

**PENGARUH FORMASI KELENGKUNGAN *POLYMER OPTICAL FIBER*  
(POF) YANG DISISIPI GEL TERHADAP KELUARAN UNTUK  
MENGUKUR KETINGGIAN CAIRAN  
SKRIPSI**

Diajukan Kepada Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam  
Universitas Negeri Yogyakarta untuk Memenuhi sebagian  
Persyaratan Guna Memperoleh Gelar Sarjana S-1 Sains



Oleh:

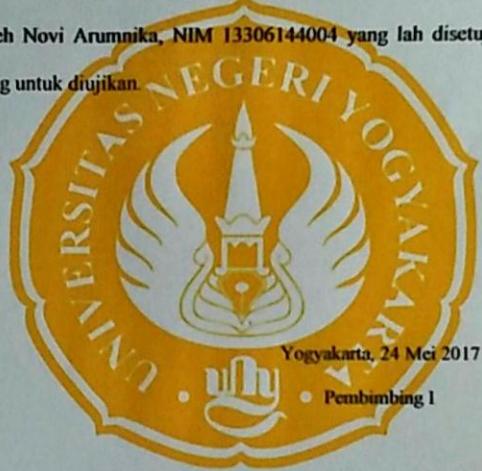
**Novi Arumnika**

**13306144004**

**PROGRAM STUDI FISIKA  
JURUSAN PENDIDIKAN FISIKA  
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
UNIVERSITAS NEGERI YOGYAKARTA  
2017**

**PERSETUJUAN**

Skripsi yang berjudul "PENGARUH FORMASI KELENGKUNGAN POLYMER OPTICAL FIBER (POF) YANG DISISIPI GEL TERHADAP KELUARAN UNTUK MENGIKUR KETINGGIAN CAIRAN" yang disusun oleh Novi Arumnika, NIM 13306144004 yanglah disetujui oleh pembimbing untuk diujikan.



A handwritten signature in black ink, appearing to read "Heru Kuswanto".

Dr. Heru Kuswanto

NIP 19611112 198702 1 001

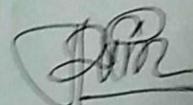
**SURAT PERNYATAAN**

Yang bertandatangan di bawah ini :

Nama : Novi Arumnika  
NIM : 1330614404  
Jurusan : Pendidikan Fisika  
Program Studi : Fisika  
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam  
Judul Skripsi : Pengaruh Formasi Kelengkungan *Polymer Optical Fiber (POF)* yang Disisipi Gel Terhadap Keluaran untuk Mengukur Ketinggian Cairan

Menyatakan bahwa karya ilmiah ini adalah hasil karya saya sendiri dan sepanjang pengetahuan saya tidak berisi materi yang dipublikasikan atau ditulis orang lain sebagai persyaratan menyelesaikan studi di perguruan tinggi lain kecuali pada bagian-bagian tertentu yang saya ambil sebagai acuan atau kutipan dengan mengikuti tata penulisan karya ilmiah yang telah lazim. Apabila terbukti pernyataan ini tidak benar, sepenuhnya menjadi tanggung jawab saya.

Yogyakarta, 29 Mei 2017  
Yang menyatakan,



Novi Arumnika  
1330614404

**PENGESAHAN**

Skripsi yang berjudul " Pengaruh Formasi Kelengkungan *Polymer Optical Fiber* (POF) yang Disisipi Gel Terhadap Keluaran untuk Mengukur Ketinggian Cairan" yang disusun oleh Novi Arumnika, NIM 13306144004 ini telah dipertahankan di depan Dewan Penguji pada tanggal 6 Juni 2017 dan telah dinyatakan lulus.



## **MOTTO**

“ Impian yang menjadi nyata itu ada disetiap senyuman dan binar yang kau tinggalkan di bola mata mereka. Bukan pada masa depan, yang dirimu sendiripun masih butuh tangan takdir untuk meraihnya. Lukislah pelangi itu sebelum kanvas usia mereka habis dilukis senja”

Firman Nofeki Pelangi-pelangi Mimpi

“ Hendaknya kamu semua mengusahakan ilmu pengetahuan itu sebelum dilenyapkan. Lenyapnya ilmu pengetahuan ialah dengan matinya orang-orang yang memeberikan atau mengajarkannya. Seorang itu tidaklah dilahirkan langsung pandai, jadi ilmu pengetahuan itu pastilah harus dengan belajar “

Ibnu Mas'ud r.a

“ Apa gunanya ilmu tanpa mengamalkannya, berbagilah walau hanya sejung jarimu “

## **PERSEMBAHAN**

Segala puji bagi Allah SWT yang atas izin-Nya lah sehingga karya tulis ini dapat selesai. Bukan sebuah karya tulis yang sempurna, hanya karya tulis sederhana yang dengan tulus saya persembahkan kepada :

1. Alm. Bapak yang selalu dirindukan dan ibu tersayang yang tak pernah lupa menyisipkan nama anaknya dalam doanya serta terima kasih atas *support* yang selalu diberikan. Kakak-kakak yang selalu mendukung apa yang Novi pilih dan Mas Vrison yang selalu menemani dan memberikan nasehat, terimakasih atas doa dan *support* selama ini.
2. Dosen Pembimbing, Bapak Dr. Heru Kuswanto yang telah meluangkan waktunya untuk membimbing dan memberikan masukan-masukan kepada saya sehingga skripsi ini dapat terselesaikan.
3. Sahabat-sahabat saya El, Lilis, Uma, Niken, Nisa dan Rofi' yang telah mengajari saya banyak hal.
4. Teman seperjuangan Handy, Dila, Nura, Dea dan Fitri yang saling membantu dan berdiskusi berbagai hal tentang skripsi. Terimakasih
5. Teman-teman Fisika E 2013, terima kasih telah menjadi keluarga kedua di jogja selama 4 tahun ini

**PENGARUH FORMASI KELENGKUNGAN *POLYMER OPTICAL FIBER*  
(POF) YANG DISISIPI GEL TERHADAP KELUARAN UNTUK  
MENGUKUR KETINGGIAN CAIRAN**

**Oleh**

**Novi Arumnika**

**13306144004**

**Abstrak**

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh formasi fiber optik dan ketinggian cairan terhadap keluaran daya optik dan mengetahui sensitivitas serta linearitas terbaik pada sensor ketinggian air yang berbentuk sinusoida.

Pada penelitian ini menggunakan sensor ketinggian air dengan fiber optik yang berbentuk sinusoida yang disisipi gel. Fiber optik yang digunakan adalah *Polymer Optical Fiber* (POF) tipe SH-4001-1.3. Variasi formasi fiber optik ditentukan panjang lintasan, panjang pengelupasan, lebar kelengkungan, tinggi kelengkungan dan bentuk gelombang. Ada 4 formasi, yaitu Formasi A (20 cm, 34 cm, 6 cm, 2 cm, 1 gelombang), Formasi B (20 cm, 34 cm, 8 cm, 2 cm, 1 gelombang ), Formasi C (20 cm, 34 cm, 9 cm, 2 cm,  $\frac{1}{2}$  gelombang) dan Formasi D (20 cm, 34 cm, 10 cm, 2 cm,  $\frac{1}{2}$  gelombang). Sumber cahaya yang digunakan adalah cahaya laser He-Ne dengan daya sebesar 5 mW dan panjang gelombang sebesar 632,8 nm. Laser He-Ne memancarkan cahaya melalui *Polymer Optical Fiber* yang kemudian diterima oleh Optical Power Meter (OPM). Untuk mempermudah melihat data kenaikan pada grafik maka dilakukan perhitungan luas daerah di bawah kurva.

Lebar kelengkungan pada POF dapat mempengaruhi *output* POF. Nilai intensitas cahaya keluaran fiber optik yang berbentuk sinusoida pada setiap lebar kelengkungannya semakin kecil saat diberikan tambahan ketinggian air sehingga membentuk grafik linear. Nilai sensitivitas terbaik berada pada Formasi A dengan lebar kelengkungan 6 cm dan linearitas terbaik berada pada Formasi C dengan lebar kengkungan 9 cm.

Kata kunci : *Polymer Optical Fiber* (POF), ketinggian cairan, lebar kelengkungan

**The Effect of POF Curvature Formation which has been Inserted Gel  
Toward Output for Measuring Liquid Level**

**By**

**Novi Arumnika**

**13306144004**

**Abstract**

The objectives of this study is to determine the effect of fiber optic formation and the liquid height toward optical power output, and also to determine the best sensitivity and linearity of liquid level sensor in a sinusoidal form.

This study is using liquid level sensor with fiber optic in a sinusoidal form which has been inserted gel. Fiber optic used in this study is Polymer Optical Fiber (POF) with type of SH-4001-1.3. Here, the variations of fiber optic formation are the length of track, the length of peeling, the width of curvature, curvature height, and waveform, respectively. There are 4 formations, i.e. formation A (20 cm, 34 cm, 6 cm, 2 cm, and 1 wave), formation B (20 cm, 34 cm, 8 cm, 2 cm, and 1 wave), formation C (20 cm, 34 cm, 9 cm, 2 cm, and a half wave), and formation D (20 cm, 34 cm, 10 cm, 2 cm, and a half wave). Light source used is He-Ne laser with Power of 5 mW and wavelength of 632,8 nm. He-Ne Laser emits light through Polymer Optical Fiber, which is then will be received by Optical Power Meter (OPM). To know the increase of data on the graph, so it is necessary to calculate area under the curve.

The curvature width on POF can affect the POF output. The Light intensity value of optical fiber output in the sinusoidal form at each width smaller as the liquid level higher, so it forms a linear graph. The best sensitivity value is at Formation A with curve width of 6 cm and best linearity value is at Formation C with curve width of 9 cm.

Keywords : Polymer Optical Fiber (POF), liquid level, the width of curvature

## **KATA PENGANTAR**

Segala puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT, atas segala rahmat dan hidayah-Nya yang telah dilimpahkan kepada penulis. Skripsi ini diajukan untuk memenuhi salah satu syarat untuk mencapai gelar sarjana jenjang strata satu (S-1) Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Negeri Yogyakarta. Adapun skripsi ini berjudul “ **PENGARUH FORMASI KELENGKUNGAN *POLYMER OPTICAL FIBER* (POF) YANG DISISIPI GEL TERHADAP KELUARAN UNTUK MENGIKUR KETINGGIAN CAIRAN** ”.

Penulisan ini dapat terselesaikan atas dukungan serta bantuan berbagai pihak. Untuk itu, penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. Bapak Prof. Dr. Sutrisna Wibawa, M.Pd. Rektor Universitas Negeri Yogyakarta yang telah memberikan naungan kepada seluruh civitas akademika termasuk penulis.
2. Bapak Dr. Hartono selaku Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Negeri Yogyakarta beserta seluruh staf atas segala fasilitas dan bantuannya untuk memperlancar administrasi tugas akhir.
3. Bapak Yusman Wiyatno, M.Si, selaku Ketua Jurusan Pendidikan Fisika Universitas Negeri Yogyakarta yang banyak memberikan arahan dan bimbingan.

4. Bapak Nur Kadarisman, M.Si, selaku Ketua Program Studi Universitas Negeri Yogyakarta yang telah memberikan arahan dan bimbingannya.
5. Bapak Dr. Heru Kuswanto, selaku Dosen Pembimbing yang telah memberikan arahan, bimbingan dan kesabarannya dari awal hingga akhir penyusunan skripsi ini.
6. Dosen-dosen Jurusan Pendidikan Fisika, FMIPA UNY yang telah mendidik dan memberikan ilmu pengetahuannya kepada penulis.
7. Teman-teman Fisika E 2013 atas perjuangan dan pengalamannya bersama selama menimba ilmu.
8. Semua pihak yang telah membantu penulis yang tidak dapat penulis tuliskan satu persatu.

Penulis menyadari masih banyaknya kekurangan penulis menyelesaikan penelitian dalam penyusunan skripsi ini. Oleh karena itu, kritik dan saran yang membangun sangat penulis harapkan. Akhirnya semoga skripsi ini dapat bermanfaat dan menjadi sumbangan berharga bagi masyarakat pada umumnya, serta rekan-rekan mahasiswa pada khususnya.

Yogyakarta, 29 Mei 2017  
Penulis,

Novi Arumnika  
NIM 13306144004

## DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
PERSETUJUAN .....	ii
SURAT PERNYATAAN.....	iii
PENGESAHAN .....	iv
MOTTO .....	v
PERSEMBAHAN.....	vi
ABSTRAK .....	vii
KATA PENGANTAR .....	ix
DAFTAR ISI.....	xi
DAFTAR GAMBAR .....	xiii
DAFTAR TABEL.....	xv
DAFTAR LAMPIRAN.....	xvi
<b>BAB I. PENDAHULUAN.....</b>	<b>1</b>
A. Latar Belakang Masalah.....	1
B. Identifikasi Masalah .....	4
C. Batasan Masalah.....	4
D. Rumusan Masalah .....	5
E. Tujuan Penelitian.....	5
F. Manfaat Penelitian.....	5
<b>BAB II. KAJIAN TEORI .....</b>	<b>6</b>
A. Deskripsi Teori .....	6
1. Fiber Optik .....	6
2. Sensor Fiber Optik .....	26
3. Fiber Optik Sebagai Sensor Pengukur Ketinggian Cairan.....	28
4. Gel.....	30
5. Luasan Daerah di Bawah Kurva .....	32
B. Kerangka Berfikir.....	33
<b>BAB III. METODE PENELITIAN .....</b>	<b>35</b>
A. Waktu dan Tempat Penelitian .....	35

B. Variabel Penelitian .....	35
C. Alat dan Bahan Penelitian .....	35
D. Desain Penelitian .....	37
E. Prosedur Penelitian.....	40
F. Teknik Analisis Data .....	41
<b>BAB IV. HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN.....</b>	<b>42</b>
A. Hasil Penelitian.....	42
1. Pengaruh ketinggian air terhadap intensitas keluaran fiber optik pada ..	42
Formasi A.....	42
2. Pengaruh ketinggian air terhadap intensitas keluaran fiber optik pada Formasi B.....	43
3. Pengaruh ketinggian air terhadap intensitas keluaran fiber optik pada Formasi C.....	44
4. Pengaruh ketinggian air terhadap intensitas keluaran fiber optik pada Formasi D.....	45
5. Pengaruh ketinggian air terhadap intensitas keluaran fiber optik pada Formasi A hingga Formasi D.....	46
6. Pengaruh ketinggian air terhadap intensitas keluaran fiber optik pada semua formasi .....	47
7. Nilai luas daerah di bawah kurva.....	48
B. Pembahasan .....	51
1. Sensitivitas sensor ketinggian cairan yang berbentuk sinusoida .....	52
2. Peran fiber optik dalam pengukur level ketinggian cairan .....	53
<b>BAB V. SIMPULAN DAN SARAN.....</b>	<b>55</b>
A. SIMPULAN.....	55
B. SARAN .....	55
DAFTAR PUSTAKA .....	57
LAMPIRAN .....	60

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Skema Penyusun Fiber Optik .....	9
Gambar 2. <i>Step Index Multimode</i> .....	14
Gambar 3. <i>Graded Index Multimode</i> .....	15
Gambar 4. <i>Step Index Single Mode</i> .....	15
Gambar 5. Hukum Snellius .....	17
Gambar 6. Sudut Kritis .....	18
Gambar 7. Pemantulan Internal Sempurna .....	19
Gambar 8. Cahaya Terpencar ke Segala Arah .....	22
Gambar 9. Keadaan Normal.....	24
Gambar 10. Lekukan Tajam Berakibat Buruk .....	24
Gambar 11. Perbedaan Laju Penyusutan Dapat Menimbulkan Lekukan Mikro Buruk .....	25
Gambar 12. Luasan daerah dibawah kurva .....	32
Gambar 13. Desain Alat Penelitian.....	37
Gambar 14. Detail desain pada (b).....	38
Gambar 15. Grafik hubungan antara daya optik (dBm) terhadap perubahan tinggi air (cm) pada Formasi A .....	42
Gambar 16. Grafik hubungan antara daya optik (dBm) terhadap perubahan tinggi air (cm) pada Formasi B .....	43
Gambar 17. Grafik hubungan antara daya optik (dBm) terhadap perubahan tinggi air (cm) pada Formasi C .....	44
Gambar 18. Grafik hubungan antara daya optik (dBm) terhadap perubahan tinggi air (cm) pada Formasi D .....	45
Gambar 19. Grafik gabungan antara daya optik (dBm) dengan tinggi air (cm) dengan variasi lebar kelengkungan.....	46
Gambar 20. Grafik gabungan antara daya optik ternormalisasi (au) dengan tinggi air (cm) dengan variasi lebar kelengkungan .....	47

Gambar 21. Grafik hubungan antara daya optik yang sudah dinormalisasi dengan tinggi air (cm) pada Formasi A.....	48
Gambar 22. Grafik hubungan antara luas daerah (SL) dengan lebar kelengkungan (cm) .....	50

## **DAFTAR TABEL**

Tabel 1. Struktur Fiber Optik Plastik Tipe SH-4001-1.3 .....	8
Tabel 2. Spesifikasi formasi pada point (b) .....	39
Tabel 3. Nilai gradien masing-masing formasi .....	46
Tabel 4. Hasil perhitungan dengan lebar kelengkungan yang berbeda.....	50
Tabel 5. Sensitivitas untuk setiap lebar kelengkungan yang berbeda.....	52
Tabel 6. Linearitas untuk lebar kelengkungan yang berbeda.....	53

## **DAFTAR LAMPIRAN**

Lampiran 1. Grafik hubungan antara daya optik (dBm) terhadap perubahan ketinggian air (cm) pada Formasi A.....	62
Lampiran 2. Grafik hubungan antara daya optik (dBm) terhadap perubahan ketinggian air (cm) pada Formasi B .....	63
Lampiran 3. Grafik hubungan antara daya optik (dBm) terhadap perubahan ketinggian air (cm) pada Formasi C .....	64
Lampiran 4. Grafik hubungan antara daya optik (dBm) terhadap perubahan ketinggian air (cm) pada Formasi D.....	65
Lampiran 5. Grafik gabungan antara daya optik ternormalisasi (au) terhadap perubahan ketinggian air (cm) dengan variasi formasi fiber optik	66
Lampiran 6. Grafik hubungan antara luas daerah (SL) dengan lebar kelengkungan (cm).....	69
Lampiran 7. Fiber optik dengan lintasannya.....	70
Lampiran 8. Rangkaian alat .....	70
Lampiran 9. Gambar Formasi A dengan lebar kelengkungan 6 cm .....	71
Lampiran 10. Gambar Formasi B dengan lebar kelengkungan 8 cm.....	71
Lampiran 11. Gambar Formasi C dengan lebar kelengkungan 9 cm.....	72
Lampiran 12. Gambar Formasi D dengan lebar kelengkungan 10 cm .....	72

## **BAB I**

### **PENDAHULUAN**

#### **A. Latar Belakang Masalah**

Perkembangan dan penerapan teknologi telekomunikasi di dunia yang berkembang dengan cepat, secara langsung ataupun tidak langsung akan mempengaruhi perkembangan sistem telekomunikasi di Indonesia. Beroperasinya satelit telekomunikasi Palapa dan kemudian pemakaian SKSO (Sistem Komunikasi Serat Optik ) di Indonesia merupakan bukti bahwa Indonesia juga mengikuti dan mempergunakan teknologi ini di bidang telekomunikasi (Hasanah, 2009:613). Fiber Optik (Serat optik) adalah saluran transmisi yang terbuat dari kaca atau plastik yang digunakan untuk mentransmisikan sinyal cahaya dari suatu tempat ke tempat lain. Sumber cahaya yang digunakan biasanya adalah laser atau LED. Kabel ini berdiameter lebih kurang 120 mikrometer. Cahaya yang ada di dalam serat optik tidak keluar karena indeks bias dari kaca lebih besar daripada indeks bias dari udara, karena laser mempunyai spektrum yang sangat sempit. Kecepatan transmisi serat optik sangat tinggi sehingga sangat bagus digunakan sebagai saluran komunikasi.

Selama beberapa tahun terakhir telah terjadi revolusi penemuan yang dilakukan di bidang serat optik. Hal ini disebabkan oleh keuntungan dari transmisi optik lebih besar dari transmisi listrik. Serat optik memberikan luas daerah yang sangat besar yang menimbulkan nilai data yang sangat tinggi dan saat ini, kunci dari tingginya nilai data adalah faktor pada transmisi data. Ada lebih banyak keuntungan komunikasi serat optik seperti keamanan data, penggandaan data,

kemudahan untuk membuat sumber optik dan detektor optik (Shivang Ghetia, 2013: 443).

Ketika cahaya merambat di dalam suatu bahan yang jernih, kecepatannya akan turun sebesar suatu faktor yang ditentukan oleh karakteristik bahan yang dinamakan indeks bias. Sebagian besar bahan yang digunakan untuk membuat serat optik memiliki nilai indeks bias sekitar 1,5. Indeks bias sebenarnya merupakan nilai perbandingan (rasio) antara kecepatan cahaya di dalam bahan, maka besaran indeks bias tidak memiliki satuan. Dengan indeks bias berperan sebagai faktor pembagi dalam menentukan kecepatan cahaya di dalam suatu bahan, hal ini berarti bahwa semakin rendah nilai indeks bias maka semakin tinggi kecepatan cahaya di dalam bahan terkait. Besarnya pembelokan yang terjadi pada sinar cahaya dan karenanya arah rambatnya yang baru ditentukan oleh rasio indeks bias relatif antara kedua bahan dan oleh sudut datang sinar menuju bidang perbatasan (John Crisp dan Barry Elliot, 2006: 13-15).

Jaringan serat optik yang memberikan layanan sambungan ke rumah dikenal dengan nama Fiber To The Home (FTTH). Jenis serat optik yang umum digunakan pada jaringan FTTH adalah serat optik dari bahan kaca. Serat optik kaca memiliki faktor redaman yang rendah, namun memiliki kelemahan dalam hal instalasi dan terminasi. Permasalahan ini dapat diatasi dengan menggunakan Plastic Optical Fiber (POF). Instalasi dan terminasi POF tidak dibutuhkan peralatan mahal dan kemampuan khusus sehingga lebih mudah dan efisien. Permasalahan lain yang tidak dapat dicegah pada jaringan serat optik adalah adanya *bending* atau bengkokan. Bengkokan dengan jari-jari lebih lebar

dibandingkan dengan jari-jari serat optik disebut dengan *macrobending*. *Macrobending* menyebabkan rugi-rugi daya yang cukup serius bahkan memungkinkan terjadinya kerusakan mekanis. Penelitian menunjukkan bahwa nilai rugi-rugi daya *macrobending* dipengaruhi oleh panjang gelombang, diameter bengkokan, dan jumlah bengkokan yang tersusun dalam bentuk lilitan yang digunakan (Imee Ristika Rahmi, 2014 : 1).

Sensor fiber optik adalah jenis sensor optik yang menggunakan fiber optik dalam mekanisme pengindraan atau pendektsian, 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 ( Imam Khambali dan Endarko, 2014 : 33).

Dalam penelitian ini diteliti pengaruh formasi kelengkungan fiber optik terhadap besarnya daya optik keluaran. 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 *Polymer Optical Fiber* (*POF*), sedangkan daya optik keluaran fiber dideteksi dengan menggunakan alat *Optical Power Meter (OPM)*.

## **B. Identifikasi Masalah**

Berdasarkan latar belakang masalah seperti diuraikan di atas maka diidentifikasi beberapa permasalahan sebagai berikut:

1. Formasi fiber optik yang berbentuk sinusoida dapat melemahkan keluaran daya optik
2. Perubahan ketinggian air mempengaruhi keluaran daya optik

## **C. Batasan Masalah**

Karena luasnya masalah yang telah diidentifikasi, maka penelitian ini dibatasi pada :

1. Formasi fiber optik yang berbentuk sinusoida, variasi pada lebar kelengkungannya adalah 6 cm, 8 cm, 9 cm dan 10 cm. Dimana 1 lengkungan berbentuk setengah gelombang.
2. Perubahan ketinggian air, variasi ketinggian air yang digunakan dalam penelitian adalah 4 cm, 6 cm, 8 cm, 10 cm, 12 cm, 14 cm, 16 cm, 18 cm, 20 cm. Sebagai sumber cahaya digunakan laser Helium-Neon dengan emisi keluaran 5 mW dan  $\lambda = 632,8$  nm, sedangkan sebagai alat ukur daya digunakan Optical Power Meter (OPM).

## **D. Rumusan Masalah**

Rumusan masalah penelitian ini adalah :

1. Seberapa besar pengaruh formasi fiber optik terhadap keluaran daya optik pada OPM saat terjadi perubahan ketinggian air?
2. Bagaimana sensitivitas dan linearitas terbaik pada serat optik plastik ?

## **E. Tujuan Penelitian**

Tujuan penelitian ini adalah :

1. Mengetahui pengaruh formasi fiber optik terhadap keluaran daya optik pada OPM saat terjadi perubahan ketinggian air
2. Megetahui sensitivitas dan linearitas terbaik pada sensor ketinggian air yang berbentuk sinusoid

## **F. Manfaat Penelitian**

Diharapkan hasil penelitian ini :

1. Dapat mengetahui informasi tentang serat optik plastik dalam sensitivitas dan linearitas sensor ketinggian air
2. Dapat mengaplikasikan serat optik plastik atau POF di bidang sensor
3. Sebagai acuan atau referensi untuk melakukan riset selanjutnya.

## **BAB II**

### **KAJIAN TEORI**

#### **A. Deskripsi Teori**

##### **1. Fiber Optik**

Fiber optik atau serat optik adalah sebuah bahan transparan yang sangat jernih, atau kabel yang terbuat dari bahan semacam ini, yang dapat digunakan untuk mentransmisikan gelombang cahaya (John Crisp dan Barry Elliot, 2008: 10). atau dapat juga diartikan Serat optik adalah saluran transmisi yang terbuat dari kaca atau plastik yang digunakan untuk mentransmisikan sinyal cahaya dari suatu tempat ke tempat lain dengan kecepatan tinggi dengan harga murah dibandingkan dengan kawat tembaga. Teknologi serat optik selalu berhadapan dengan masalah, yaitu bagaimana caranya agar lebih banyak informasi yang dapat dibawa, lebih cepat dan lebih jauh penyampaiannya dengan tingkat kesalahan yang sekecil-kecilnya. Informasi yang dibawa berupa sinyal digital, dengan menggunakan besaran kapasitas transmisi diukur dalam 1 Gb km/s, yang artinya 1 milyar bit dapat disampaikan tiap detik melalui jarak 1 km (Hasanah, 2009 :614).

Kabel fiber optik banyak digunakan untuk transmisi jarak jauh, sementara kabel fiber optik plastik hanya digunakan untuk komunikasi jarak pendek. Fiber optik banyak dibuat dari kaca atau bahan silika ( $\text{SiO}_2$ ), yang biasanya diberi doping untuk menaikkan indeks biasnya. Fiber optik plastik tidak jauh berbeda dengan fiber optik kabel, hanya saja fiber optik kabel dilengkapi dengan *kevlar* untuk penguat fiber optik.

### a. Fiber Optik Plastik

*Polimer optical fiber (POF)* merupakan fiber optik berbahan plastik polimer, dimana lapisan teras (*core*) dibuat dari *polymethyl methacrylate* (PMMA) sedangkan lapisan *coating* dibuat dari *perfluropolimer*. Material yang biasa digunakan dalam POF adalah Poli (metil metakrilat) (PMMA), polikarbonat (PC), polistiren (PS), kopolimer olefin siklik (COC diproduksi oleh TOPAS, Frankfrut, Jerman) dan amorf fluoropolimer (CYTOP yang diproduksi oleh Asahi Glash, Tokyo, Jepang) adalah optik yang paling populer yang digunakan untuk pembuatan POF (Yanhua Lou. et. al, 2017 : 2). PPMA dikembangkan mulai tahun 1960-an karena pelemahan dari PPMA yang tinggi maka pengembangan fiber optik ini sempat berhenti, namun sejak tahun 1990-an teknologi POF ini kembali diminati, setelah ditemukan bahan polimer terfluorinasi dengan atenuasi rendah. Tingkat atenuasi POF juga sudah dapat direduksi secara signifikan, yaitu di bawah 30 dB/km.

*Polimer optical fiber* (POF) telah meningkatkan perhatian karena keuntungan teknisnya yang lebih jelas dari serat kaca, seperti fleksibilitas dan besarnya diameter inti, yang memungkinkan koneksi tersambung dengan efisien sehingga menghasilkan sistem berbiaya rendah untuk jaringan area lokal yang baru-baru ini rendah rugi kehilangan (100 db / km), bandwith tinggi 5,12 GHz untuk transmisi 100 m yang dinilai indeks serat optik plastik (GI-POF) telah dikembangkan. Selain itu, POF memiliki beberapa kelebihan antara lain *bandwidth* yang sangat lebar, ukuran yang kecil, bebas dari *Electro Magnet Interference* (EMI), berat yang ringan, tidak mengalirkan arus sehingga tidak akan

terjadi percikan api, dan sinyal dalam serat optik ini terjamin keamanannya. Di sisi lain, serat optik telah digunakan untuk mengukur kadar cairan dalam berbagai bentuk, seperti sensor yang tidak mengganggu atenuasi cahaya saat melewati dinding tangki, namun ini hanya berlaku untuk tangki transparan ( David Sanchez Montero. et. al, 2009 : 6447). Pada percobaan digunakan fiber optik plastik PMMA tipe SH-4001-1.3 dengan struktur sebagai berikut :

Tabel 1. Struktur Fiber Optik Plastik Tipe SH-4001-1.3 (Sumber : <http://ifiberoptics.com> )

<b>Bagian</b>	<b>Spesifikasi</b>			
	<b>Satuan</b>	<b>Min.</b>	<b>Tipe</b>	<b>Maksimal</b>
Bahan <i>core</i>	-	<i>Polymethyl-Methacrylate Resin</i>		
Bahan <i>cladding</i>	-	<i>Fluorinated Polymer</i>		
Indeks bias <i>core</i>	-	1.49		
Indeks bias <i>cladding</i>	-	1.41		
<i>Numerical aperture</i>	-	0.48		
Diameter <i>core</i>	µm	920	980	1040
Diameter <i>cladding</i>	µm	940	1000	1060
Bahan		<i>Polyethylene</i>		
Warna		Hitam		
Diameter		1.25	1.30	1.35
Berat kira-kira	g/m	1.5		
Regangan fiber	N	65		
Indikasi Pada Jaket	-	Tidak ada		

### b. Struktur Fiber Optik

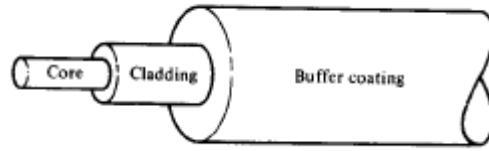
Struktur dasar dari sebuah serat optik yang terdiri dari 3 bagian: *core* (inti), *cladding* (kulit), dan *coating* (mantel) atau *buffer* (pelindung). Inti batang silinder terbuat dari bahan dielektrik (bahan silika ( $\text{SiO}_2$ ), biasanya diberi doping dengan germanium oksida ( $\text{GeO}_2$ ) atau fosfor penta oksida ( $\text{P}_2\text{O}_5$ ) untuk menaikkan

indeks biasnya) yang tidak menghantarkan listrik, inti ini memiliki jari-jari  $a$ , besarnya sekitar 8-200  $\mu\text{m}$  dan indeks bias  $n_1$ , besarnya sekitar 1,5. Inti di selubungi oleh lapisan material, disebut kulit, yang terbuat dari bahan dielektrik (silika tanpa atau sedikit *doping*), kulit memiliki jari-jari sekitar 125 – 400  $\mu\text{m}$  indeks bias-nya  $n_2$ , besarnya sedikit lebih rendah dari  $n_1$ . Apabila perbedaan indeks bias inti dan kulit dibuat drastis disebut serat optik *Step Indeks* (SI), selisih antara indek bias kulit dan inti disimbolkan dengan  $\Delta$  (Muh. Sulaiman, 2014 : 59)

:

$$\Delta = \frac{n_1^2 - n_2^2}{2n_1^2} \approx \frac{n_1 - n_2}{n_1} \quad (1)$$

Gambar 1 merupakan skema penyusun kabel fiber optik :



Gambar 1. Skema Penyusun Fiber Optik ( Sumber : Gerd Keiser, 1983: 26)

### 1) Teras (*core*)

Teras terbuat dari bahan plastik atau kaca halus yang berkualitas tinggi dan tidak mengalami perkaratan (korosi). Teras merupakan bagian utama dari fiber optik karena perambatan cahaya terjadi pada bagian teras.

### 2) Selongsong (*cladding*)

*Cladding* merupakan lapisan yang dilapiskan pada *core* sebagai selubung *core*. *Cladding* ini juga terbuat dari bahan yang sama dengan *core* tetapi indeks

biasnya berbeda dari indeks bias teras. Tujuan dibuat indeks bias berbeda agar cahaya selalu dipantulkan kembali ke teras oleh permukaan *cladding*-nya dan memungkinkan cahaya tetap berada di dalam fiber optik.

### 3) Jaket pelindung (*buffer primer*)

Jaket pelindung digunakan untuk melindungi fiber optik dari munculnya retakan-retakan awal pada permukaannya, sebuah lapisan plastik yang sangat lembut ditambahkan di bagian luar. Lapisan pembungkus tambahan ini disebut sebagai *buffer primer* (atau terkadang juga *coating* atau *buffer* saja), dan penggunaannya untuk memberikan pelindungan mekanis; bagian ini tidak terlibat dalam proses transmisi cahaya di dalam fiber optik.

Tiga hal penting yang harus diingat (John Crisp dan Barry Elliot, 2008:32) :

- Serat optik sepenuhnya padat, tidak terdapat lubang atau rongga apa pun di bagian tengahnya
- Buffer dan jaket berfungsi hanya sebagai pelindung mekanis
- Cahaya merambat di dalam bagian inti, meskipun terdapat pula sedikit rembesan yang masuk ke bagian mantel; sehingga kejernihan bahan mantel juga harus diperhatikan

## c. Kelebihan dan kerugian Fiber Optik

1) Menurut Hasanah (2009, 614-615), kelebihan dari penggunaan fiber optik adalah :

- a) Redaman transmisi yang kecil. Sistem telekomunikasi serat optik mempunyai redaman transmisi per km relatif kecil dibandingkan dengan transmisi lainnya, seperti kabel coaxial ataupun kabel PCM. Ini

berarti serat optik sangat sesuai untuk dipergunakan pada telekomunikasi jarak jauh, sebab hanya membutuhkan repeater yang jumlahnya lebih sedikit.

- b) Bidang frekuensi yang lebar. Secara teoritis serat optik dapat dipergunakan dengan kecepatan yang tinggi, hingga mencapai beberapa Gigabit/detik. Dengan demikian sistem ini dapat dipergunakan untuk membawa sinyal informasi dalam jumlah yang besar hanya dalam satu buah serat optik yang halus.
- c) Ukurannya kecil dan ringan. Dengan demikian sangat memudahkan pengangkutan pemasangan di lokasi. Misalnya dapat dipasang dengan kabel lama, tanpa harus membuat lubang polongan yang baru.
- d) Tidak ada interferensi. Hal ini disebabkan sistem transmisi serat optik mempergunakan sinar/cahaya laser sebagai gelombang pembawanya. Sebagai akibatnya akan bebas dari cakap silang (*cross talk*) yang sering terjadi pada kabel biasa. Atau dengan perkataan lain kualitas transmisi atau telekomunikasi yang dihasilkan lebih baik dibandingkan transmisi dengan kabel. Dengan tidak terjadinya interferensi akan memungkinkan kabel serat optik dipasang pada jaringan tenaga listrik tegangan tinggi (*high voltage*) tanpa khawatir adanya gangguan yang disebabkan oleh tegangan tinggi.
- e) Kelebihan lain adanya isolasi antara pengirim (*transmitter*) dan penerimanya (*receiver*), tidak ada *ground loop* serta tidak akan terjadi hubungan api pada saat kontak atau terputusnya serat optik. Dengan

demikian sangat aman dipasang di tempat-tempat yang mudah terbakar.

Seperti pada industri minyak, kimia, dan sebagainya.

2) Menurut ( Fachrul Rozy, 2012 : 2), kerugian penggunaan fiber optik yaitu:

- a) Konstruksi fiber optik lemah sehingga dalam pemakaianya diperlukan lapisan penguat sebagai proteksi
- b) Karakteristik transmisi dapat berubah bila terjadi tekanan dari luar yang berlebihan
- c) Tidak dapat dialiri arus listrik sehingga dapat memberikan catuan pada pemasangan repeater
- d) Perbaikan yang lebih kompleks karena sifatnya lebih rapuh

**d. Jenis serat optik**

1) Berdasarkan indeks bias inti

Berdasarkan indeks bias inti, serat optik dibedakan menjadi ( Fitriana Prihati, 2016 : 15-16) :

a) *Step-index* (SI)

Merupakan serat optik yang memiliki perubahan patah-patah ketika gelombang cahaya yang merambat terpantul dari permukaan kulit ke inti. Hal ini disebabkan indeks bias intinya sama.

b) *Graded-index* (GI)

Serat optik yang memiliki perubahan yang halus dan berlanjut karena indeks bias intinya memiliki perbedaan nilai di mana indeks bias terbesarnya mendekati pusat inti dan indeks bias terkecilnya saat mendekat ke arah kulit.

2) Berdasarkan diameter intinya

Berdasarkan diameter intinya dibedakan menjadi (Wulandari, 2013 : 12-13) :

a) *Single-mode*

Serat optik yang hanya dapat merambatkan gelombang cahaya satu mode atau berupa lintasan cahaya lurus.

b) *Multimode*

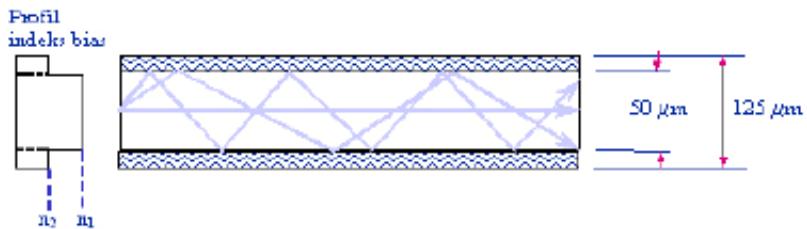
Serat optik yang mampu merambatkan gelombang cahaya lebih dari satu atau banyak mode.

Sampai saat ini ada 3 jenis fiber yang digunakan pada umumnya ( Bayu Ananto, 2012 : 4) yaitu :

1) *Step Index Multimode*

Fiber optik *step index (multimode)* dibuat dari *core* yang relatif besar, dengan diselimuti *cladding*. *Corenya* mempunyai diameter antara 50 sampai dengan 200  $\mu\text{m}$ , dimana *cladding* sangat tipis. *Core* dan *cladding* mempunyai index bias yang berbeda. Serat tersebut mudah dibuat, oleh karena itu serat optik ini pertama kali di pasarkan. Keuntungan lain dari serat *step index multimode* adalah *corenya* yang tebal sehingga mudah dalam penyambungan ujung dua serat dan dalam segi biaya lebih efektif. Kerugian utama dari serat ini adalah terjadinya tiga tipe dispersi dan adanya rugi-rugi daya yang besar. Oleh karena itu, serat *step index multimode* digunakan untuk jarak yang pendek dengan bit *rate* yang relatif rendah. Kabel ini cocok untuk transmisi medium. Redaman dari serat *step index*

*multimode* antara 2 sampai dengan 30 dB/Km, dan bandwidth antara 10 sampai dengan 100 Mhz.



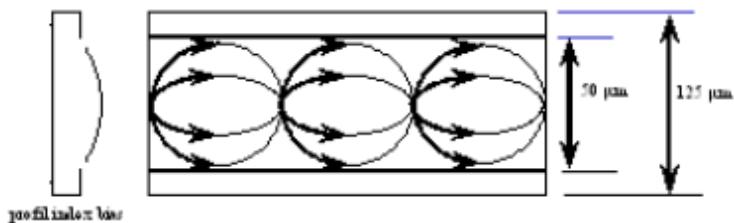
Gambar 2. *Step Index Multimode* ( Sumber : Bayu Ananto, 2012 : 4)

## 2) *Graded Index Multimode*

Kabel ini terdiri dari core yang mempunyai indeks bias berkurang sedikit demi sedikit secara step by step dari pusat *core* sampai batas antara *core* dengan cladding. *Core* tersebut terdiri dari lapisan-lapisan gelas, masing-masing lapisan mempunyai index bias yang berbeda. Umumnya diameter *core* 50 μm dan untuk claddingnya 125 μm. Berkas cahaya yang merambat melalui kabel ini dibelokkan sampai propagasi sejajar dengan sumbu serat. Di tempat titik pantul tersebut propagasi diarahkan kearah axis serat.

Propagasi gelombang cahaya melalui lapisan bagian luar berjalan lebih jauh dari pada berkas yang hanya melalui lapisan bagian dalam. Tetapi indeks bias dari lapisan luar adalah lebih kecil, berarti bahwa kecepatan propagasi cahaya bagian luar lebih cepat dari pada bagian dalam. Oleh karena itu, semua berkas cahaya (mode-mode) menggambarkan pulsa-pulsa yang datang pada waktu yang bersamaan. Dengan cara ini dispersi multipath dapat diusahakan seminim mungkin. Fiber *Graded Index Multimode* mempunyai redaman mulai dari 2 sampai dengan 10 dB/Km dan bandwith 1Ghz. Meskipun mempunyai banyak

keuntungan, fiber ini sukar dalam pembuatannya dan harganya lebih mahal dari pada step index multimode.

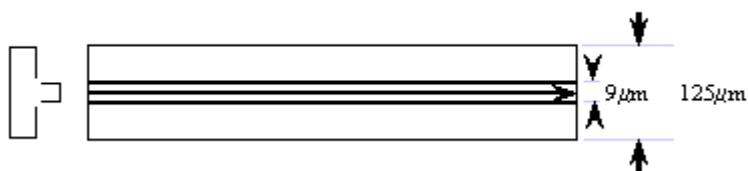


Gambar 3. *Graded Index Multimode* ( Sumber : Bayu Ananto, 2012 : 4)

### 3) *Step Index Single Mode*

Segara setelah perkembangan kedua jenis tipe fiber tersebut di atas, kebutuhan akan bandwith lebih besar lagi. Dapat kita lihat bahwa semakin rendah jumlah mode, semakin tinggi bandwithnya. Idealnya cahaya berpropagasi melalui hanya satu mode saja, yang paralel dengan sumber fiber. Panjang gelombang dari infra merah yang terletak antara 800 sampai 1600nm, yang berarti diameter *core* 0,8 sampai dengan 1,6μm.

*Core* mempunyai diameter antara 5 sampai dengan 10μm, dan *cladding* telah distandarisasi pada 125 μm. Readaman *step index singlemode* adalah 0,2 sampai 0,4 dB/Km, dan dengan *bandwidth* 50 Ghz.



Gambar 4. *Step Index Single Mode* ( Sumber : Bayu Ananto, 2012 : 4)

Pada umumnya *Single Mode* (SM) POF lebih banyak disukai untuk kisi POF karena cocok untuk perangkat aplikasi, seperti serat laser dan amplifier, pengganti optik, modulator dan lain-lain. Untuk transmisi SM dari SI POF, frekuensi yang dinormalisasi harus mematuhi hal berikut (Yanhua Lou. et. al, 2017 : 5) :

$$V = \frac{2\pi}{\lambda} \cdot a \sqrt{n_{co}^2 - n_{cl}^2} < 2.4 \quad (2)$$

dimana  $n_{co}$  adalah indeks bias *core* dan  $n_{cl}$  adalah indek bias *cladding*,  $a$  adalah diameter serat dan  $\lambda$  adalah panjang gelombang cahaya diudara. Jumlah mode yang dapat terpandu dalam serat optik adalah fungsi dari  $V$ . Jika  $V$  bertambah , maka jumlah mode yang dapat terpandu di dalam serat optik juga akan bertambah.

#### e. Perambatan cahaya di dalam fiber optik

##### 1) Hukum Snellius

Hukum Snellius berbunyi “sinus dari sudut datang di bagi dengan sudut bias adalah konstan”.

Sehingga perumusan matematis Hukum Snellius :

$$\frac{\sin \theta_1}{\sin \theta_2} = \frac{v_1}{v_2} = \frac{n_1}{n_2} \quad (3)$$

Atau

$$n_1 \sin \theta_1 = n_2 \sin \theta_2 \quad (4)$$

Dimana

:

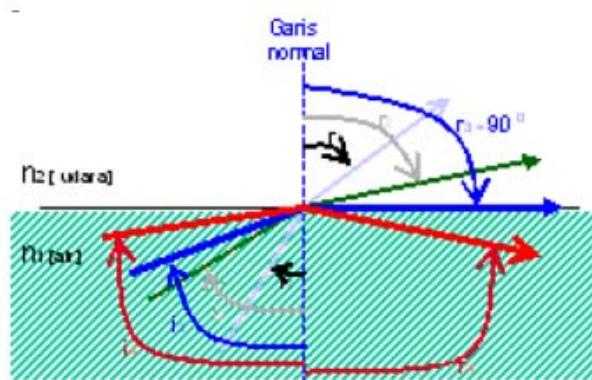
$\theta_1$  dan  $\theta_2$  : sudut datang dan sudut bias

$v_1$  dan  $v_2$  : kecepatan cahaya sinar datang dan sinar bias

$n_1$  : indeks bias medium yang dilalui sinar datang

$n_2$  : indeks bias medium yang dilalui sinar bias

Dimana pada Hukum Snellius cahaya yang datang dalam suatu medium sebagian cahaya tersebut tidak dibiasakan tetapi dipantulkan. Hal itu dikarenakan dari indeks bias dan sudut datang dari berkas cahaya permukaan. Dengan menambah sudut datang kemungkinan dapat memantulkan berkas cahaya secara total atau dapat dikatakan dengan pemantulan internal sempurna. Saat sudut datang > sudut kritis maka akan terjadi pemantulan sempurna. Hal inilah yang terjadi dalam serat optik, dimana gelombang cahaya menjalar dengan mengalami pemantulan-pemantulan sempurna dari dinding seratnya (*cladding*) yang indeks refraksinya lebih kecil daripada indeks refraksi inti seratnya (*core*). Dapat diGambarkan seperti berikut :



Gambar 5. Hukum Snellius ( Sumber : Bayu Ananto, 2012 : 2)

Dengan persamaan (3) didapatkan (Bayu Ananto, 2012 : 2) :

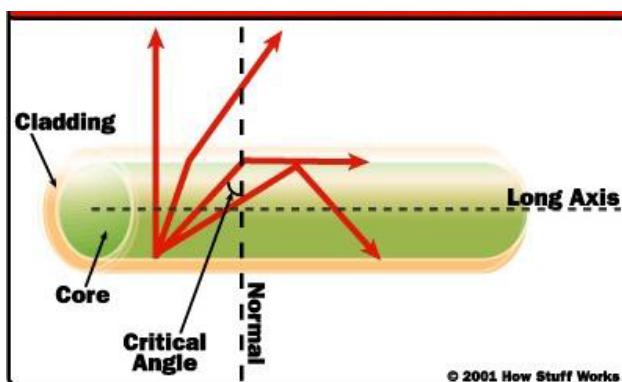
- Cahaya yang bergerak dari materi dengan indeks bias lebih besar (padat) ke materi dengan indeks bias lebih kecil (tipis) maka akan bergerak menjauhi sumbu tegak lurus (garis normal) sudut datang lebih kecil daripada sudut bias.

- Cahaya yang bergerak dari materi dengan indeks bias lebih kecil (tipis) ke materi dengan indeks bias lebih besar (padat) maka akan bergerak mendekati sumbu tegak lurus (sudut datang). Sudut datang lebih besar daripada sudut bias.

## 2) Sudut Kritis

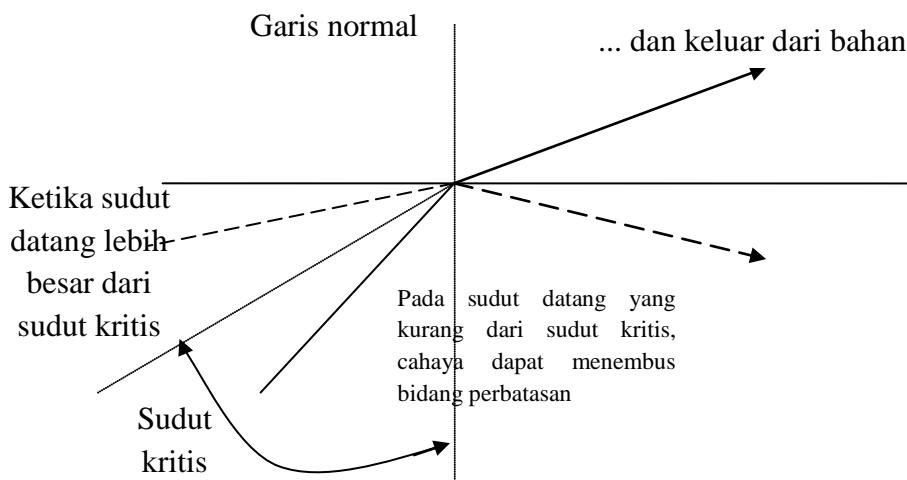
Pada sudut perambatan sinar cahaya akan bertambah jika sinar memasuki sebuah bahan dengan indeks bias yang lebih kecil. Jika sudut datang sinar (di dalam bahan pertama) menuju bidang perbatasan terus diperbesar, akan tercapai suatu titik di mana sudut bias menjadi bernilai  $90^\circ$  dan sinar akan merambat sejajar dengan bidang perbatasan didalam bahan kedua. Sudut datang yang menyebabkan terjadinya hal ini disebut sebagai sudut kritis. Kita dapat menghitung sudut kritis dengan menggunakan persamaan Hukum Snellius, sehingga di dapatkan persamaan sudut kritis :

$$\theta_{kritis} = \arcsin \frac{n_2}{n_1} \quad (5)$$



Gambar 6. Sudut Kritis (Sumber : Welly Tanjung, 2013 : 2)

Sudut kritis berperan sangat penting di dalam prinsip kerja fiber optik. Jika cahaya merambat dengan sudut datang yang kurang dari sudut kritis, maka cahaya tersebut akan dibiaskan keluar dari bahan pertama. Akan tetapi, jika cahaya merambat menuju bidang perbatasan dengan sudut datang yang lebih besar dari sudut kritis, maka cahaya tersebut akan dipantulkan kembali (oleh bidang perbatasan) ke dalam bahan pertama. Dalam kasus ini, bidang perbatasan hanya berperan sebagai sebuah bidang pemantul ('cermin'). Efek semacam ini disebut sebagai pemantulan internal sempurna (*total internal reflection/TIR*).



Gambar 7. Pemantulan Internal Sempurna (Sumber : John Crisp dan Barry Elliot, 2010: 18)

#### f. Apertur Numerik (NA)

Apertur numerik dari sebuah serat optik adalah parameter yang mengukur kemampuan serat optik untuk mengumpulkan atau memerangkap sinar cahaya (John Crisp dan Barry Elliot, 2010 : 36). Pada serat optik terdapat hubungan antara serat optik dan apertur numerik, dimana apabila penerimaan diindikasikan dengan diterimanya cahaya yang masuk ke dalam serat optik. Rumus matematika

pada apertur numerik diturunkan berdasarkan indeks bias inti dan indeks bias mantel :

$$NA = \sqrt{n_{core}^2 + n_{cladding}^2} \quad (\text{tanpa satuan}) \quad (6)$$

Rumus perhitungan sudut penerima :

$$\text{sudut penerima} = \arcsin (NA) \quad (7)$$

#### **g. Penggunaan desibel sebagai satuan daya dalam fiber optik**

Desibel merupakan nilai perbandingan (rasio) antara dua buah nilai daya, dengan rumus :

$$gain = 10 \log \left( \frac{\text{daya out}}{\text{daya in}} \right) \text{dB} \quad (8)$$

Apabila akan menggunakan desibel untuk menggantikan watt sebagai satuan daya, maka harus mengansumsikan nilai tertentu untuk daya input. Biasanya nilai daya diasumsikan 1 mW sehingga rumus menjadi :

$$\text{Nilai daya dalam satuan desibel} = 10 \log \left( \frac{\text{nilai daya dalam watt}}{1 \text{ mW}} \right) dBm \quad (9)$$

Untuk menggunakan desibel sebagai satuan daya, dua hal yang harus diperhatikan (John Crisp dan Barry Elliot, 2010 : 53) :

- 1) Harus terdapat suatu nilai daya yang dijadikan acuan atau titik referensi, karena desibel pada dasarnya adalah sebuah besaran rasio (perbandingan). Nilai daya acuan ini harus bersifat baku dan diterima oleh semua pihak. Di dalam studi teknik serat optik, sebagaimana halnya di dalam cabang-cabang elektronika lainnya, daya acuan yang digunakan dalam 1 mW.

- 2) Suatu bentuk notasi yang mengindikasikan bahwa desibel sedang digunakan sebagai satuan daya juga harus ada. Untuk daya acuan 1 mW, notasi yang dipakai adalah dBm, yang menggantikan dB dimana dBm memiliki arti desibel relatif terhadap 1 mW.

**h. Penyebab pelemahan energi cahaya di dalam serat optik**

- 1) Absorbsi

Zat kotoran (*impurity*) yang tersisa di dalam bahan inti akan menyerap sebagian energi cahaya yang merambat di dalam fiber optik. Kontaminan yang menimbulkan efek paling serius adalah ion-ion hidroksil dan zat-zat logam.

Ion-ion hidroksil sebenarnya adalah wujud lain dari air yang akan menyerap secara besar-besaran energi gelombang dengan panjang 1380 nm. Demikian pula, zat-zat logam akan menyerap energi gelombang dengan berbagai nilai panjang tertentu. Untuk mengatasi masalah tersebut yaitu dengan mencegah timbulnya kontaminan atau tertinggalnya zat-zat kotoran di dalam kaca saat proses manufaktur dilakukan. Kandungan kontaminan harus dapat ditekan sekecil mungkin, dengan nilai perbandingan ideal 1 di dalam  $10^9$  untuk air, dan 1 di dalam  $10^{10}$  untuk zat logam.

- 2) Pancaran Rayleigh

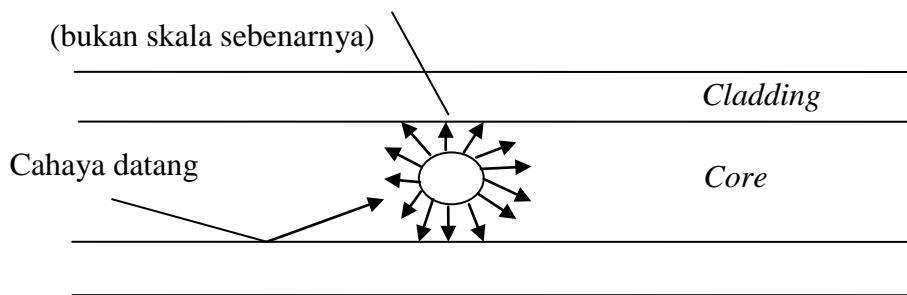
Pancaran Rayleigh adalah efek terpencaranya cahaya akibat terjadinya perubahan kecil yang bersifat lokal pada indeks bias bahan inti dan bahan mantel (John Crisp dan Barry Elliot, 2010 : 59). Dimana dapat dikatakan lokal karena hanya terjadi pada daerah tertentu dan ukuran daerah yang terkena sangat kecil

yaitu kurang dari satu panjang gelombang cahaya. Terdapat dua hal yang menyebabkan peristiwa ini yaitu :

- Terdapat ketidakmerataan dalam bahan untuk membuat serat optik walupun sangat kecil dan bersifat acak namun tetap sulit untuk dihilangkan
- Pergeseran yang kecil kerapatan bahan yang biasanya terjadi saat kaca silika mulai membeku dan menjadi padat

Pada daerah yang terkena efek pancaran Rayleigh diilustrasikan pada Gambar 8. Dimana diperlihatkan cahaya terpecah dan terpencar ke segala arah. Semua komponen pancaran sinar yang merambat dengan nilai sudut datang kurang dari sudut kritis akan menembus mantel sehingga menimbulkan rugi daya. Tetapi sebagian besar cahaya dapat melewati daerah tersebut karena ukurannya sangat kecil.

Perubahan lokal pada indeks bias



Gambar 8. Cahaya Terpencar ke Segala Arah (Sumber : John Crisp dan Barry Elliot, 2010 : 59)

Intensitas efek ini pada cahaya yang menumbuk daerah perubahan tergantung pada ukuran daerah perubahan relatif terhadap panjang gelombang cahaya yang

bersangkutan. Sehingga, cahaya dengan panjang gelombang paling kecil, atau frekuensi tertinggi, akan paling besar terkena dampak pancaran ini.

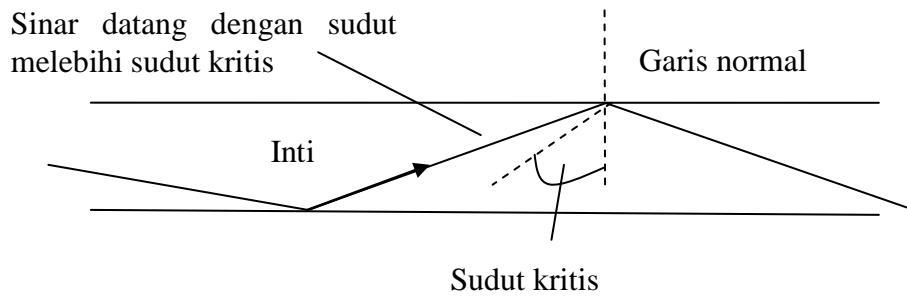
### 3) Kelengkungan Kabel (*Bending*)

Penyebab hilangnya energi cahaya di dalam serat optik ada dua macam, yaitu disebabkan oleh bahan inti serat optik tidak cukup jernih dan penyebab kedua adalah cahaya dibelokkan kearah yang salah (Aninda Maharani, 2009 :1).

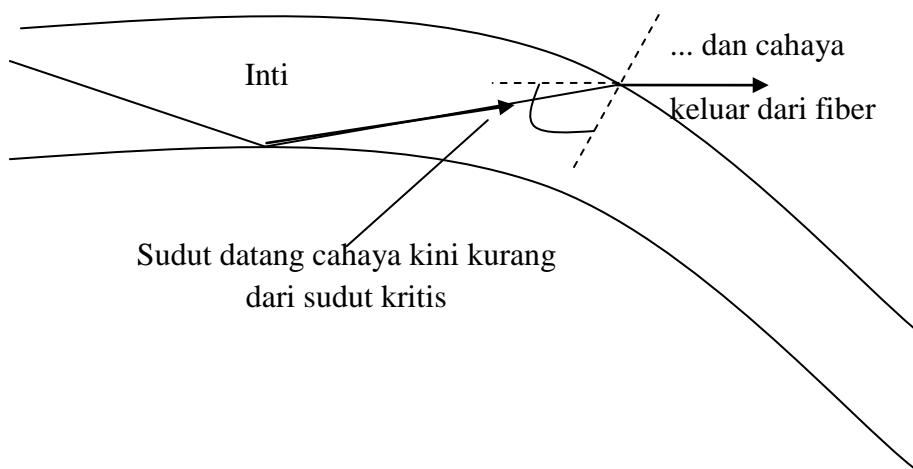
Pada fiber optik pembelokan juga disebut sebagai *bending*. *Bending* yaitu pembengkokan serat optik yang menyebabkan cahaya yang merambat pada serat optik berbelok dari arah transmisi dan hilang (Dwi Hanto, 2013: 2). Terdapat dua jenis pembengkokan atau kekelengkungan dalam fiber optik yaitu :

#### a) Kelengkungan makroskopik (*macrobending*)

*Macrobending* terjadi ketika serat optik dibengkokkan dengan jari-jari lebih lebar dibandingkan jari-jari serat optik (Nopi Yudi Pramono, 2012: 3). *Macrobending* pada serat optik mengakibatkan cahaya pada inti berpindah menuju batas permukaan inti-selubung dengan sudut kurang dari sudut kritis sehingga energi cahaya tidak akan dipantulkan internal, tapi hilang di material selubung. Fenomena ini akan mengakibatkan perubahan pada penjalaran cahaya pada serat optik, sehingga cahaya tidak lagi mengalami *total internal reflection* (Mahendra Wishnu Buwana, 2014: 2).



Gambar 9. Keadaan Normal (Sumber : John Crisp dan Barry Elliot, 2006: 63)



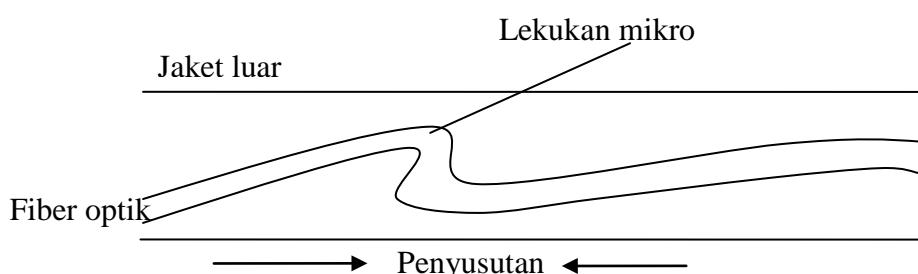
Gambar 10. Lekukan Tajam Berakibat Buruk (Sumber : John Crisp dan Barry Elliot, 2006: 63)

Pada Gambar 9 dapat dijelaskan bahwa sudut sinar cahaya yang datang melebihi sudut kritis dan dapat merambat secara aman di dalam serat optik. Sedangkan pada Gambar 10 yaitu setelah inti dilengkungkan garis normal akan memiliki arah yang mengikuti permukaan inti. Perlu diingat bahwa garis normal selalu mengarah tegak lurus terhadap permukaan inti. Akibat dari perubahan arah tersebut menyebabkan sinar yang awalnya merambat dengan aman kini tidak lagi demikian dimana sudut datangnya akan kurang dari sudut kritisnya dan menyebabkan sinar dapat menembus inti dan keluar dari serat optik.

Lekukan yang tajam oleh sebab itu harus dihindarkan. Seberapa ‘tajam’ lekukan yang dikatakan tajam ini harus dilihat pada spesifikasi kabel fiber optik yang bersangkutan, karena semua informasi mengenai batasan-batasan mekanis dan pelemahan daya kabel ada di dalam spesifikasi tersebut. Akan tetapi, mengetahui batasan umum yang berlaku untuk masalah lekukan kabel ini sering kali sangat membantu. Semakin tajam (dan semakin kecil jari-jari) kelengkungan, maka semakin besar pelemahan daya yang timbul.

b) Kelengkungan mikroskopik (*microbending*)

Sensor mikrobending serat optik adalah jenis sensor serat berdasarkan prinsip teukan yang terstruktur yang dapat menyebabkan hilangnya intensitas cahaya, yang terdiri dari susunan lekukan termodulasi dan serat optik ( Dwi Hanto,2013 :2). Permasalahan pada kekelengkungan mikroskopik pada prinsipnya menimbulkan efek yang sama dengan *macrobending*. Jari-jari pada *microbending* adalah sama atau kurang dari garis-tengah di dalam fiber optik.



Gambar 11. Perbedaan Laju Penyusutan Dapat Menimbulkan Lekukan Mikro Buruk (Sumber : John Crisp dan Barry Elliot, 2006: 67)

Permasalahan yang muncul pada *microbending* berada pada proses manufaktur. Dimana yang biasa dijumpai adalah perbedaan laju pemuaian / penyusutan antara serat optik dan jaket pelindungnya. Penyusutan tersebut terjadi akibat dari

perubahan suhu pada kabel serat optik. Saat kabel serat optik dingin maka bagian inti/ mantel akan mengalami penyusutan dan memendek. Jika pada inti/ mantel menyusut lebih lambat dari pelindung jaketnya, maka bagian inti/ jakrt akan bergeser dari posisi semula sehingga menyebabkan lekukan. Peristiwa tersebut merupakan peristiwa *microbending*.

## 2. Sensor Fiber Optik

Teknologi serat sensor optik menawarkan kemungkinan penginderaan parameter yang berbeda seperti regangan, temperatur, tekanan di lingkungan yang keras dan lokasi terpencil. Jenis-jenis sensor memodulasi beberapa fitur dari gelombang cahaya dalam serat optik seperti intensitas dan fase atau menggunakan serat optik sebagai media untuk transmisi informasi pengukuran. Keuntungan dari sensor serat optik berbeda dengan konvensional yang listrik membuat mereka populer di aplikasi yang berbeda dan sekarang hari mereka menganggap sebagai komponen kunci dalam meningkatkan industri proses, sistem kontrol kualitas, diagnosa medis, dan mencegah dan mengendalikan kelainan proses umum (Bahareh Gholamzadeh dan Hooman Nabovati, 2008 : 1107).

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 ( Imam Khambali dan Endarko, 2014 : 33).

Sensor serat optik dapat diklasifikasikan dalam tiga kategori: lokasi penginderaan, prinsip operasi dan aplikasi. Tergantung pada lokasi dari sensor, sensor serat dapat diklasifikasikan dalam intrinsik atau ekstrinsik. Berdasarkan teknik pokok operasi dan demodulasi, sensor serat optik dapat dibagi lagi menjadi intensitas, fase, frekuensi atau sensor polarisasi (Shivang Ghetia dan Ruchi Gajjar, 2013 : 442).

Pada tipe sensor fiber optik ekstrinsik, fiber optik hanya berfungsi sebagai pandu gelombang saja atau penghubung (*link*) cahaya ke sistem sensing eksternal, dengan demikian tidak ada modifikasi pada struktur fiber optik untuk fungsi *sensing* penginderaan. Sensor ekstrinsik biasa digunakan untuk membawa cahaya menuju alat optik eksternal dimana pengukuran diambil. Dalam hal ini, serat optik bekerja jika mendapatkan cahaya pada daerah pengukuran. Sensor serat optik dapat menjadi ekstrinsik bila modulasi cahaya dilakukan oleh tranduser eksternal atau dapat menjadi sensor intrinsik bila modulasi terjadi dalam serat optik. Sedangkan pada sensor fiber optik intrinsik, fiber optik di samping sebagai pemandu cahaya juga sekaligus berperan dalam proses penginderaan (*sensing*), dimana terdapat bagian fiber optik yang berfungsi sebagai komponen penginderaan (*sensing element*), baik *cladding* maupun *core*. Sensor intrinsik terjadi ketika satu atau lebih sifat fisik dari yang dialami serat berubah. Gangguan yang terjadi menyebabkan perubahan karakteristik cahaya yang telah terjadi di dalam serat optik (Fitriana Prihati, 2016 : 18).

Pengukuran level ketinggian air telah banyak dikembangkan dengan berbagai metode antara lain metode mekanis, elektronik, ultrasonik, dan optik.

Metode optik dinilai lebih tahan terhadap lingkungan yang bersifat konduktif dan eksplosif dibanding metode yang lain. Selain itu, metode optik juga tahan terhadap gangguan interferensi gelombang magnetik (Andi Setiyono dan Ratna Yulia Sari, 2016: 15). Beberapa sensor level ketinggian cairan berbasis fiber optik telah dikembangkan beberapa tahun terakhir.

### **3. Fiber Optik Sebagai Sensor Pengukur Ketinggian Cairan**

Dalam industri besar perlu mengukur volume atau tinggi cairan dalam skala yang besar atau dalam suatu wadah yang besar seperti tangki. Bahkan bukan hanya pada industri besar saja yang melakukan melainkan juga pada industri kecil. Contohnya seperti mengukur bahan bakar pada tempat penyimpanan bahan bakar di SPBU ( Stasiun Pengisian Bahan Bakar Umum) dengan menggunakan tongkat untuk mengukur tinggi bahan bakar tersebut. Cara tersebut terbilang kurang efisien dan lambat. Dalam kasus bahan bakar diperlukan alat yang tahan terhadap bahan bakar atau non-listrik. Perlu diingat bahwa serat optik adalah alat yang hanya menyalurkan cahaya dan terbuat dari kaca/plastik sehingga serat optik aman digunakan untuk perangkat pengukur cairan. Selain aman serat optik juga bebas korosi dan tidak menimbulkan bunga api listrik yang dapat menyebabkan kebakaran.

Fiber optik telah digunakan untuk mengukur kadar cairan dari berbagai bentuk, seperti sensor yang tidak mengganggu *attenuasi* cahaya saat melewati dinding tangki, tetapi hanya berguna dalam tangki transparan (David Sanchez Montero. et. al, 2009 : 6447). Cara untuk melakukan *attenuasi* yaitu dengan menggunakan *bending* pada serat optik sehingga terjadi rugi daya di dalam serat

optik yang menyebabkan *attenuasi* pada sinyal keluaran di ujung serat optik. Beberapa konsep sensor berbasis modulasi intensitas adalah *macrobending*, transmisi, dan refleksi. Sensor modulasi intensitas lebih sederhana dan tidak banyak memerlukan *interface*. Salah satu yang dikembangkan dari sensor serat optik adalah sensor *macrobending*. Sistem *macrobending* memanfaatkan daya yang hilang dalam serat optik yang dibengkokkan sebagai sinyal dimana besarnya dipengaruhi oleh jari-jari pembengkokan. Ketika *loop* menyentuh permukaan uji maka akan terjadi kecacatan serat optik dan merubah diameter pembengkokan (Fitriana Prihati, 2016 : 18).

Cara kerja serat optik dalam cairan yaitu cahaya dari LED diarahkan ke dalam serat optik kemudian direndam dalam cairan yang ingin diukur. Cahaya berjalan melalui serat dan ketika serat benar-benar dikelilingi oleh cairan, tindakan cairan sebagai *cladding* kedua. Demikian total pantulan internal terjadi pada antarmuka inti *cladding*, dan cahaya mencapai reseptor praktis tanpa kehilangan kecuali untuk penyerapan. Ketika tangki tidak benar-benar penuh cairan, salah satu bagian dari serat dikelilingi oleh cairan dan bagian lain dikelilingi oleh udara. Di bagian terendam, refleksi internal total terjadi karena serat memiliki sebuah *cladding* (*Cladding* dari serat ditambah cairan), dan kerugian cahaya sangat kecil karena sebagian besar sinar dibatasi. Dalam porsi terkena serat, berkurangnya refleksi internal total terjadi karena serat hanya memiliki *cladding* dan terdapat sinar yang bocor. Jika kita mengkalibrasi alat ukur untuk cairan yang berbeda ketinggian dalam wadah, maka cukup dengan membaca keluar yang sinyal dari detektor kita dapat menentukan ketinggian

cairan. Semakin tinggi tingkat, nilai yang lebih besar dalam pembacaan fotodioda ( F. Perez-Ocon.et . al, 2005 : 125).

#### **4. Gel**

Gel adalah larutan koloid setengah padat, terbentuk dari zat polimer yang tak larut dalam air, misalnya larutan pati dalam air yang menyerupai lem. Penampilan gel seperti zat padat yang lunak dan kenyal (seperti *jelly*), namun pada rentang suhu tertentu dapat berperilaku seperti fluida (mengalir). Berdasarkan bentuknya, kebanyakan gel seharusnya tergolong zat cair, namun mereka juga memiliki sifat seperti benda padat.

Sifat dan karakteristik gel ( Lachman L.et. al, 1989 : 497) :

*a. Swelling*

Gel dapat mengembang karena komponen pembentuk gel dapat mengabsorbsi larutan sehingga terjadi pertambahan volume. Pelarut akan berpenetrasi diantara matriks gel dan terjadi interaksi antara pelarut dengan gel. Pengembangan gel kurang sempurna bila terjadi ikatan silang antar polimer di dalam matriks gel yang dapat menyebabkan kelarutan komponen gel berkurang.

*b. Sineresis*

Suatu proses yang terjadi akibat adanya kontraksi di dalam massa gel. Cairan yang terjerat akan keluar dan berada di atas permukaan gel. Pada waktu pembentukan gel terjadi tekanan yang elastis, sehingga terbentuk massa gel yang tegar. Mekanisme terjadinya kontraksi berhubungan dengan fase relaksasi akibat adanya tekanan elastis pada saat terbentuknya

gel. Adanya perubahan pada ketegaran gel akan mengakibatkan jarak antar matriks berubah, sehingga memungkinkan cairan bergerak menuju permukaan. Sineresis dapat terjadi pada hidrogel maupun organogel.

c. Efek suhu

Efek suhu mempengaruhi struktur gel. Gel dapat terbentuk melalui penurunan temperatur tapi dapat juga pembentukan gel terjadi setelah pemanasan hingga suhu tertentu. Polimer seperti MC, HPMC, terlarut hanya pada air yang dingin membentuk larutan yang kental. Pada peningkatan suhu larutan tersebut membentuk gel. Fenomena pembentukan gel atau pemisahan fase yang disebabkan oleh pemanasan disebut thermogelation.

d. Efek elektrolit

Konsentrasi elektrolit yang sangat tinggi akan berpengaruh pada gel hidrofilik dimana ion berkompetisi secara efektif dengan koloid terhadap pelarut yang ada dan koloid digaramkan(melarut). Gel yang tidak terlalu hidrofilik dengan konsentrasi elektrolit kecil akan meningkatkan rigiditas gel dan mengurangi waktu untuk menyusun diri sesudah pemberian tekanan geser. GelNa-alginat akan segera mengeras dengan adanya sejumlah konsentrasi ion kalsium yang disebabkan karena terjadinya pengendapan parsial dari alginat sebagai kalsium alginat yang tidak larut.

e. Elastisitas dan Rigiditas

Sifat ini merupakan karakteristik dari gel gelatin agar dan nitroselulosa, selama transformasi Dari bentuk sol menjadi gel terjadi

peningkatan elastisitas dengan peningkatan konsentrasi pembentuk gel. Bentuk struktur gel resisten terhadap perubahan atau deformasi dan mempunyai aliran viskoelastik. Struktur gel dapat bermacam-macam tergantung dari komponen pembentuk gel.

f. Rheologi

Larutan pembentuk gel (gelling agent) dan dispersi padatan yang terflokulasi memberikan sifat aliran pseudoplastis yang khas, dan menunjukkan jalan aliran non-newton yang dikarakterisasi oleh penurunan viskositas dan peningkatan laju aliran.

## 5. Luasan Daerah di Bawah Kurva

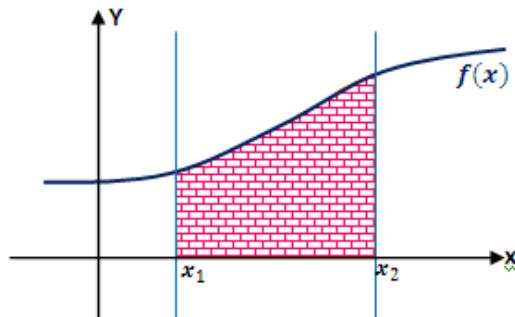
Untuk menghitung luasan daerah di bawah kurva seperti Gambar 12.

Menggunakan rumus :

$$L = \int_a^b f(x) \, dx \quad (10)$$

Dimana nilai  $a = x_1$  dan  $b = x_2$

Gambar 12 merupakan bentuk umum luasan daerah di bawah kurva :



Gambar 12. Luasan daerah dibawah kurva

## B. Kerangka Berfikir

Penelitian ini untuk mencari pengaruh formasi kelengkungan dan pelapisan *cladding* POF terhadap daya optik yang diterima oleh OPM. Sebagaimana telah diketahui selain digunakan pada sistem komunikasi, fiber optik plastik juga telah banyak digunakan sebagai sensor. Pada penelitian ini POF digunakan sebagai sensor ketinggian air. POF tipe SH-4001-1.3 memiliki indeks bias *core* 1,49 dan indeks bias *cladding* sebesar 1,41. Nilai indeks bias didapat dari *data sheet* fiber optik.

Cahaya masuk ke dalam fiber optik dengan sudut tertentu, sudut ini dinamakan sudut penerimaan. Fiber optik yang berada pada keadaan lurus, jika cahaya dari udara ke *core* tersebut datang dengan sudut berada diluar sudut penerimaan, maka cahaya tidak akan keluar dari fiber optik dan akan hilang di tengah jalan. Namun jika cahaya yang datang dari udara ke *core* berada pada kisaran nilai sudut penerimaan maka cahaya tersebut akan merambat hingga keluar fiber optik.

Pelekukan pada POF (*macrobend*) dapat dimanfaatkan melalui dua cara, yaitu dengan memanfaatkan *attenuasi* yang terjadi di dalam fiber optik dan memanfaatkan cahaya yang lolos dari fiber optik. Ketika fiber optik dilekukkan, cahaya yang mengenai bidang perbatasan *core-cladding* akan membentuk sudut datang ( $\theta_{core}$ ) tertentu. Karena sudah diketahui indeks bias *core* dan *cladding* dari fiber optik, maka dapat ditentukan besar sudut kritis pada fiber optik tersebut. Sudut kritis antara *core* dan *cladding* sebesar  $71,14^0$  sangat penting dalam proses pembiasan dan pemantulan cahaya dalam fiber optik. Sudut datang yang

mengenai bidang perbatasan *core-cladding* lebih kecil dari sudut kritis maka cahaya keluar dari *core* dan masuk ke dalam *cladding*. Besar sudut pembiasan cahaya yang terjadi di dalam *cladding* ditentukan dengan menggunakan Hukum Snellius. Cahaya yang merambat di dalam *cladding* dan akhirnya mengenai bidang perbatasan akan membentuk sudut datang ( $\theta_{cladding}$ ) tertentu. Selanjutnya nilai sudut kritis berubah karena medium tempat cahaya merambat tidak lagi *core-cladding*, melainkan *cladding*-udara. Penambahan air pada gelas ukur secara bertahap menggantikan medium udara dengan medium air, sehingga nilai sudut kritis merupakan sudut kritis *cladding-air*. Jika sudut datang ( $\theta_{cladding}$ ) kurang dari sudut kritis maka cahaya akan dibiaskan keluar dari *cladding*. Nilai sudut pembiasan cahaya yang terjadi pada air ditentukan dengan menggunakan Hukum Snellius.

Cahaya mengenai sebuah bahan maka akan terjadi dua hal, yaitu sebagian cahaya dipantulkan dan sebagian cahaya lagi akan dibiaskan ke dalam medium berikutnya. Pemantulan pada suatu bahan dapat dihitung dengan menggunakan persamaan Fresnel. Pemantulan pada POF berbentuk lengkung terjadi saat cahaya mengenai bidang perbatasan *core-cladding* dan *cladding-air*.

## **BAB III**

### **METODE PENELITIAN**

#### **A. Waktu dan Tempat Penelitian**

1. Penelitian tentang pengaruh formasi kelengkungan *polymer optical fiber (pof)* yang disisipi gel terhadap keluaran untuk mengukur ketinggian cairan dilakukan pada bulan Desember 2016 sampai Maret 2017
2. Penelitian dilakukan di Ruang Gelap Laboratorium Spektroskopi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Yogyakarta.

#### **B. Variabel Penelitian**

1. Variabel bebas : Ketinggian air dan kuantisasi bentuk kelengkungan
2. Variabel terikat : Daya optik yang diterima oleh OPM.
3. Variabel kontrol : Intensitas keluaran dari laser Helium-Neon, lebar kelengkungan

#### **C. Alat dan Bahan Penelitian**

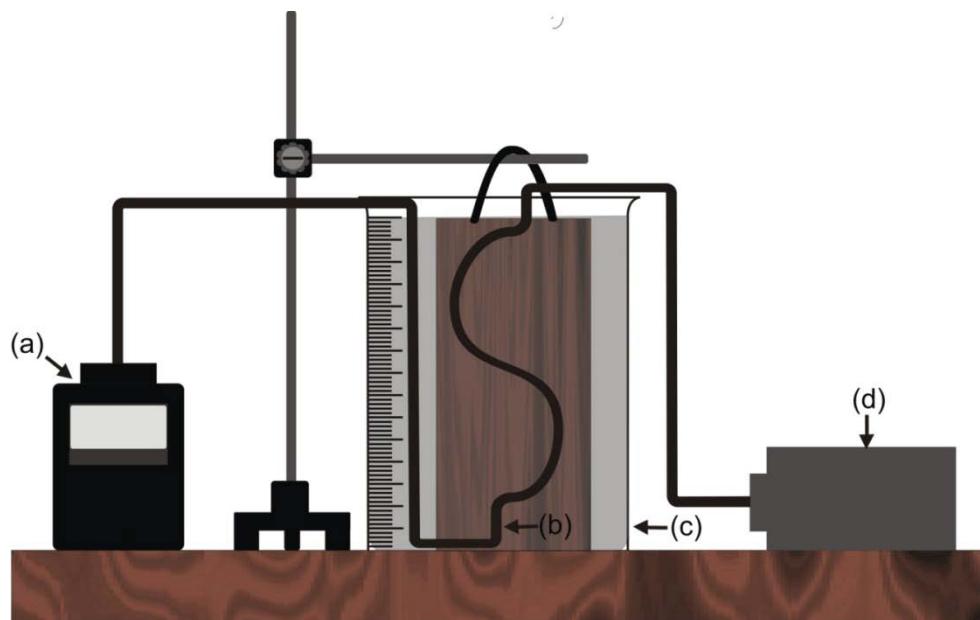
1. Bahan :
  - a. Kabel fiber optik plastik tipe SH-4001-1.3
  - b. Isian gel menggunakan Dettol Instant Hand Sanitizer
  - c. Air

2. Alat :

- a. Laser Helium-Neon yang digunakan sebagai sumber cahaya (sinyal) masukan fiber optik dengan daya keluaran 5 mW dan  $\lambda = 632,8$  nm.
- b. OPM sebagai detektor cahaya untuk mengetahui pelemahan daya (*loss*) atau *atenuasi*.
- c. Amplas halus untuk menghaluskan dan meratakan ujung fiber optik yang telah dipotong
- d. Selang kecil untuk pengganti selongsong
- e. Wadah untuk tempat air
- f. Kayu yang digunakan sebagai bantalan lintasan
- g. Tali benang, tali senar, lakban dan gunting
- h. Statif untuk menggantungkan kayu
- i. Suntikan untuk memasukkan gel ke dalam selang kecil
- j. Penggaris sebagai pengukur ketinggian air

## D. Desain Penelitian

Gambar 13 merupakan desain alat yang digunakan dalam penelitian :

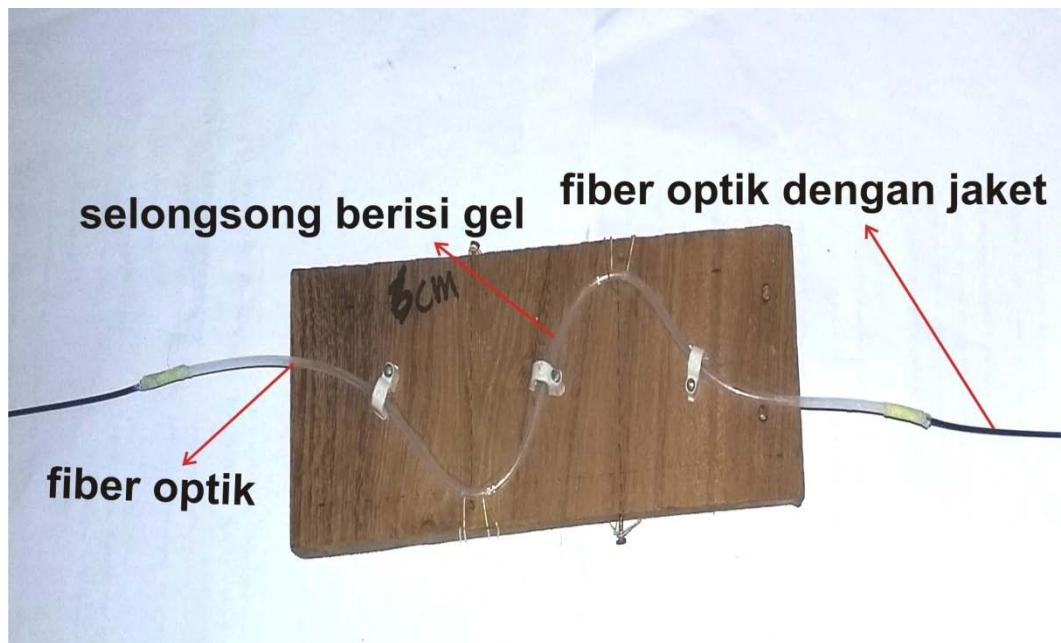


Gambar 13. Desain Alat Penelitian

Keterangan :

- a) OPM
- b) Fiber Optik
- c) Wadah untuk air
- d) Laser Helium-Neon

Gambar 14 merupakan detail pada (b) :



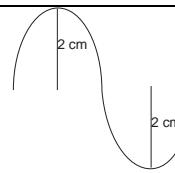
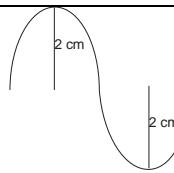
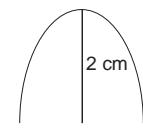
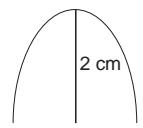
Gambar 14. Detail desain pada (b)

Keterangan :

1. Pengelupasan pada percobaan dilakukan pada jaket fiber optik.
2. Gel yang digunakan pada selongsong mengandung bahan aktif alkohol 60%. Umumnya gel berbasis alkohol yang digunakan sebagai *hand sanitizer*.
3. Senar yang digunakan untuk mengunci kelengkungan fiber optik merupakan senar yang bening dan elastis sehingga tidak mengganggu jalannya cahaya pada fiber optik dan dapat meminimalisir fiber optik patah.

Formasi pada (b) adalah :

Tabel 2. Spesifikasi formasi pada point (b)

Spesifikasi	Formasi Fiber Optik			
	A	B	C	D
Panjang Lintasan (cm)	20	20	20	20
Panjang Pengelupasan (cm)	34	34	34	34
Lebar Kelengkungan (cm)	6	8	9	10
Tinggi Kelengkungan (cm)	2	2	2	2
Bentuk (Gelombang)	1	1	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$
Gambar Desain				
Foto				

## **E. Prosedur Penelitian**

Tahapan penelitian ini adalah menyusun alat seperti pada desain alat penelitian dengan prosedur sebagai berikut:

1. Memotong serat optik plastik sepanjang 1,5 meter
2. Mengelupas jaket fiber optik plastik bagian tengah sepanjang 34 cm
3. Mengganti jaket / selongsong dengan selang kecil kemudian menyiapkan gel dengan menggunakan suntikan
4. Memasang serat optik plastik yang telah disisipi ke dalam lintasan yang berbentuk sinusoida pada kayu dan meletakkan ke dalam wadah yang telah berisi air
5. Menghubungkan ujung pertama serat optik plastik pada laser Helium-Neon dan mengatur letaknya agar cahaya yang masuk dari laser dapat optimal, sedangkan ujung kedua dihubungkan pada OPM untuk mengetahui keluaran daya optik
6. Mengukur daya optik keluaran yang diterima OPM untuk setiap pertambahan tinggi air 4 cm, 6 cm, 8 cm, 10 cm, 12 cm, 14 cm, 16 cm, 18 cm, 20 cm
7. Tahap penelitian 1 sampai 6 diulangi dengan lebar lengkungan yang berbeda

## **F. Teknik Analisis Data**

Data yang diperoleh selama penelitian diolah dengan tahap-tahap berikut :

1. Keluaran dari POF yang dideteksi dengan menggunakan OPM.
2. Daya optik yang diterima OPM dicatat setiap adanya penambahan ketinggian air.
3. Percobaan diulangi dengan lebar kelengkungan yang telah disisipi untuk setiap perubahan ketinggian air dalam wadah.
4. Membuat grafik hubungan antara perubahan ketinggian air (cm) terhadap daya optik keluaran (dBm) dengan menggunakan *Software Origin*.
5. Membuat grafik normalisasi dari Formasi A hingga Formasi D.
6. Menghitung dan membuat grafik luasan daerah di bawah kurva
7. Menghitung nilai sensitivitas dan linearitas untuk setiap perlakuan pada POF.

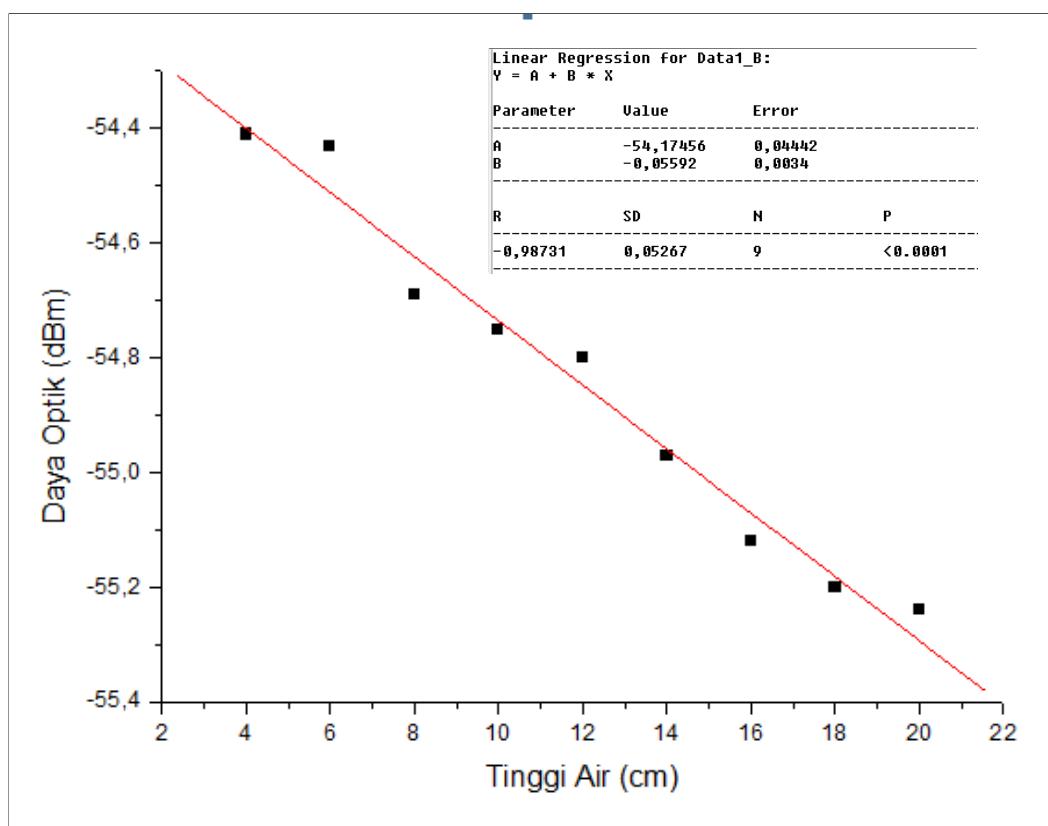
## BAB IV

### HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

#### A. Hasil Penelitian

Berdasarkan penelitian diperoleh hasil sebagai berikut :

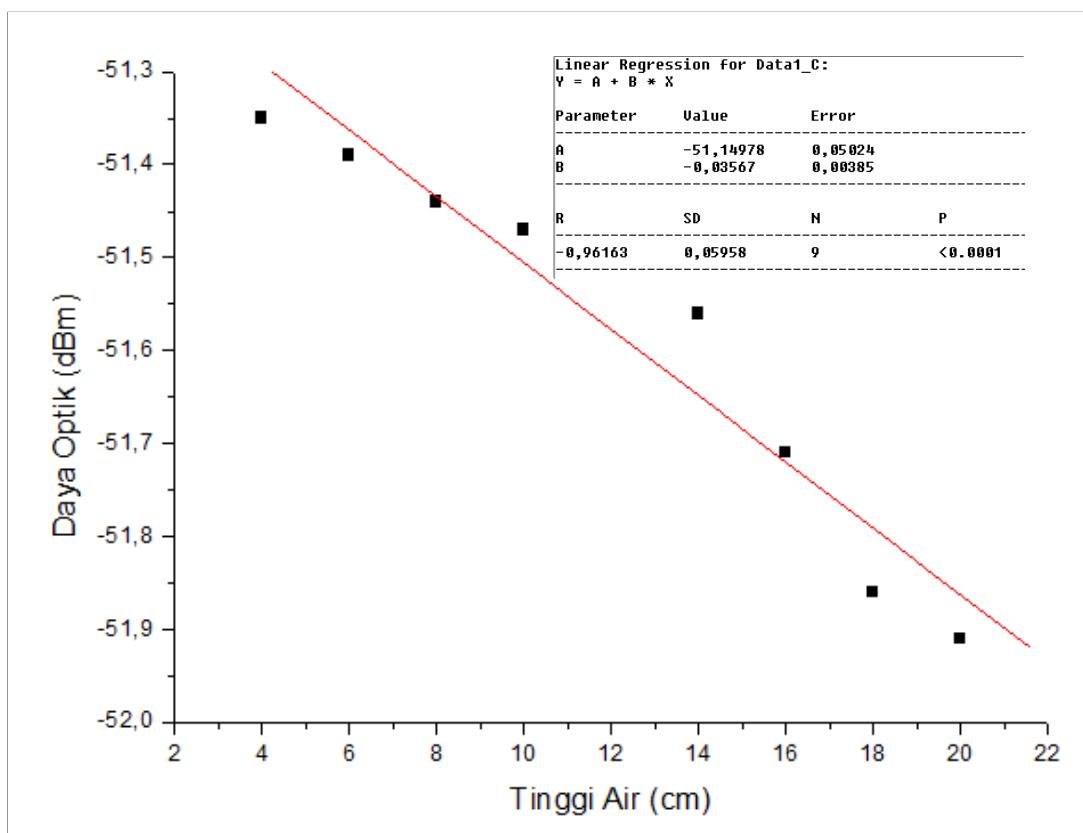
##### 1. Pengaruh ketinggian air terhadap intensitas keluaran fiber optik pada Formasi A



Gambar 15. Grafik hubungan antara daya optik (dBm) terhadap perubahan tinggi air (cm) pada Formasi A

Dari Gambar 15 dapat dilihat, saat tinggi air 8 cm mengalami angka penurunan yang tinggi. Dalam grafik ini nilai kenaikan tidak konstan. Selisih nilai penurunan dari 4 cm hingga 20 cm adalah 0,83 dBm dengan kemiringan grafik 0,056.

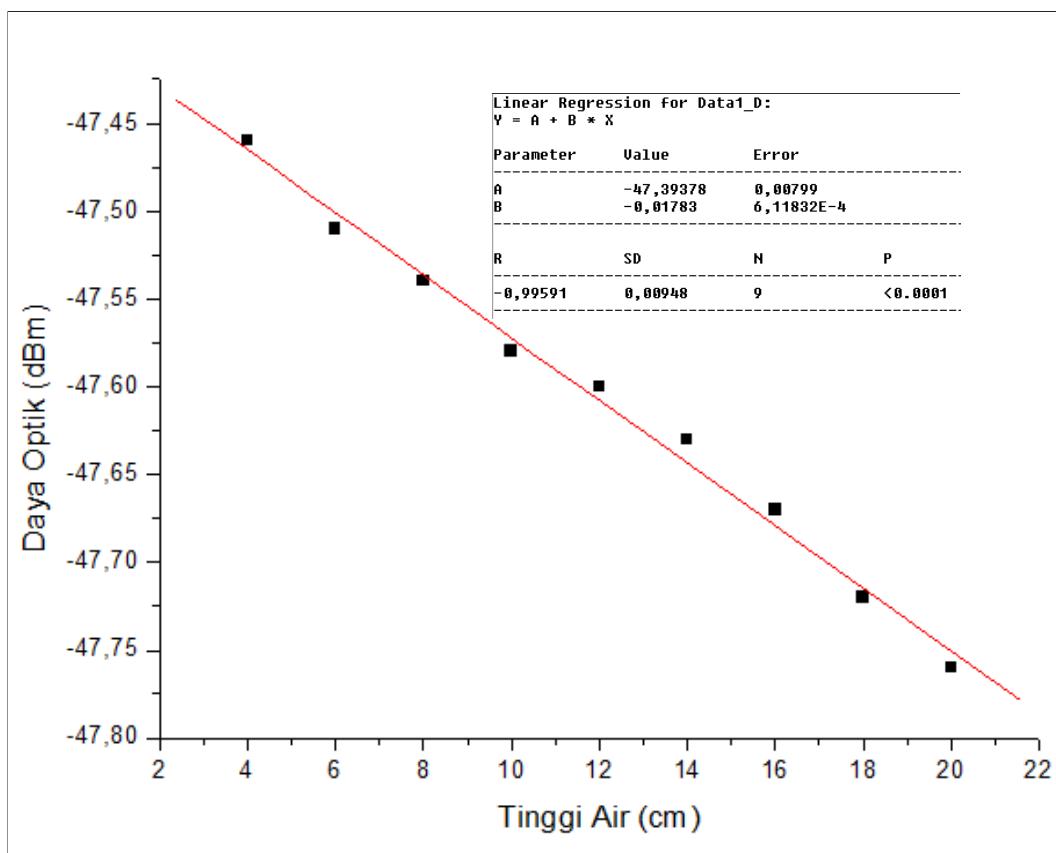
**2. Pengaruh ketinggian air terhadap intensitas keluaran fiber optik pada Formasi B**



Gambar 16. Grafik hubungan antara daya optik (dBm) terhadap perubahan tinggi air (cm) pada Formasi B

Pada Gambar 16 nilai penurunan tidak konstan, pada ketinggian air 14 cm dan 16 cm mengalami angka penurunan yang tinggi. Selisih nilai penurunan ketinggian air dari 4 cm hingga 20 adalah 0,56 dBm dengan kemiringan grafik sebesar 0,036.

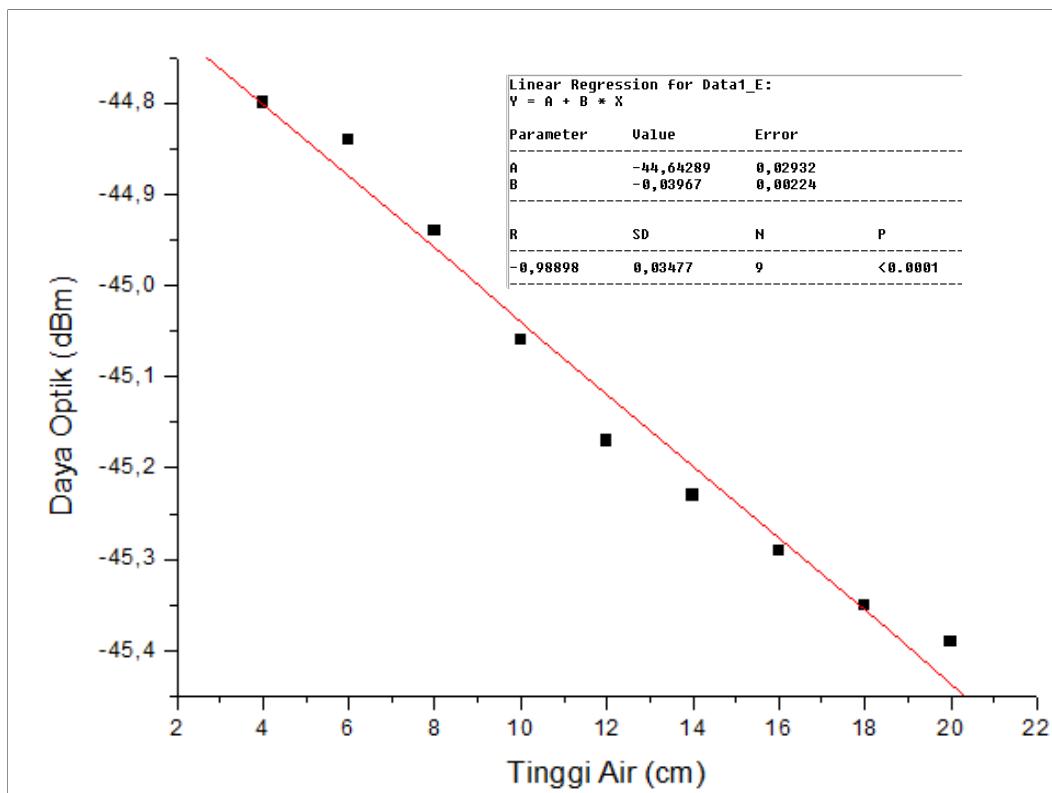
### 3. Pengaruh ketinggian air terhadap intensitas keluaran fiber optik pada Formasi C



Gambar 17. Grafik hubungan antara daya optik (dBm) terhadap perubahan tinggi air (cm) pada Formasi C

Pada Gambar 17 nilai penurunan tidak konstan namun mendekati konstan. Selisih nilai penurunan ketinggian air dari 4 cm hingga 20 adalah 0,3 dBm dengan nilai kemiringan grafik sebesar 0,018.

#### 4. Pengaruh ketinggian air terhadap intensitas keluaran fiber optik pada Formasi D



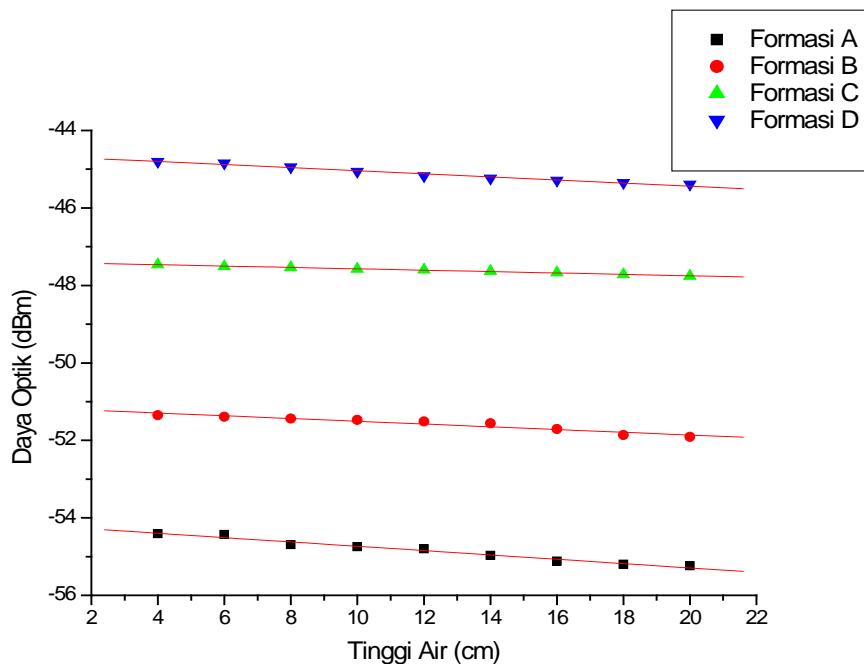
Gambar 18. Grafik hubungan antara daya optik (dBm) terhadap perubahan tinggi air (cm) pada Formasi D

Pada Gambar 18 nilai penurunan tidak konstan, pada ketinggian air 6 cm, 8 cm dan 10 cm mengalami angka penurunan yang tinggi. Selisih nilai penurunan ketinggian air dari 4 cm hingga 20 adalah 0,59 dBm dengan kemiringan grafik sebesar 0,040.

Pemilihan *fitting* linear pada grafik dilakukan karena nilai daya optik (dBm) merupakan nilai dalam bentuk logaritma yang merupakan bentuk linear dengan rumus pada persamaan (9) :

$$\text{Nilai daya dalam satuan desibel} = 10 \log \left( \frac{\text{nilai daya dalam watt}}{1 \text{ mW}} \right) \text{ dBm}$$

**5. Pengaruh ketinggian air terhadap intensitas keluaran fiber optik pada Formasi A hingga Formasi D**



Gambar 19. Grafik gabungan antara daya optik (dBm) dengan tinggi air (cm) dengan variasi lebar kelengkungan.

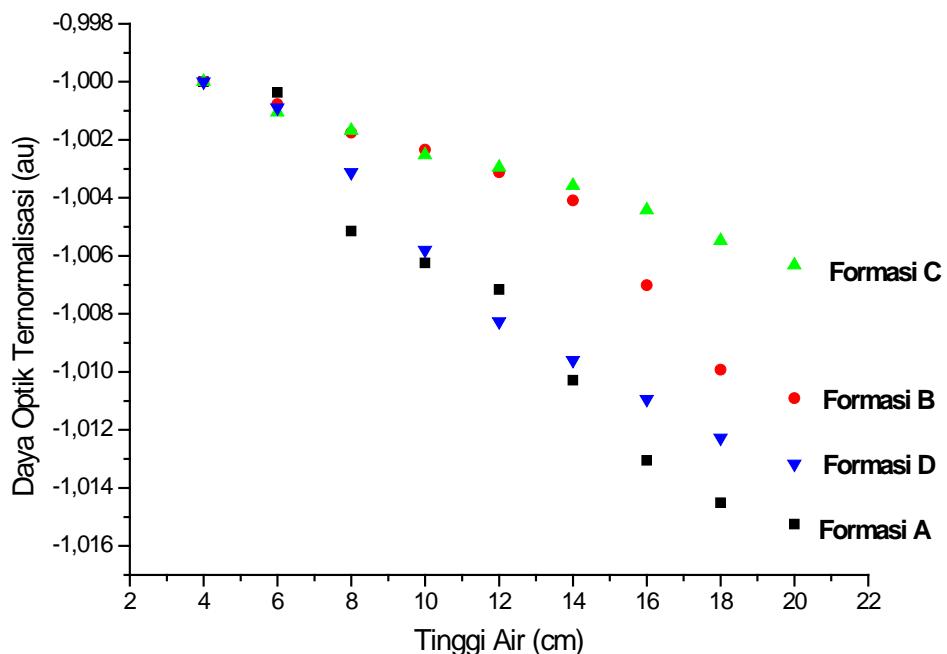
Analisa sensitivitas merupakan teknik untuk menilai dampak berbagai perubahan dari masing-masing variabel penting terhadap hasil yang mungkin terjadi. Penentuan sensitivitas pada elemen linear dari gradien dimana di dapat dari *sloping* menggunakan *origin*.

Tabel 3. Nilai gradien masing-masing formasi

Formasi	Gradien
A	-0,056
B	-0,036
C	-0,018
D	-0,040

Tanda negatif pada nilai gradient menunjukkan bahwa garis pada grafik condong ke kiri. Sesnsitivitas terbaik terdapat pada Formasi A.

## 6. Pengaruh ketinggian air terhadap intensitas keluaran fiber optik pada semua formasi



Gambar 20. Grafik gabungan antara daya optik ternormalisasi (au) dengan tinggi air (cm) dengan variasi lebar kelengkungan

Normalisasi merupakan pendekatan matematis untuk meminimalkan pengulangan data. Normalisasi dilakukan dengan membagi nilai daya optik pada setiap kenaikan tinggi air dengan nilai daya optik mutlak tertinggi. Dari grafik di atas menunjukkan adanya keluaran daya optik yang berbeda saat diberikan perlakuan pada fiber optik. Saat ketinggian air berubah, maka akan terjadi perubahan daya optik meskipun perubahan tersebut sangat kecil. Pada Formasi A, Formasi B dan Formasi C mengalami kenaikan sedangkan saat Formasi D mengalami penurunan. Dapat juga dikatakan data yang didapat optimal pada saat

Formasi C. Untuk mempermudah memahami grafik yang didapat, kemudian menghitung nilai luasan yang berada di bawah kurva.

### 7. Nilai luas daerah di bawah kurva

Untuk menghitung nilai luasan menggunakan rumus matematika integral pada persamaan 10 :

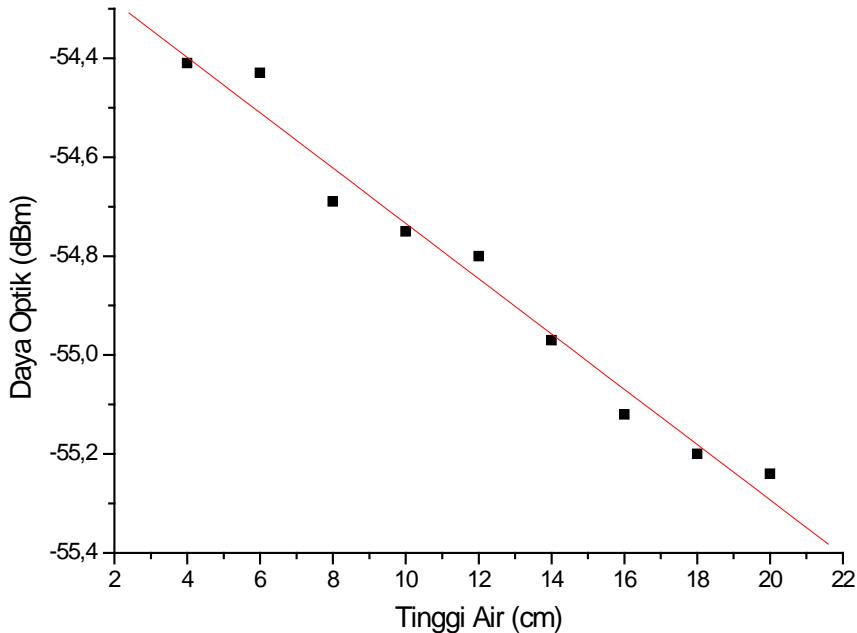
$$L = \int_a^b f(x) dx \quad (10)$$

Dimana :

a = batas bawah pada kurva

b = atas atas pada kurva

perhitungan untuk Formasi A



Gambar 21. Grafik hubungan antara daya optik yang sudah dinormalisasi dengan tinggi air (cm) pada Formasi A

Dengan hasil *fitting linear* dari *origin*

Linear Regression for Data1\_B:

$$Y = A + B * X$$

Parameter	Value	Error
A	1,12565	0,04393
B	-0,03753	0,00336

A	1,12565	0,04393
B	-0,03753	0,00336

R	SD	N	P
-0,97304	0,05209	9	<0.0001

-0,97304	0,05209	9	<0.0001
----------	---------	---	---------

Sehingga dari data *fitting* tersebut dapat di masukkan ke dalam persamaan 10

$$y = a + bx$$

$$y = f(x)$$

$$y_1 = 1,126 - 0,038x$$

Dengan a = 4 dan b = 20

$$L = \int_4^{20} 1,126 - 0,038x \, dx$$

$$L = 1,126x - 0,019x^2 \quad | \begin{matrix} 20 \\ 4 \end{matrix}$$

$$L = [(1,126 \times 20 - 0,019 \times 400) - (1,126 \times 4 - 0,019 \times 16)]$$

$$L = 14,92 - 4,2$$

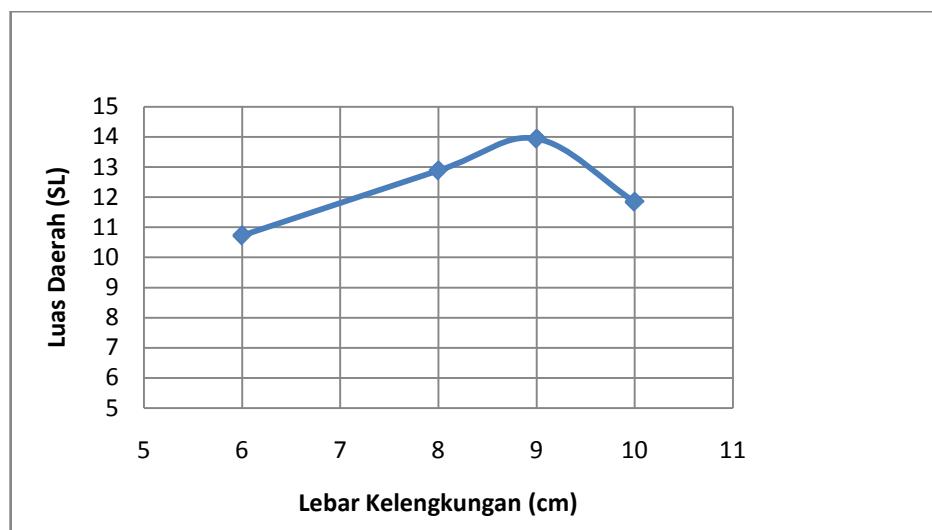
$$L = 10,72 \text{ SL}$$

Untuk formasi yang lain dapat dilihat dalam lampiran. Berikut hasil perhitungan dari lebar kelengkungan yang berbeda berada pada tabel 3.

Tabel 4. Hasil perhitungan dengan lebar kelengkungan yang berbeda

Lebar Kelengkungan (cm)	Luas Daerah (SL)
6	10,72
8	12,88
9	13,936
10	11,84

Gambar 22 merupakan grafik luasan daerah di bawah kurva :



Gambar 22. Grafik hubungan antara luas daerah (SL) dengan lebar kelengkungan (cm)

Manfaat dari menghitung luas daerah tersebut adalah untuk mempermudah memahami nilai dari setiap daerah tersebut. Dapat dilihat sesuai pada Gambar 21 nilai pada Formasi C merupakan data yang disarankan.

## B. Pembahasan

Pada penelitian ini mekanisme optik yang dilakukan pada POF adalah dengan melakukan modulasi intensitas. Modulasi intensitas dilakukan dengan cara mengukur daya optik keluaran fiber optik dengan memodifikasi keadaan *cladding*. Penelitian sensor ketinggian air berbasis POF berbentuk sinusoida termasuk dalam klasifikasi sensor fiber optik intrinsik dimana POF tersebut di samping sebagai pemandu cahaya sekaligus berperan sebagai proses penginderaan (*sensing*) ketinggian air pada bagian-bagian tertentu POF tersebut. Hasil penelitian ditunjukkan seperti pada grafik Gambar 19 yang merupakan grafik yang sudah dinormalisasi. Kenaikan ketinggian (variabel bebas) yang dilakukan pada penelitian ini sebanyak 9 tahap, yaitu 4 cm, 6 cm, 8 cm, 10 cm, 12 cm, 14 cm, 16 cm, 18 cm dan 20 cm. Sumber cahaya laser Helium-Neon yang digunakan memiliki  $\lambda = 632,8$  nm dan spesifikasi daya 5 mW.

Gambar 19 menunjukkan daya optik (dBm) yang telah dideteksi oleh OPM terhadap ketinggian air (cm) formasi lebar kelengkungan yang berbeda. Bahan *core* yang digunakan adalah *Polymethyl-Methacrylate Resin* dengan diameter 940  $\mu\text{m}$ , sedangkan bahan *cladding* nya *Fluorinated Polymer* dengan diameter 1000  $\mu\text{m}$ . Indeks bias *core*= 1.49, *cladding*= 1.41 dan numerikal aperture= 0,48. Pada dasarnya penelitian ini mengukur besarnya daya optik yang hilang (*loss*) akibat adanya pemberian perlakuan lebar kelengkungan yang berbeda. Hilangnya daya

akibat perlakuan yang diberikan sesuai dengan karakteristik fiber optik yaitu fiber optik akan mengalami pelemahan ketika mengalami pembengkokan atau pelapisan pada *cladding*. Daya optik keluaran dari POF dideteksi dengan menggunakan alat yang disebut OPM. Pada penelitian ini satuan ukur yang digunakan adalah *desibel milliwatt* (dBm). Hasil pengukuran menyatakan adanya pelemahan daya (*loss*) yang ditunjukkan oleh penurunan nilai pada keluaran POF seperti pada Gambar 20. Hasil penelitian diperjelas dengan menggunakan luasan daerah di bawah kurva seperti pada Gambar 22 dimana menunjukkan Formasi C merupakan bentuk yang disarankan.

### 1. Sensitivitas sensor ketinggian cairan yang berbentuk sinusoida

Sensitivitas merupakan perubahan pada *output* untuk setiap perubahan *input* terkecil. Untuk elemen linier, penentuan sensitivitas merupakan gradien ( $\Delta y/\Delta x$ ) atau kemiringan grafik. Nilai gradien (B) pada Tabel 5 didapatkan dari *linear fit* dengan menggunakan *Origin*. Tabel 5 merupakan hasil perhitungan sensitivitas dari *Origin* :

Tabel 5. Sensitivitas untuk setiap lebar kelengkungan yang berbeda

Lebar Kelengkungan (cm)	Sensitivitas
6	-0,056 ± 0,003
8	-0,036 ± 0,004
9	-0,018 ± 0,0006
10	-0,040 ± 0,002

Sensitivitas terbaik terdapat pada Formasi A dengan lebar kelengkungan 6 cm dengan nilai 0,056.

Tabel 6. Linearitas untuk lebar kelengkungan yang berbeda

Lebar Kelengkungan (cm)	Linearitas
6	0,98731
8	0,96163
9	0,99591
10	0,98898

Dalam uji linearitas bertujuan untuk mengetahui apakah dua variabel mempunyai hubungan yang linear. Pada origin telah didapatkan nilai regresi hasil *fitting linear* pada grafik. Analisis regresi sederhana merupakan hubungan antara dua variabel yaitu variabel bebas dan variabel tak bebas. Linearitas dapat diwujudkan dalam persamaan garis lurus. Tabel 6 menunjukkan nilai linearitas fiber optik yang berbentuk sinusoida dengan variasi Formasi A, Formasi B, Formasi C dan Formasi D dengan nilai mendekati harga 1. Jika linearitas ( $R$ ) bernilai 1 artinya titik data berimpit dengan garis lurus. Linearitas terbaik terdapat pada Formasi C dengan nilai linearitas 0,99591. Artinya hal ini hubungan antara intensitas cahaya linear terhadap penambahan ketinggian air.

## 2. Peran fiber optik dalam pengukur level ketinggian cairan

Dalam pengukuran level ketinggian cairan metode optik dinilai lebih tahan terhadap lingkungan yang bersifat konduktif dan eksplosif. Selain itu, metode optik tahan terhadap gangguan interferensi gelombang magnetik. Perlu diingat juga serat optik merupakan alat yang hanya menyalurkan cahaya dan terbuat dari kaca / plastik sehingga aman digunakan untuk perangkat pengukur cairan. Serat

optik juga bebas korosi dan tidak menimbulkan bunga api listrik yang dapat menimbulkan kebakaran. Namun dengan menggunakan fiber optik juga dapat menimbulkan kerugian yaitu karakteristik transmisi dapat berubah bila terjadi tekanan dari luar yang berlebihan, konstruksi fiber optik lemah sehingga dalam pemakaiannya diperlukan lapisan penguat sebagai proteksi dan tidak dapat dialiri arus listrik sehingga dapat memberikan catuan pada pemasangan *repeater*.

## **BAB V**

### **SIMPULAN DAN SARAN**

#### **A. SIMPULAN**

1. Pelapisan pada *cladding* pada setiap formasi kelengkungan fiber optik dapat menimbulkan pengaruh pada *output* POF karena adanya perbedaan pemantulan pada bahan pelapis tersebut. Pemantulan pada POF berbentuk lengkung terjadi saat cahaya mengenai bidang perbatasan *core-cladding* dan *cladding-air*. Nilai intensitas cahaya keluaran fiber optik yang berbentuk sinusoida pada setiap lebar kelengkungannya semakin kecil saat diberikan tambahan ketinggian air.
2. Sensitivitas terbaik terdapat pada Formasi A dengan nilai sebesar 0,056. Linearitas terbaik juga terdapat pada Formasi C dengan nilai sebesar 0,99591.

#### **B. SARAN**

1. Saat melakukan pengelupasan jaket pelindung POF harus dilakukan dengan hati-hati agar tidak merusak *cladding* dan *core*, yang dapat mempengaruhi transmisi cahaya dalam POF.
2. Saat memasukkan fiber optik ke dalam lintasan harus berhati-hati karena apabila terlalu ditekan akan menimbulkan fiber optik patah
3. Diperlukan alat tambahan untuk meredam getaran yang ada di sekitar tempat percobaan

4. Lebar kelengkungan yang digunakan harus lebih besar dari 6 cm karena apabila kurang dari itu akan mudah patah dan cahaya yang terpantul karena adanya perlakuan lengkungan dapat lebih besar sehingga lebih mudah terbaca dan tidak hilang di tengah jalan.

## DAFTAR PUSTAKA

- Ananto, Bayu. (2012). *Simulasi Perambatan Cahaya pada Serat Optik*. Makalah Seminar Tugas Akhir. Semarang : Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik UNDIP
- Anonim. Spesifikasi *Polymer Optical Fiber Mitsubishi Rayon SH-4001-1.3*. Diakses dari <http://i-fiberoptics.com/fiber-detail.php?id=13>. Pada tanggal 18 April 2017, Jam 00:19 WIB.
- Barani, Imee R.R. (2014). *Pengaruh Rugi-rugi Macrobending Terhadap Kinerja Plastic Optical Fiber Jenis Step Index Multimode*. Jurnal Teknik Elektro. Hlm. 1-6
- Buwana, Mahendra Wishnu. (2014). *Analisis Pengaruh Macrobending Losses Terhadap Performansi Sistem Time Division Multiplexing dengan Media Transmisi Plastic Optical Fiber*. Malang : Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Brawijaya
- Crisp, John & Elliot, Barry. (2006). *Introduction To Fiber Optics*. Penerjemah: Soni Astranto. Jakarta: Erlangga.
- Fadilah, Rijal. (2014). *Media Transmisi Fiber Optik*. Diakses dari <http://ists.sv.ugm.ac.id/ists/download/tutorial.pdf> pada tanggal 5 februari 2017 jam 20:52 WIB.
- Ghetia, Shivang dan Ruchi Gajjar. (2013). *Classification of Fiber Optic Sensors*. International Journal of Electronics Communication and Computer Technology. Volume 3 Issue 4. Hlm. 442-445
- Gholamzadeh, Bahareh dan Hooman Nabovati. (2008). *Fiber Optic Sensors*. International Journal of Electrical, Computer, Energetic and CommunicationEngineering . Vol: 2. No. 6. Hlm. 1107-1117
- Hanto, Dwi. (2013). *Analisa Pengaruh Mikrobending untuk Aplikasi pada Sensor Beban Berbasis Serat Optik*. Seminar Nasional 2<sup>nd</sup> Lontar Physics Forum 2013. No. 978-602-8047-80-7
- Hasanah. (2009). *Revolusi Dunia Telekomunikasi dengan Serat Optik*. JETC (Volume 4 nomor 1).Hlm. 613-626
- Keiser, Gerd. (1983). *Optical Fiber Communications*. McGraw-Hill: Inggris

- Khambali, Imam dan Endarko. (2014). *Rancang Bangun Sensor Polimer Serat Optik untuk Pendekripsi Konsentrasi Ion Ca<sup>+</sup> dalam Air*. Jurnal Materi dan Pembelajaran Fisika. Volume 4 Nomor 2. Hlm. 32-37
- Leon, Lachman. *et al.* 1989. *Teori dan Praktek Farmasi Industri II*. Jakarta : UI Press.
- Lou, Yanhua. *et al.* (2017). *Fabrication of Polymer Optical Fibre (POF) Grating*. Jurnal Sensors. 10.3390/s17030511. Hlm 1-20
- Maharani, Aninda *et al*. 2009. *Pengukuran Pengaruh Kelengkungan Serat Optik terhadap Rugi Daya Menggunakan Optical Time Domain Reflectometer (OTDR)*. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Novermber.
- Marzuki, Andri. (2011). *Serat Optik*. Diakses dari [http://andri\\_mz.staff.ipb.ac.id/wp-content/plugins/as-pdf/generate.php?post=71](http://andri_mz.staff.ipb.ac.id/wp-content/plugins/as-pdf/generate.php?post=71) pada tanggal 5 februari 2017 jam 21:03 WIB
- Montero, David Sancez. *et al.* (2009). *A Self-Referencing Intensity Based Polymer Optical Fiber Sensor for Liquid Detection*. Jurnal Sensors ISSN 1424-8220. Hlm 6447-6455
- Perez-Ocon, F. *et al.* (2005). *Fiber-Optic Liquid-Level Continunous Gauge*. Sensors and Actuators A 125. Hlm 124-132
- Pramono, Nopi Yudi *et al*. 2012. *Pengaruh Lekukan Bertekanan Pada Serat Optik Plastik Terhadap Pelemahaman Intensitas Cahaya*. Prosiding Seminar Nasional. Yogyakarta: Universitas Negeri Yogyakarta.
- Prihati, Fitriana dan Pujayanto. (2016). *Sensor Serat Optik untuk Pengukuran Beban Bergerak*. Jurnal Materi dan Pembelajaran Fisika (JMPF). Volume 6 Nomor 1. Hlm.14-24
- Rozy, Fachrul. (2012). *Teknik Penyambungan Serat Optik dengan Metode Penyambungan Mechanic (Mechanical Splicing)*. Semarang : Teknik Elektro Universitas Diponegoro
- Setiono, Andi dan Ratna Yulia Sari. (2016). *Pengukuran Level Ketinggian Air Menggunakan Fiber Bragg Grating (FBG) Berbasis Modulasi Intensitas Laser Dioda*. Prosiding Seminar Nasional Fisika. Jakarta : FMIPA UNJ
- Sulaiman, Muh. (2014). *Sistem Komunikasi Serat Optik Data Satelit*. Peneliti Pusat Teknologi Satelit LAPAN. Volume 3 Nomor 2. Hlm. 58-63
- Tanjung, Welly. (2013). *Pengembangan Sensor Larutan Gula Berbasis Absorbsi Gelombang Evanescent pada Serat Optik*. Skripsi. Bogor : Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Institut Pertanian Bogor

Widiarno, Yohanes Setiyo. (2016).  
[http://www.aksiomaid.com/Matematika/Ringkasan-Materi/012601010000000/APLIKASI-INTEGRAL/LUAS-DAERAH-diakses pada jam 20:56](http://www.aksiomaid.com/Matematika/Ringkasan-Materi/012601010000000/APLIKASI-INTEGRAL/LUAS-DAERAH-diakses-pada-jam-20:56) tanggal 24 April 2017 jam 20:56 WIB

Wulandari, Deajeng. (2013). *Analisis Rugi-rugi Serat Optik Akibat Makrobending Sebagai Potensi Aplikasi Sensor Beban Bergerak (Weigh In Motion)*. Skripsi Tidak Diterbitkan. Surakarta: Fakultas Matematikan dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Sebelas Maret

## LAMPIRAN

Data sebelum dan sesudah normalisasi

1. Formasi : A  
Lebar kelengkungan : 6 cm

Tinggi Air (cm)	Daya Optik (dBm)	Nilai Mutlak Tertinggi	Hasil Normalisasi
4	-54,41	54,41	-1
6	-54,43		-1,000367579
8	-54,69		-1,005146113
10	-54,75		-1,006248851
12	-54,8		-1,0071678
14	-54,97		-1,010292226
16	-55,12		-1,013049072
18	-55,2		-1,01451939
20	-55,24		-1,015254549

2. Formasi : B  
Lebar kelengkungan : 8 cm

Tinggi Air (cm)	Daya Optik (dBm)	Nilai Mutlak Tertinggi	Hasil Normalisasi
4	-51,35	51,35	-1
6	-51,39		-1,000778968
8	-51,44		-1,001752678
10	-51,47		-1,002336904
12	-51,51		-1,003115871
14	-51,56		-1,004089581
16	-51,71		-1,007010711
18	-51,86		-1,00993184
20	-51,91		-1,01090555

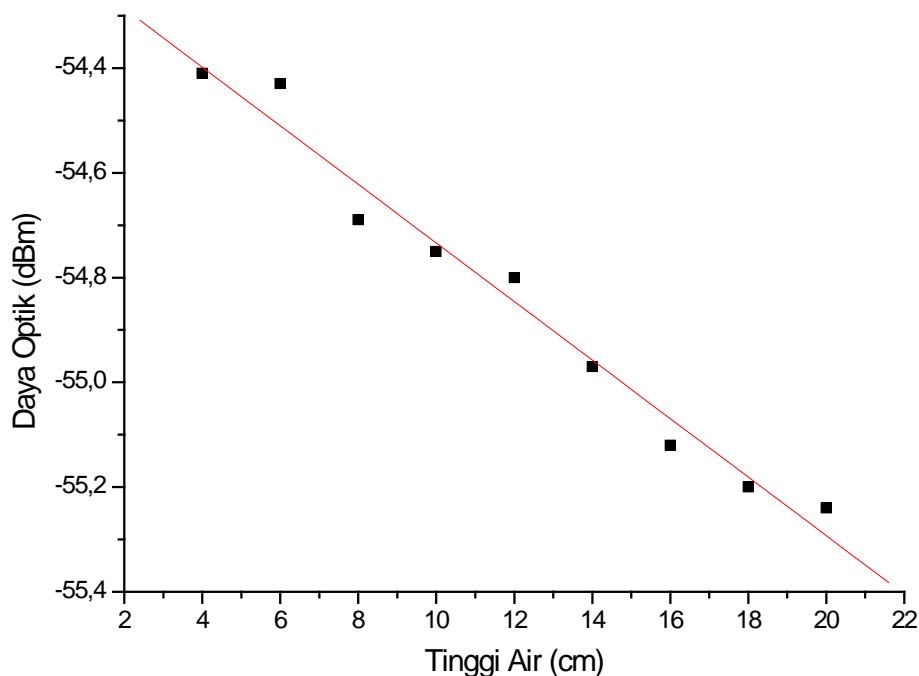
3. Formasi : C  
 Lebar kelengkungan : 9 cm

Tinggi Air (cm)	Daya Optik (dBm)	Nilai Mutlak Tertinggi	Hasil Normalisasi
4	-47,46	47,46	-1
6	-47,51		-1,001053519
8	-47,54		-1,00168563
10	-47,58		-1,002528445
12	-47,6		-1,002949853
14	-47,63		-1,003581964
16	-47,67		-1,004424779
18	-47,72		-1,005478298
20	-47,76		-1,006321113

4. Formasi : D  
 Lebar kelengkungan : 10 cm

Tinggi Air (cm)	Daya Optik (dBm)	Nilai Mutlak Tertinggi	Hasil Normalisasi
4	-44,8	44,8	-1
6	-44,84		-1,000892857
8	-44,94		-1,003125
10	-45,06		-1,005803571
12	-45,17		-1,008258929
14	-45,23		-1,009598214
16	-45,29		-1,0109375
18	-45,35		-1,012276786
20	-45,39		-1,013169643

### Grafik Hasil Percobaan



Lampiran 1. Grafik hubungan antara daya optik (dBm) terhadap perubahan ketinggian air (cm) pada Formasi A

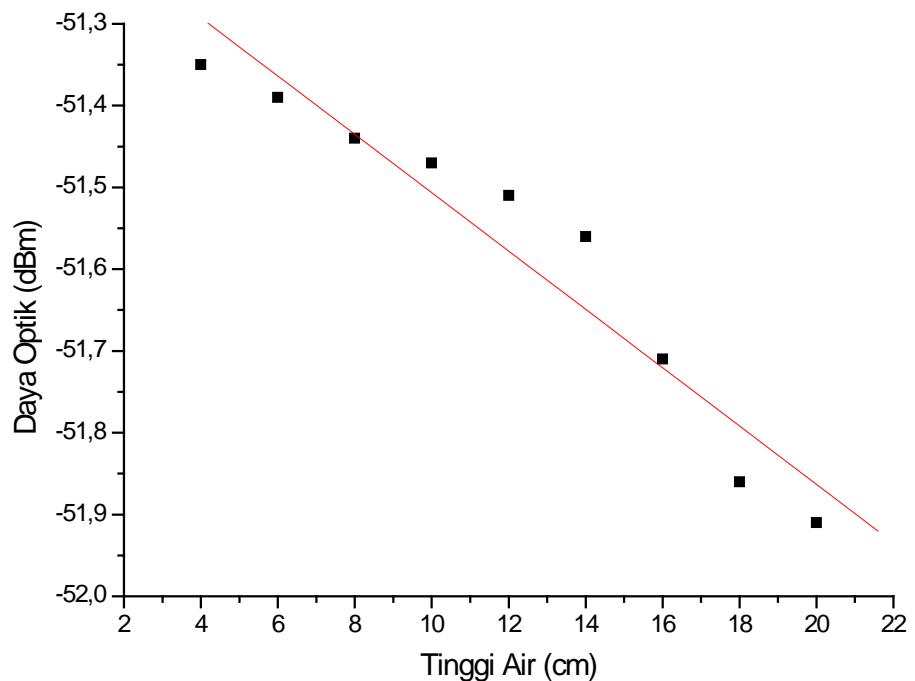
Parameter      Value    Error

A      -54,17456      0,04442

B      -0,05592      0,0034

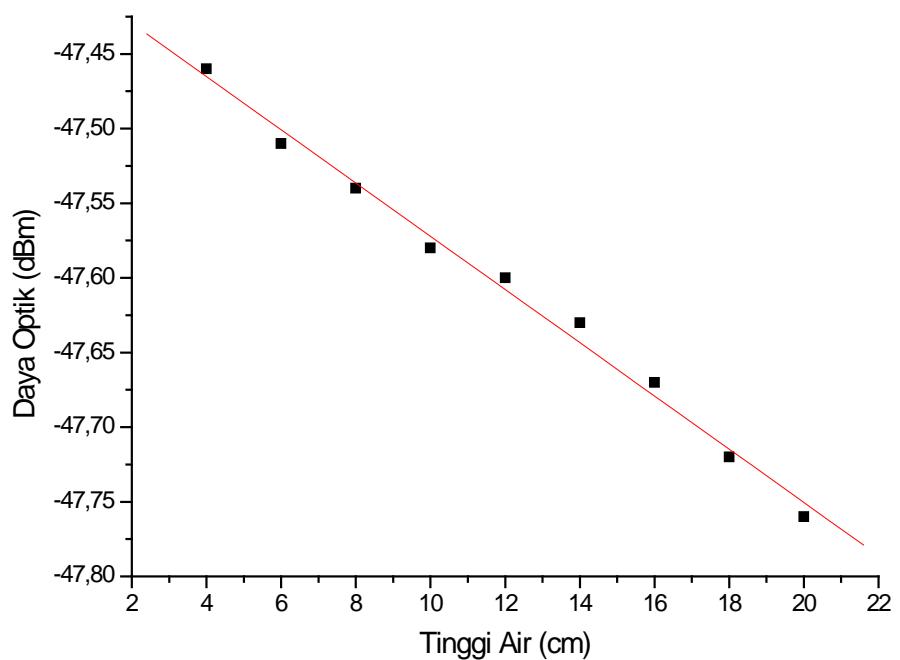
R      SD      N      P

-0,98731      0,05267      9      <0.0001



Lampiran 2. Grafik hubungan antara daya optik (dBm) terhadap perubahan ketinggian air (cm) pada Formasi B

Parameter	Value	Error
<hr/>		
A	-51,14978	0,05024
B	-0,03567	0,00385
<hr/>		
R	SD	N
P		
<hr/>		
-0,96163	0,05958	9
		<0.0001



Lampiran 3. Grafik hubungan antara daya optik (dBm) terhadap perubahan ketinggian air (cm) pada Formasi C

Parameter      Value    Error

---

A      -47,39378      0,00799

---

B      -0,01783      6,11832E-4

---

R      SD      N      P

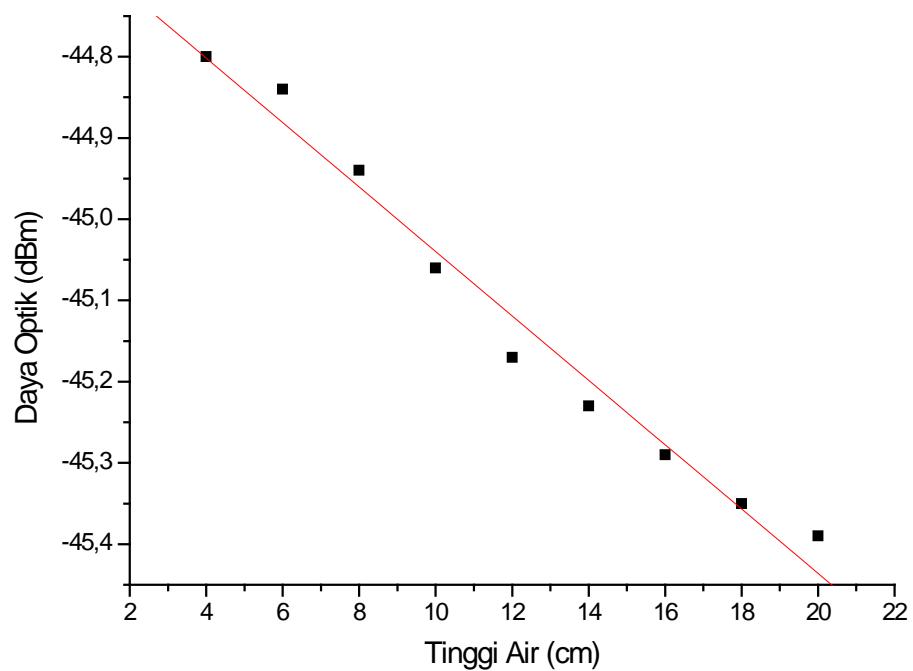
---



---

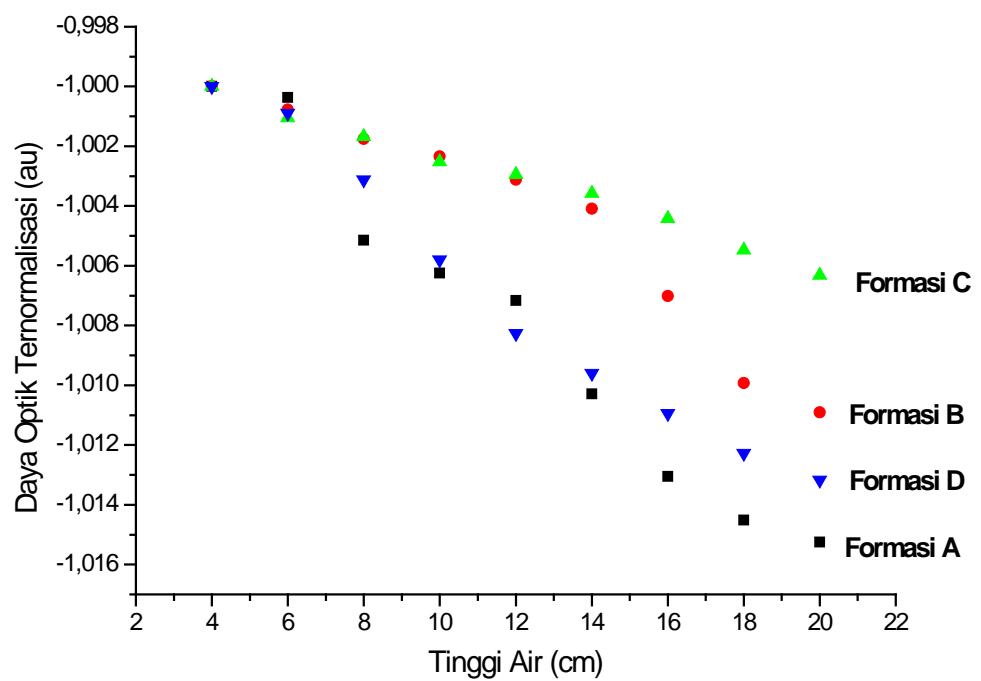
-0,99591      0,00948      9      <0.0001

---



Lampiran 4. Grafik hubungan antara daya optik (dBm) terhadap perubahan ketinggian air (cm) pada Formasi D

Parameter	Value	Error	
<hr/>			
A	-44,64289	0,02932	
B	-0,03967	0,00224	
<hr/>			
R	SD	N	P
<hr/>			
-0,98898	0,03477	9	<0.0001
<hr/>			



Lampiran 5. Grafik gabungan antara daya optik ternormalisasi (au) terhadap perubahan ketinggian air (cm) dengan variasi formasi fiber optik

## Luas Daerah

1. Formasi A dengan lebar kelengkungan 6 cm

$$y = a + bx$$

$$y = f(x)$$

$$y_1 = 1,126 - 0,038x$$

Dengan a = 4 dan b = 20

$$L = \int_{4}^{20} 1,126 - 0,038x \, dx$$

$$L = 1,126x - 0,019x^2 \Big|_4^{20}$$

$$L = [(1,126 \times 20 - 0,019 \times 400) - (1,126 \times 4 - 0,019 \times 16)]$$

$$L = 14,92 - 4,2$$

$$L = 10,72 \text{ SL}$$

2. Formasi B dengan lebar kelengkungan 8 cm

$$y = a + bx$$

$$y = f(x)$$

$$y_1 = 1,141 - 0,028x$$

Dengan a = 4 dan b = 20

$$L = \int_{4}^{20} 1,141 - 0,028x \, dx$$

$$L = 1,141x - 0,014x^2 \Big|_4^{20}$$

$$L = [(1,141 \times 20 - 0,014 \times 400) - (1,141 \times 4 - 0,014 \times 16)]$$

$$L = 17,22 - 4,34 \text{ SL}$$

$$L = 12,88 \text{ SL}$$

3. Formasi C dengan lebar kelengkungan 9 cm

$$y = a + bx$$

$$y = f(x)$$

$$y_1 = 1,051 - 0,015x$$

Dengan a = 4 dan b = 20

$$L = \int_4^{20} 1,051 - 0,015x \, dx$$

$$L = 1,051x - 0,0075x^2 \quad |_4^{20}$$

$$L = [(1,051 \times 20 - 0,0075 \times 400) - (1,051 \times 4 - 0,0075 \times 16)]$$

$$L = 18,02 - 4,084$$

$$L = 13,936 \text{ SL}$$

4. Formasi D dengan lebar kelengkungan 10 cm

$$y = a + bx$$

$$y = f(x)$$

$$y_1 = 1,1 - 0,03x$$

Dengan a = 4 dan b = 20

$$L = \int_4^{20} 1,1 - 0,03x \, dx$$

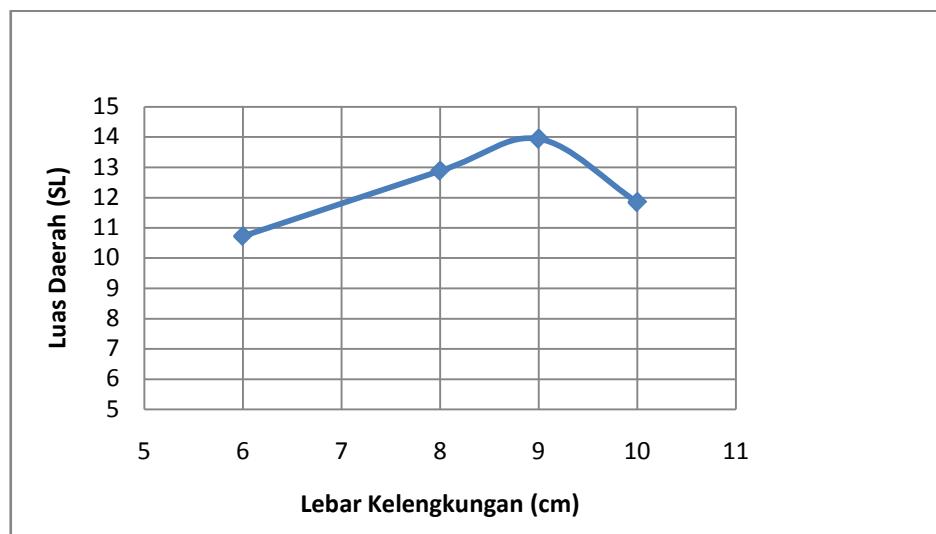
$$L = 1,1x - 0,015x^2 \quad |_4^{20}$$

$$L = [(1,1 \times 20 - 0,015 \times 400) - (1,1 \times 4 - 0,015 \times 16)]$$

$$L = 16 - 4,16$$

$$L = 11,84 \text{ SL}$$

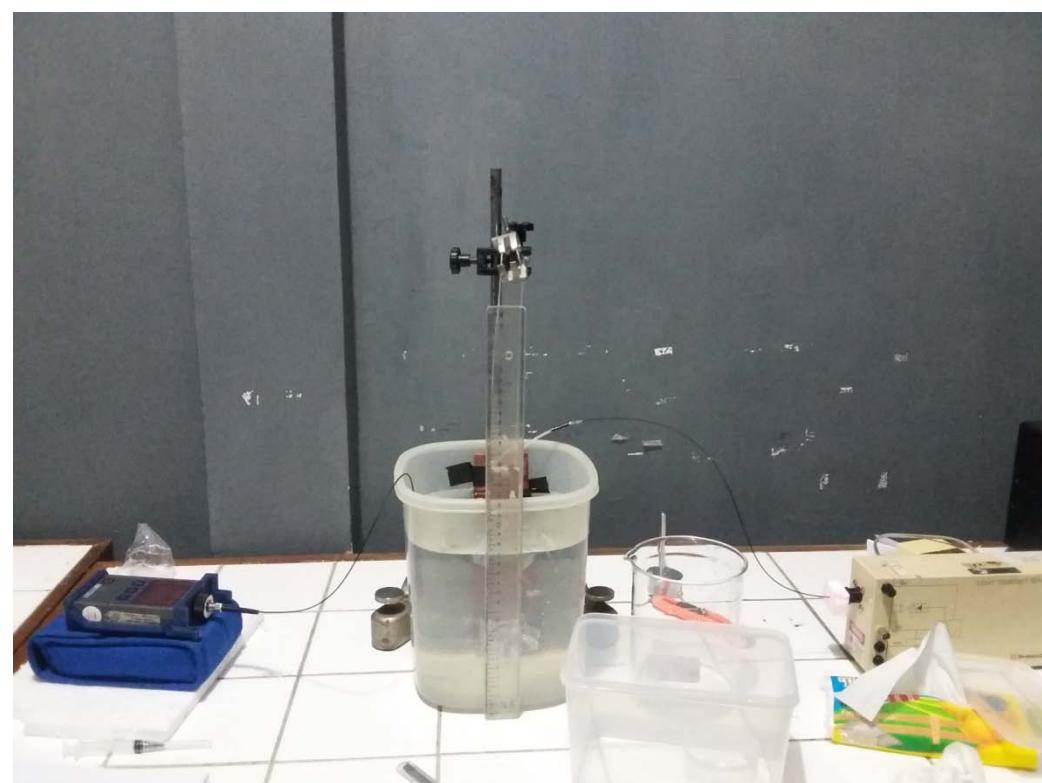
Lebar Kelengkungan (cm)	Luas Daerah (SL)
6	10,72
8	12,88
9	13,936
10	11,84



Lampiran 6. Grafik hubungan antara luas daerah (SL) dengan lebar kelengkungan (cm)



Lampiran 7. Fiber optik dengan lintasannya



Lampiran 8. Rangkaian alat



Lampiran 9. Gambar Formasi A dengan lebar kelengkungan 6 cm



Lampiran 10. Gambar Formasi B dengan lebar kelengkungan 8 cm



Lampiran 11. Gambar Formasi C dengan lebar kelengkungan 9 cm



Lampiran 12. Gambar Formasi D dengan lebar kelengkungan 10 cm