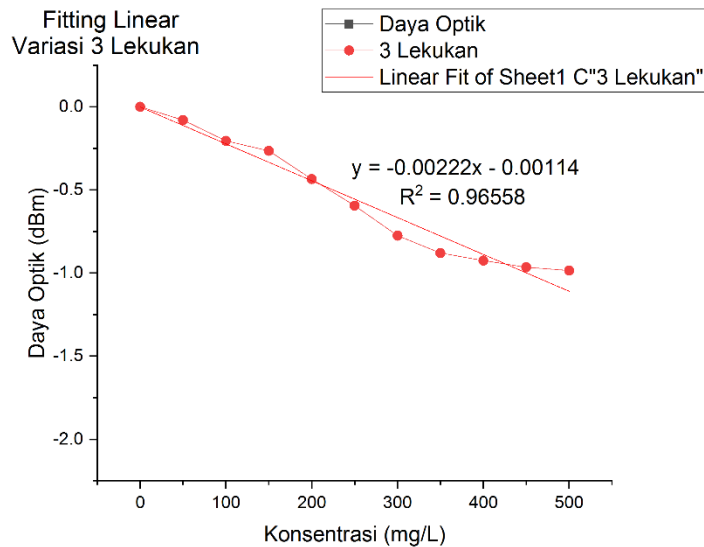
Untuk mengetahui sensitivitas dan linearitas sensor fiber optik plastik dilakukan fitting linear menggunakan software *Origin Pro 2019b*. Fitting linear berfungsi untuk mengetahui tingkat linearitas hubungan antara perubahan konsentrasi larutan terhadap keluaran daya optik pada fiber optik plastik. Grafik hasil fitting linear ditunjukkan oleh gambar di bawah ini:



Gambar 18. Grafik hasil fitting linear pada variasi 1 lekukan



Gambar 19. Grafik hasil fitting linear pada variasi 2 lekukan



Gambar 20. Grafik hasil fitting linear pada variasi 3 lekukan

Data hasil fitting linear disajikan dalam tabel di bawah ini:

Tabel 5.
Sensitivitas dan linearitas sensor fiber optik plastik

Variasi	Sensitivitas	Linearitas
1 Lekukan	-0.00397	0.92126
2 Lekukan	-0.00272	0.95645
3 Lekukan	-0.00222	0.96558

Sensitivitas sensor fiber optik plastik merupakan perubahan pada keluaran daya optik untuk setiap perubahan masukan daya optik terkecil. Sensitivitas akan menunjukkan seberapa jauh kepekaan sensor terhadap kuantitas yang diukur. Untuk persamaan linear, penentuan sensitivitas merupakan kemiringan grafik atau gradien ($\frac{\Delta y}{\Delta x}$). Sensitivitas terbaik pada variasi 1 lekukan dengan nilai -0.00397.

Uji linearitas sensor fiber optik plastik bertujuan untuk mengetahui apakah dua variable mempunyai hubungan linear atau tidak. Linearitas terbaik bernilai 1 artinya titik data berimpit dengan garis lurus. Variasi 3 lekukan merupakan variasi terbaik karena nilai 0.96558 mendekati nilai 1.

BAB V

SIMPULAN DAN SARAN

A. Simpulan

1. Perubahan konsentrasi di dalam larutan dapat mempengaruhi keluaran daya optik. Semakin besar konsentrasi larutan, maka atenuasi di dalam fiber optik plastik semakin besar. Lekukan fiber optik plastik berbentuk *macro bend* dapat mengurangi keluaran daya optik. Semakin banyak jumlah lekukan maka sistem sensor fiber optik plastik akan mengalami banyak kehilangan rugi daya.
2. Sensitivitas terbaik pada variasi 1 lekukan dengan nilai -0.00397 dan linearitas terbaik pada variasi 3 lekukan dengan nilai 0.96558.

B. Saran

1. Pengelupasan *coating* fiber optik plastik dilakukan dengan hati-hati supaya tidak merusak bagian *cladding* dan *core* fiber optik plastik.
2. Hati-hati saat meleakukan fiber optik plastik. Karena, fiber optik plastik mudah patah.
3. Hati-hati dalam melakukan pengambilan data supaya tidak merubah posisi alat sistem sensor fiber optik plastik.
4. Gelas *beaker* ditutup dengan *Styrofoam box* supaya cahaya di dalam sistem tetap stabil dan tidak terpengaruh oleh cahaya sekitar.
5. Ketika sensor sudah dikarakterisasi maka dilakukan uji coba pengukuran pada sampel air sadah.

DAFTAR PUSTAKA

- Bahanan, R. (2010). *Pengaruh Waktu Sonokimia Terhadap Ukuran Kristal Kalsium Karbonat (CaCO_3)*. Skripsi, diterbitkan, Universitas Islam Negeri Syarif Hidayatullah, Jakarta.
- CMM. (11 Juni 2019). Sending Information by Light Beams. Diambil pada tanggal 6 Januari 2020, dari http://www.cmm.gov.mo/eng/exhibition/secondfloor/MoreInfo/2_8_1_Light Beams.html.
- Crisp, J., & Elliott, B. (2006). *Serat Optik: Sebuah Pengantar*. (Terjemahan Soni Astranto). Jakarta: Erlangga. (Edisi asli diterbitkan tahun 2005 oleh Elsevier Ltd. England).
- Curran, M., & Shirk, B. (29 Oktober 2012). Basics Of Fiber Optics. Diambil pada tanggal 7 Januari 2020, dari <http://www.fibersystems.com/pdf/whitepapers/Basics-of-Fiber-Optics.pdf>.
- IBA. (2020). Calcium Carbonate. Diambil pada tanggal 16 Maret 2020, dari <https://www.iba.co.id/produk/calcium-carbonate/>.
- Kemenkes. (2017). *Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 32 Tahun 2017 tentang Standar Baku Mutu Kesehatan Lingkungan dan Persyaratan Kesehatan Air untuk Keperluan Higiene Sanitasi, Kolam Renang, Solus Per Aqua, dan Pemandian Umum*.
- Khambali, I. dan Endarko. (2014). *Rancang Bangun Sensor Polimer Serat Optik untuk Pendeteksi Konsentrasi Ion Ca^{+} dalam air*. Jurnal Materi dan Pembelajaran Fisika. Volume 4 Nomor 2. Hlm. 32-37.
- Kuswanto, H. (Oktober 2004). *Bahan, Karakteristik, dan Fabrikasi Fiber Optik: Pengantar*. Makalah ini disajikan dalam Seminar Nasional Fisika, di Universitas Negeri Yogyakarta.
- LPPM IPB. (19 Januari 2010). Berapa Banyak Kandungan Air di Bumi?. Diambil pada tanggal 6 Januari 2020, dari <http://lppm.ipb.ac.id/berapa-banyak-kandungan-air-di-bumi/>.

- Matiin, N. (29 November 2012). Pengembangan Sensor pH Menggunakan Serat Optik Plastik dengan *Cladding Silica Sol-Gel*. Diambil pada tanggal 7 Januari 2020, dari <http://digilib.its.ac.id/public/ITS-paper-22406-2408100071-Presentation.pdf>.
- Puskesmas Wonosari I. (23 Maret 2018). Teknologi Tepat Guna (TTG) Pengolahan Air Sadah menggunakan ARUNDA (Alat Penurun Kesadahan). Diambil pada tanggal 6 Januari 2020, dari <http://wonosari1.puskesmas.gunungkidulkab.go.id/teknologi-tepat-guna-ttg-pengolahan-air-sadah-menggunakan-arunda-alat-penurun-kesadahan-di-dusun-siraman-i-siraman-wonosari-kabupaten-gunung-kidul-tahun-2017/>.
- Said, N.I. (2008). *TEKNOLOGI PENGOLAHAN AIR MINUM “Teori dan Pengalaman Praktis”*. Jakarta: Pusat Teknologi Lingkungan BPPT.
- Sumarna, Agustika, D.K., Purwanto, A., et al. (2018). Penyuluhan Alat Deteksi Kesadahan Dalam Air Berbasis Light Dependent Resistor Di Kelurahan Giritontro, Kecamatan Giritontro, Kabupaten Wonogiri. *Journal Pengabdian Masyarakat MIPA dan Pendidikan MIPA*, 2(2), 95-99.
- Sumarna (Desember 2011). *Alat Ukur Besaran Fisis Laboratorium Fisika*. Makalah disajikan dalam Pendidikan dan Pelatihan Manajemen Pengelolaan Laboratorium IPA SMP/MTs Bagi Pengelola Laboratorium (Kepala/ Laboran/ Teknisi).
- Teng, C., Liu, H., Deng, S., et al. (2018). Liquid Level Sensor Based on a V-Groove Structure Plastic Optical Fiber. *Journal of Sensors*, 18, 3111.
- Yasin, M. (Desember 2016). *Pengembangan Teknologi Sensor Serat Optik Untuk Menuju Kemajuan Bangsa*. Pidato ini disajikan dalam Pengukuhan Jabatan Guru Besar dalam Bidang Ilmu Fisika Optik, di Universitas Airlangga Surabaya.

LAMPIRAN-LAMPIRAN

Lampiran 1. Data Hasil Penelitian

1 Lekukan					
Konsentrasi (mg/L)	Data Percobaan		Normalisasi		
	P. 1 (dBm)	P. 2 (dBm)	P. 1 (dBm)	P. 2 (dBm)	Rata-rata (dBm)
0	-35.9	-34.63	0	0	0
50	-36.28	-34.84	-0.38	-0.21	-0.295
100	-36.36	-35.14	-0.46	-0.51	-0.485
150	-36.62	-35.6	-0.72	-0.97	-0.845
200	-36.95	-35.95	-1.05	-1.32	-1.185
250	-37.33	-36.23	-1.43	-1.6	-1.515
300	-37.38	-36.28	-1.48	-1.65	-1.565
350	-37.65	-36.41	-1.75	-1.78	-1.765
400	-37.66	-36.47	-1.76	-1.84	-1.8
450	-37.69	-36.55	-1.79	-1.92	-1.855
500	-37.72	-36.59	-1.82	-1.96	-1.89

2 Lekukan					
Konsentrasi (mg/L)	Data Percobaan		Normalisasi		
	P. 1 (dBm)	P. 2 (dBm)	P. 1 (dBm)	P. 2 (dBm)	Rata-rata (dBm)
0	-41.62	-40.87	0	0	0
50	-41.74	-41.01	-0.12	-0.14	-0.13
100	-41.81	-41.26	-0.19	-0.39	-0.29
150	-42.18	-41.33	-0.56	-0.46	-0.51
200	-42.24	-41.62	-0.62	-0.75	-0.685
250	-42.44	-41.89	-0.82	-1.02	-0.92
300	-42.52	-41.94	-0.9	-1.07	-0.985
350	-42.56	-42.12	-0.94	-1.25	-1.095
400	-42.67	-42.2	-1.05	-1.33	-1.19
450	-42.74	-42.23	-1.12	-1.36	-1.24
500	-42.78	-42.25	-1.16	-1.38	-1.27

3 Lentukan					
Konsentrasi (mg/L)	Data Percobaan		Normalisasi		
	P. 1 (dBm)	P. 2 (dBm)	P. 1 (dBm)	P. 2 (dBm)	Rata-rata (dBm)
0	-46.76	-48.35	0	0	0
50	-46.87	-48.4	-0.11	-0.05	-0.08
100	-47.04	-48.48	-0.28	-0.13	-0.205
150	-47.1	-48.54	-0.34	-0.19	-0.265
200	-47.35	-48.63	-0.59	-0.28	-0.435
250	-47.39	-48.91	-0.63	-0.56	-0.595
300	-47.6	-49.06	-0.84	-0.71	-0.775
350	-47.67	-49.2	-0.91	-0.85	-0.88
400	-47.74	-49.22	-0.98	-0.87	-0.925
450	-47.75	-49.29	-0.99	-0.94	-0.965
500	-47.78	-49.3	-1.02	-0.95	-0.985

Lampiran 2. Data Hasil Fitting Penelitian Menggunakan *Origin Pro 2019b*

Parameters

		Value	Standard Error	t-Value	Prob> t
1 Lekukan	Intercept	-0.20659	0.11454	-1.80362	0.10479
	Slope	-0.00397	3.87225E-4	-10.26184	2.88442E-6

Slope is significantly different from zero (See ANOVA Table).
Standard Error was scaled with square root of reduced Chi-Sqr.

Statistics

	1 Lekukan
Number of Points	11
Degrees of Freedom	9
Residual Sum of Squares	0.37111
Pearson's r	-0.95982
R-Square (COD)	0.92126
Adj. R-Square	0.91251

Summary

	Intercept		Slope		Statistics
	Value	Standard Error	Value	Standard Error	Adj. R-Square
1 Lekukan	-0.20659	0.11454	-0.00397	3.87225E-4	0.91251

ANOVA

		DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Prob>F
1 Lekukan	Model	1	4.34219	4.34219	105.30527	2.88442E-6
	Error	9	0.37111	0.04123		
	Total	10	4.7133			

At the 0.05 level, the slope is significantly different from zero.

Parameters

		Value	Standard Error	t-Value	Prob> t
2 Lekukan	Intercept	-0.07591	0.05723	-1.32648	0.21735
	Slope	-0.00272	1.9346E-4	-14.05978	1.97669E-7

Slope is significantly different from zero (See ANOVA Table).
Standard Error was scaled with square root of reduced Chi-Sqr.

Statistics

	2 Lekukan
Number of Points	11
Degrees of Freedom	9
Residual Sum of Squares	0.09263
Pearson's r	-0.97798
R-Square (COD)	0.95645
Adj. R-Square	0.95162

Summary

	Intercept		Slope		Statistics
	Value	Standard Error	Value	Standard Error	Adj. R-Square
2 Lekukan	-0.07591	0.05723	-0.00272	1.9346E-4	0.95162

ANOVA

		DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Prob>F
2 Lekukan	Model	1	2.03456	2.03456	197.67743	1.97669E-7
	Error	9	0.09263	0.01029		
	Total	10	2.12719			

At the 0.05 level, the slope is significantly different from zero.

Parameters

		Value	Standard Error	t-Value	Prob> t
3 Lekukan	Intercept	-0.00114	0.04128	-0.02753	0.97864
	Slope	-0.00222	1.39538E-4	-15.89005	6.8313E-8

Slope is significantly different from zero (See ANOVA Table).

Standard Error was scaled with square root of reduced Chi-Sqr.

Statistics

	3 Lekukan
Number of Points	11
Degrees of Freedom	9
Residual Sum of Squares	0.04819
Pearson's r	-0.98264
R-Square (COD)	0.96558
Adj. R-Square	0.96176

Summary

	Intercept		Slope		Statistics
	Value	Standard Error	Value	Standard Error	Adj. R-Square
3 Lekukan	-0.00114	0.04128	-0.00222	1.39538E-4	0.96176

ANOVA

		DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Prob>F
3 Lekukan	Model	1	1.35198	1.35198	252.49359	6.8313E-8
	Error	9	0.04819	0.00535		
	Total	10	1.40017			

At the 0.05 level, the slope is significantly different from zero.

Equation	$y = a + b \cdot x$
Plot	1 Lekukan
Weight	No Weighting
Intercept	-0.20859 ± 0.11454
Slope	$-0.00397 \pm 3.87225E-4$
Residual Sum of Squares	0.37111
Pearson's r	-0.95982
R-Square (COD)	0.92126
Adj. R-Square	0.91251

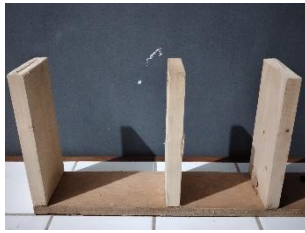
Equation	$y = a + b \cdot x$
Plot	2 Lekukan
Weight	No Weighting
Intercept	-0.07591 ± 0.05723
Slope	$-0.00272 \pm 1.9346E-4$
Residual Sum of Squares	0.09263
Pearson's r	-0.97798
R-Square (COD)	0.95645
Adj. R-Square	0.95162

Equation	$y = a + b \cdot x$
Plot	3 Lekukan
Weight	No Weighting
Intercept	-0.00114 ± 0.04128
Slope	$-0.00222 \pm 1.39538E-4$
Residual Sum of Squares	0.04819
Pearson's r	-0.98264
R-Square (COD)	0.96558
Adj. R-Square	0.96176

Lampiran 3. Alat dan Bahan



Gelas *Beaker*



Penyangga



Styrofoam Box



Labu *Erlenmeyer*



Cutter



Gunting



Tang Pemotong



Tang Fiber Optik



Penggaris



Pipet



Sendok



Plastisin



OPM



Botol pot



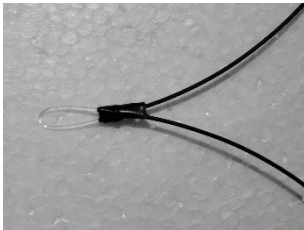
Lakban



Timbangan digital



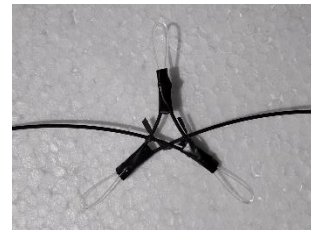
Laser Helium-Neon



Fiber Optik 1 Lekukan



Fiber Optik 2 Lekukan



Fiber Optik 3 Lekukan



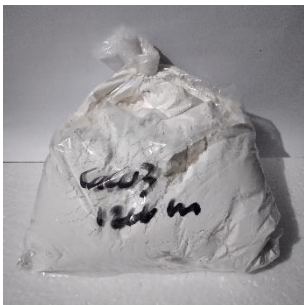
Fiber Optik 1 Lekukan



Fiber Optik 2 Lekukan



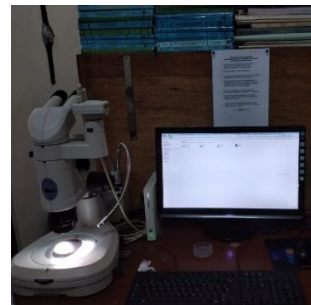
Fiber Optik 3 Lekukan



CaCO_3



Aquades



Mikroskop Digital

Lampiran 4. Dokumentasi Penelitian

