PENGEMBANGAN SENSOR BERBASIS FIBER OPTIK PLASTIK DENGAN VARIASI JUMLAH LILITAN UNTUK MENDETEKSI KANDUNGAN KAPORIT (Ca(ClO)2) DALAM AIR

SKRIPSI

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

Disusun oleh :

WAKHID ALAMSYAH

NIM 16306144014

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

2020

PERSETUJUAN

Tugas Akhir Skripsi dengan Judul

PENGEMBANGAN SENSOR BERBASIS FIBER OPTIK PLASTIK DENGAN VARIASI JUMLAH LILITAN UNTUK MENDETEKSI KANDUNGAN KAPORIT (Ca(ClO)2) DALAM AIR

Disusun oleh:

Wakhid Alamsyah

NIM 16306144014

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

Yogyakarta, 18 Maret 2020

Mengetahui,	Disetujui,
Ketua Program Studi	Dosen Pembimbing
Warsono, M.Si.	Prof. Dr. Heru Kuswanto
NIP. 196811011999031002	NIP. 196111121987021001

PENGESAHAN

Tugas Akhir Skripsi yang berjudul "Pengembangan Sensor Berbasis Fiber Optik Plastik Dengan Variasi Jumlah Lilitan untuk Mendeteksi Kandungan Kaporit (Ca(ClO)2) dalam Air" yang disusun oleh Wakhid Alamsyah, NIM 16306144014 ini telah dipertahankan di depan Tim Penguji Tugas Akhir Skripsi pada tanggal April 2020 dan dinyatakan lulus.

TIM PENGUJI

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

Yogyakarta, 17 April 2020

Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

Dekan,

Prof. Dr. Ariswan, M.Si.

NIP. 195909141988031003

PERNYATAAN

Yang bertandatangan di bawah ini:

Nama	: Wakhid Alamsyah
NIM	: 16306144014
Jurusan	: Pendidikan Fisika
Program Studi	: Fisika
Fakultas	: Matematika Dan Ilmu Pengetahuan Alam
Skripsi	: Pengembangan Sensor Berbasis Fiber Optik Plastik Dengan Variasi Jumlah Lilitan untuk Mendeteksi Kandungan Kaporit (Ca(ClO)2) dalam Air.

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

Yogyakarta, 1 April 2020

Yang menyatakan,

Wakhid Alamsyah

NIM 16306144014

MOTTO

"Allah adalah tujuan kami, Rasulullah teladan kami, Al-Quran pedoman hidup kami, Jihad adalah jalan juang kami, Mati di jalan Allah adalah cita-cita kami tertinggi"

Niat, Usaha dan Do'a *Insyaallah* pasti Bisa

Ketika seorang penakhluk muslim dengan pedang terhunus di tangannya pergi ke medan juang di jalan Allah, maka tidaklah ia mengharap keuntungan dunia, tidak pula mengintai kekayaan bangsa lain, meski tanpa disengaja tangannya telah penuh dengan semua itu. Akan tetapi yang dia yakini adalah tugas mengemban risalah, serta menjaga nilai-nilai kebenaran, keadilan dan kedamaian.

PERSEMBAHAN

Karya tulis sederhana ini, dengan tulus saya persembahkan kepada Kedua orang tua saya, ibu bapak yang sudah berjuang begitu luar biasa dalam mendoakan, memenuhi kebutuhan, tempat berkeluh kesah dan hal-hal lain yang sudah sangat banyak dikorbankan.

Pengembangan Sensor Berbasis Fiber Optik Plastik dengan Variasi Jumlah Lilitan untuk Mendeteksi Kandungan Kaporit (Ca(ClO)2) dalam Air

Oleh
Wakhid Alamsyah
NIM 16306144014

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh formasi jumlah lilitan pada *Polymer Optical Fiber* (POF) saat terjadi perubahan konsentrasi kaporit dalam air terhadap keluaran optik pada *Optical Power Meter* (OPM) dan mengetahui sensitivitas pada sensor.

Ada 3 variasi yang diformasikan dalam sistem ini, yaitu 1, 2 dan 3 lilitan dengan diameter 2,5 cm. Penelitian ini menggunakan *Polymer Optical Fiber* (POF) tipe SH 4001-1.3 dengan panjang 100 cm dan sumber cahaya menggunakan laser He-Ne dengan panjang gelombang 632,8 nm dan daya sebesar 5 mW. Konsentrasi larutan kaporit yang digunakan mulai dari 0 gr/liter sampai dengan 5 gr/liter dengan rentang masing-masing variasi sebesar 0,5 gr/liter. Data yang diperoleh kemudian diolah dengan aplikasi *Origin 6.1* dan di fitting secara linier untuk mengetahui sensitivitas masing-masing formasi.

Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa semakin banyak jumlah lilitan dan masa kaporit yang terlarut penurunan daya optik yang terjadi semakin besar dengan nilai untuk 1 lilitan sebesar 0,13 dBm untuk 2 lilitan sebesar 0,31 dBm dan untuk 3 lilitan sebesar 0,47 dBm. Dari ketiga formasi tersebut sensitivitas terbaik pada sensor dengan jumlah lilitan 3 dengan nilai sebesar (-0,090 ± 0,004) dBm/gr.

Kata kunci: *Polymer Optical Fiber* (POF), kaporit, jumlah lilitan

Development of Polymer Optical Fiber Based Sensor with Variation of Coil to Detect Chlorine Content (Ca(Clo)2) In Water

By
Wakhid Alamsyah
NIM 16306144014

ABSTRACT

This research aims to determine the influence of the formation of the number of coil in Polymer Optical Fiber (POF) when there are changes in the concentration of chlorine in water to optical output in optical Power Meter (OPM) and to determine the sensitivity of the sensor.

There are 3 variations transformed in this system, namely 1, 2 and 3 coil with a diameter of 2.5 cm. This research uses the Polymer Optical Fiber (POF) type SH 4001-1.3 with a length of 100 cm and a light source using He-Ne laser with a wavelength of 632.8 nm and a power of 5 mW. The concentration of chlorine solution used from 0 gr/liter to 5 gr/liter with a range of each variation of 0.5 gr/liter. The Data obtained then processed with the application Origin 6.1 and was fitted linearly to determine the sensitivity of each formation.

The results of this study showed that the growing number of coil and the dissolved capilorated periods of the optical power decline grew by a value for a 1-coil of 0.13 dBm for a 2-coil of 0.31 dBm and for a 3-coil of 0.47 dBm. Of these three formations the best sensitivity to the sensor with the number of coil 3 with a value of (-0.090 ± 0.004) dBm/gr.

Key words: *Polymer Optical Fiber (POF), chlorine, number of coil*

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah, segala puji dan syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT karena berkat Rahmat dan Karunia-Nya penulis dapat menyelesaikan penyusunan tugas akhir skripsi ini dengan baik. Shalawat dan salam semoga tetap tercurahkan kepada Nabi Muhammad SAW dan semoga kita mendapat syafaatnya di hari akhir nanti.

Penulisan tugas akhir skripsi ini diajukan untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar Sarjana Program Studi Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Negeri Yogyakarta (FMIPA UNY). Tugas akhir skripsi ini berjudul "Pengembangan Sensor Berbasis Fiber Optik Plastik dengan Variasi Jumlah Lilitan untuk Mendeteksi Kandungan Kaporit (Ca(ClO)2) dalam Air".

Penyusunan dan penulisan tugas akhir skripsi ini tidak terlepas dari bantuan, bimbingan serta dukungan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, dalam kesempatan ini penulis menyampaikan terimakasih setulus-tulusnya kepada yang terhormat:

1. Prof. Dr. Ariswan, M.Si., selaku Dekan FMIPA Universitas Negeri Yogyakarta atas segala pelayanan dan bantuannya untuk menuntut ilmu di FMIPA UNY,
2. Jaslin Ikhsani, Ph.D., selaku Wakil Dekan Bidang Akademik yang sudah memberikan pelayanan akademik dengan sangat maksimal selama ini.
3. Warsono, M.Si., selaku Ketua Jurusan Pendidikan Fisika dan Ketua Program Studi Fisika FMIPA Universitas Negeri Yogyakarta yang telah melayani civitas akdemika jurusan Pendidikan Fisika FMIPA UNY dengan sangat baik,
4. Prof. Dr. Heru Kuswanto, selaku Dosen Pembimbing yang telah membantu dengan maksimal untuk kelancaran penelitian ini,
5. Rita Prasetyowati, M.Si., selaku Penasehat Akademik yang telah memberikan arahan, bimbingan, serta motivasi selama menyelesaikan pendidikan di bangku perkuliahan,

6. Seluruh Dosen dan tenaga kependidikan FMIPA Universitas Negeri Yogyakarta dan secara khusus di Jurusan Pendidikan Fisika FMIPA Universitas Negeri Yogyakarta yang telah memberikan ilmu pengetahuan dan keteladanan selama kuliah baik di kelas maupun kultural di luar kelas,
7. Seluruh staff dan laboran Laboratorium Pendidikan Fisika Universitas Negeri Yogyakarta yang telah memfasilitasi dan membantu dalam pelaksanaan dan kelancaran penelitian,
8. Rekan penelitian Anggi Tri Prasetyo yang telah bersama-sama menemani dan membantu menyelesaikan tugas akhir skripsi ini,
9. Teman-teman Fisika Angkatan 2016 terkhusus kelas E 2016 yang selalu memberikan motivasi dan semangat selama kegiatan belajar mengajar di FMIPA UNY,
10. Seluruh pihak yang telah membantu baik secara langsung maupun tidak langsung.

Tidak ada yang sempurna di dunia ini, sama halnya dengan penulisan tugas akhir skripsi ini. Oleh karena itu, saran dan kritik sangat dibutuhkan dalam penyempurnaan tugas akhir ini. Semoga tulisan ini dapat bermanfaat seluas-luasnya.

Yogyakarta, 1 April 2020

Penulis,

Wakhid Alamsyah

NIM 16306144014

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL ..... **i**

PERSETUJUAN ..... **ii**

PENGESAHAN ..... **iii**

PERNYATAAN ..... **iv**

MOTTO ..... **v**

PERSEMBAHAN ..... **vi**

ABSTRAK ..... **vii**

ABSTRACK ..... **viii**

KATA PENGANTAR ..... **ix**

DAFTAR ISI ..... **xi**

DAFTAR TABEL ..... **xiii**

DAFTAR GAMBAR ..... **xiv**

DAFTAR LAMPIRAN ..... **xvi**

BAB I PENDAHULUAN **1**

A. Latar Belakang 1

B. Identifikasi Masalah 3

C. Batasan Masalah 4

D. Rumusan Masalah 4

E. Tujuan Penelitian 4

F. Manfaat Penelitian 5

BAB II KAJIAN PUSTAKA **6**

A. Deskripsi Teori 6

1. Fiber Optik 6

2. Sensor Fiber Optik Plastik 17

3. Laser He-Ne 22
4. Kaporit 33
B. Kerangka Berpikir 36
BAB III METODE PENELITIAN 38
A. Waktu Dan Tempat Penelitian 38
B. Objek Penelitian 38
C. Variabel Penelitian 38
D. Desain Penelitian 39
E. Alat Dan Bahan Penelitian 41
F. Prosedur Penelitian 43
G. Teknik Pengambilan Dan Analisis Data 45
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN 47
A. Hasil Penelitian 47
1. Data Hasil Penelitian 47
2. Grafik Data Penelitian 49
3. Fitting Linier Grafik Data Penelitian 52
4. Hasil Pengamatan dengan Mikroskop Smz1500 53
B. Pembahasan 55
1. Pengaruh Formasi Jumlah Lilitan 56
2. Sensitivitas Sensor Berbasis *Polymer Optical Fiber* (Pof) 59
BAB V SIMPULAN DAN SARAN 62
A. Simpulan 62
B. Saran 62
DAFTAR PUSTAKA 63
LAMPIRAN 68

DAFTAR TABEL

Tabel 1. Spesifikasi struktur fiber optik tipe SH-4001-1.3 8

Tabel 2. Spesifikasi performa fiber optik tipe SH-4001-1.3 9

Tabel 3. Desain penelitian 40

Tabel 4. Desain penelitian ternormalisasi 40

Tabel 5. Spesifikasi perlakuan *Polymer Optical Fiber* (POF) 41

Tabel 6. Data hasil penelitian ternormalisasi 48

Tabel 7. Nilai sensitivitas sensor 60

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Fiber optik plastik (*Polymer Optical Fiber*)..... 7

Gambar 2. *Polymer Optical Fiber* (POF) *single mode*..... 11

Gambar 3. *Polymer Optical Fiber* (POF) *single mode*..... 11

Gambar 4. Grafik linier dengan nilai linieritas 1..... 19

Gambar 5. Perbandingan sensitivitas dari beberapa persamaan linier 20

Gambar 6. Laser dengan cahaya monokromatis..... 24

Gambar 7. Perbedaan sifat mendasar antara cahaya laser dan cahaya dari sumber lain..... 25

Gambar 8. Cahaya polikromatik dari cahaya matahari dan lampu 25

Gambar 9. keterarahan berkas cahaya laser 26

Gambar 10. Divergensi cahaya laser..... 27

Gambar 11. Bagian-bagian laser He-Ne 27

Gambar 12. Diagram energi laser He-Ne 28

Gambar 13. Sistem penguatan sinar Laser..... 30

Gambar 14. Skema alat penelitian 39

Gambar 15. Grafik massa kaporit terhadap dBm formasi 1 lilitan 49

Gambar 16. Grafik massa kaporit terhadap dBm formasi 2 lilitan 50

Gambar 17. Grafik massa kaporit terhadap dBm formasi 3 lilitan 51

Gambar 18. Grafik *fitting* linier massa kaporit terhadap dBm formasi 1 lilitan 52

Gambar 19. Grafik *fitting* linier massa kaporit terhadap dBm formasi 2 lilitan 52

Gambar 20. Grafik *fitting* linier massa kaporit terhadap dBm formasi 3 lilitan 53

Gambar 21. Pengamatan dengan Mikroskop formasi lurus 53

Gambar 22. Pengamatan dengan Mikroskop formasi 1 lilitan 54

Gambar 23. Pengamatan dengan Mikroskop formasi 2 lilitan 54

Gambar 24. Pengamatan dengan Mikroskop formasi 3 lilitan 55

Gambar 25. Keluaran daya optik pada OPM 57

Gambar 26. *Fitting* linier grafik hasil penelitian..... 60

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Data Hasil Penelitian 67
Lampiran 2. Analisis data dengan *Software Origin 1.6* 73
Lampiran 3. Alat dan Bahan 77

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang Masalah

Kemajuan teknologi telah mengakibatkan banyak sistem dan sensor yang dapat digunakan untuk pengukuran berbagai jenis variabel fisika. Para ilmuwan telah mengembangkan banyak sensor berbasis fiber optik sebagai sensor serbaguna dengan keunggulan dalam berbagai hal: sensitivitas, selektivitas, fleksibilitas, akurasi, ukuran yang lebih kecil, ringan dan dapat digunakan untuk pengukuran dan penginderaan jauh (Arifin et al., 2017:1).

Perubahan keluaran fiber optik dipengaruhi oleh perlakuan pada fiber optik plastik itu sendiri yang disesuaikan dengan fungsi sensornya. Perlakuan ini dapat berupa mengganti cladding, memanaskan bahan sambungan, ataupun dengan membuat bengkokan pada fiber optik. Perubahan intensitas cahaya pada fiber optik disebabkan antara lain oleh absorbsi, hamburan Rayleigh, pemantulan Fresnel serta pelemahan akibat pembengkokan (Crisp & Elliot, 2008: 59).

Disisi lain penggunan kalsium hipoklorit atau lebih dikenal sebagai kaporit sudah sangat banyak sekali di berbagai bidang kehidupan mulai dari desinfektan yang biasa digunakan di air kolam renang, bahan pakaian dan kertas bahkan juga menjadi bahan pemutih atau pengkilat beras (Darniadi dalam Wongkar, 2014). Kaporit umumnya berbentuk bubuk putih yang akan terpecah di dalam air menghasilkan oksigen dan gas klorin yang berbau menyengat. Fungsi kaporit pada air kolam renang tidak hanya untuk membunuh bakteri-bakteri patogen yang tersebar pada air kolam renang, tetapi juga untuk menjernihkan air kolam renang. Penggunaan kaporit pada kolam renang harus disesuaikan dengan konsentrasi yang dibutuhkan dan batas aman yang telah ditetapkan oleh badan regulasi. Konsentrasi kaporit yang kurang dapat menyebabkan bakteri patogen yang ada di kolam renang

tidak terbabat habis sehingga bisa menyebabkan penyebaran penyakit menular. Sedangkan konsentrasi kaporit yang berlebihan akan menyebabkan bahaya bagi kesehatan karena gas klorin yang tersisa pada air kolam renang.

Dalam penelitian Dr. Alfred Bernard, menyimpulkan bahwa klorin yang digunakan di kolam dapat meningkatkan risiko anak asma hingga enam kali lipat. *Diklorinasi* paparan kolam renang juga ditemukan memberikan kontribusi yang signifikan terhadap alergi pernafasan lainnya di kalangan remaja (Bernard et al, 2009). Sebuah tinjauan penelitian oleh Marywood Universitas menegaskan bahwa paparan jangka panjang untuk kolam *diklorinasi* dapat menyebabkan gejala asma pada perenang. Hal ini dapat mempengaruhi atlet yang sebelumnya sehat, terutama remaja. Selain itu, iritasi kulit dan iritasi mata perenang telah di duga berasal dari paparan klorin (Kim et al, 2017).

Menurut penelitian tentang Kualitas Air dan Keluhan Kesehatan Pengguna Kolam Renang Di Sidoarjo, menunjukkan bahwa sebagian besar pengunjung kolam renang Tirta Krida (51,6%) dan GOR Sendang Delta (74,2%) menyatakan adanya keluhan kesehatan yang dialami setelah berenang. Banyaknya keluhan kesehatan ini berupa adanya iritasi mata, iritasi kulit dan terjadinya kecelakaan saat berenang. Iritasi mata yang terjadi pada kedua kolam renang disebabkan karena penggunaan kaporit yang terlalu banyak setelah dilakukan *klorinasi*, sehingga mata mudah menjadi merah, pedih, dan terasa gatal setelah berenang apabila tidak menggunakan kacamata renang (Cita et al., 2013).

Oleh karena sifat klorin dalam kaporit yang membahayakan seperti yang diuraikan di atas, maka pendeteksian kaporit terutama pada air menjadi hal yang sangat penting. Sensor yang tersedia di pasaran relatif mahal dan penggunaannyapun tidak semua orang bisa menggunakan dengan baik ditambah dengan daya tahan alat yang belum teruji dengan baik. Oleh karena itu, pengukuran in-situ dengan teknik sistem sensor terdistribusi tidak dapat dilakukan. Untuk monitoring kualitas air, sangat

penting agar deteksi klorin dalam kaporit dapat dilakukan *real-time*, *in-situ* dan terdistribusi sehingga dapat menghemat waktu, biaya dan tenaga dan tentunya jauh lebih sederhana dalam penyusunan dan pengoperasiannya.

Kelebihan sensor optik adalah bahwa sensor optik tidak dipengaruhi oleh interferensi elektromagnetik, kompak, dapat digunakan untuk sensor jarak jauh, pengukuran *real time* serta dapat disusun dalam sistem terdistribusi dan termultipleks. Mengingat berbagai kelebihan sensor optik tersebut, sensor optik telah banyak dikembangkan untuk berbagai aplikasi seperti dalam teknik sipil untuk sensor strain untuk membangun smart structure (Olivero, 2014), kimia untuk mengukur oksigen (Chen et al., 2012), *liquid level* (Pazo et al, 2016), dan temperatur (Li et al., 2016).

B. Identifikasi Masalah

Identifikasi masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Terdapat sensor berbasis fiber optik sebagai sensor serbaguna dengan keunggulan dalam berbagai hal: sensitivitas, selektivitas, fleksibilitas, akurasi, ukuran yang lebih kecil, ringan dan dapat digunakan untuk pengukuran
2. *Diklorinasi* paparan kolam renang memberikan kontribusi yang signifikan terhadap alergi pernafasan.
3. Paparan jangka panjang untuk kolam *diklorinasi* dapat menyebabkan gejala asma pada perenang.
4. Banyaknya keluhan kesehatan akibat penambahan kaporit dalam kolam renang berupa adanya iritasi mata dan iritasi kulit saat berenang.
5. Perubahan kelengkungan pada *Polymer Optical Fiber* (POF) dan konsentrasi kaporit mempengaruhi keluaran daya optik.

C. Batasan Masalah

Adapun batasan masalah dalam penelitian ini adalah:

1. Zat cair yg digunakan adalah larutan kaporit dalam air dengan konsentrasi 0 gr/liter sampai dengan 5 gr/ liter dengan rentang masing-masing variasi sebesar 0,5 gr/liter.
2. Formasi *Polymer Optical Fiber* (POF) dengan panjang 100 cm yang dibentuk menjadi 3 variasi jumlah lilitan (1 lilitan, 2 lilitan dan 3 lilitan) dengan diameter lilitan sebesar 2,5 cm.
3. Sumber cahaya yang digunakan adalah laser Helium-Neon dengan λ = 632,8 nm dan emisi keluaran 5 mW, sedangkan detektornya menggunakan *Optical Power Meter* (OPM).

D. Rumusan Masalah

Rumusan masalah dari penelitian ini adalah:

1. Berapa besar pelemahan daya *output* laser oleh pengaruh formasi jumlah lilitan *Polymer Optical Fiber* (POF) dan terhadap perubahan konsentrasi kaporit dalam air?
2. Berapa nilai sensitivitas pada *Polymer Optical Fiber* (POF) dengan variasi jumlah lilitan saat terjadi perubahan konsentrasi kaporit dalam air?

E. Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Mengetahui besar pelemahan daya *output* laser oleh pengaruh formasi jumlah lilitan *Polymer Optical Fiber* (POF) dan terhadap perubahan konsentrasi kaporit dalam air.
2. Mengetahui nilai sensitivitas pada *Polymer Optical Fiber* (POF) dengan variasi jumlah lilitan saat terjadi perubahan konsentrasi kaporit dalam air.

F. Manfaat Penelitian

Manfaat yang ingin dicapai dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Manfaat Bagi Keilmuan

   Manfaat bagi keilmuan adalah sebagai berikut:

   a. Dapat mengembangkan sensor baru berbasis *Polymer Optical Fiber* (POF).
   b. Dapat dijadikan sebagai dasar penelitian selanjutnya.
   c. Dapat memberikan sumbangan perkembangan ilmu pengetahuan khususnya dalam bidang elektronik dan instrumentasi sensor berbasis *Polymer Optical Fiber* (POF) dalam bentuk sensor kandungan kaporit dalam air.

2. Manfaat Bagi Masyarakat

   Manfaat bagi masyarakat adalah sebagi berikut:

   a. Memberikan gambaran konkrit tentang manfaat *Polymer Optical Fiber* (POF) sebagai sensor pendeteksi kaporit dalam air.
   b. Memberi pencerdasan kepada masyarakat bahwa perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi dalam kehidupan bersifat dinamis dan bukan suatu hal yang tabu.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

A. Deskripsi Teori

1. Fiber Optik

Kemajuan teknologi telah mengakibatkan banyak sistem dan sensor yang dapat digunakan untuk pengukuran berbagai jenis variabel fisika. Para ilmuwan telah mengembangkan banyak sensor berbasis fiber optik sebagai sensor serbaguna dengan keunggulan dalam berbagai hal: sensitivitas, selektivitas, fleksibilitas, akurasi, ukuran yang lebih kecil, ringan dan dapat digunakan untuk pengukuran dan penginderaan jauh (Arifin et al., 2017:1).

Perubahan keluaran fiber optik dipengaruhi oleh perlakuan pada fiber optik plastik itu sendiri yang disesuaikan dengan fungsi sensornya. Perlakuan ini dapat berupa mengganti *cladding*, memanaskan bahan sambungan, ataupun dengan membuat bengkokan pada fiber optik. Perubahan intensitas cahaya pada fiber optik disebabkan antara lain oleh absorbsi, hamburan Rayleigh, pemantulan Fresnel serta pelemahan akibat pembengkokan (Crisp & Elliot, 2008: 59).

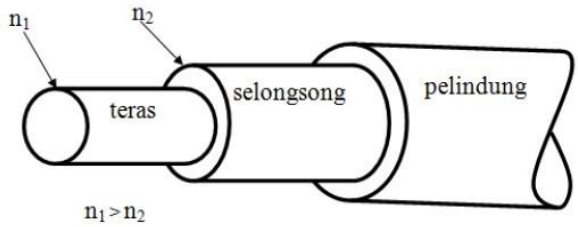
Fiber optik merupakan media transmisi atau pandu gelombang cahaya berbentuk silinder yang dikembangkan diakhir tahun 1960 an sebagai jawaban atas perkembangan sistem komunikasi yang semakin lama membutuhkan *bandwidth* yang besar dengan laju transmisi yang tinggi. Serat optik terbuat dari bahan dielektrik berbentuk seperti kaca. Di dalam serat inilah serat energi cahaya yang dibangkitkan oleh sumber cahaya disalurkan sehingga dapat diterima diujung unit penerima (*receiver*). Cahaya tidak keluar dari serat kaca karena index bias kaca lebih besar dari index bias udara.

Pada dasarnya struktur fiber optik tersusun atas dua bagian utama yaitu *core* dan *cladding* agar dapat mentransmisikan cahaya. *Core* atau silinder tebuat dari kaca silika dan dikelilingi oleh indeks bias yang lebih

rendah (Agrawal, 2002: 23). Bagian yang mengililingi *core* inilah yang dinamakan *cladding*. *Cladding* berfungsi sebagai cermin agar cahaya yang masuk ke dalam fiber optik dapat terpantul sempurna (total internal reflektion).

Karena ukuran fiber optik yang sangat tipis dan cenderung rapuh, maka diberikan bagian pelindung agar fiber optik tidak mudah rusak. Bagian pelindung tersebut adalah *buffer* (Aristiani, 2012). Bagian pendukung dari fiber optik adalah serat kevlar, tabung pelindung dan gel. Pemberian bahan pendukung bertujuan agar fiber optik tidak mudah rusak atau tahan terhadap gangguan dari luar seperti tekanan, rembesan air, kalor dan lain sebagainya.

Sinyal yang dilewatkan ke dalam fiber optik berupa cahaya, sehingga tidak terpengaruh oleh interferensi elektromagnet dan efek pulsa elektromagnet. Disamping itu fiber optik juga tahan tehadap korosi dan bebas dari bahaya hubungan singkat. Hal itulah yang merupakan kelebihan kabel fiber optik dibanding kabel logam biasa. Gambar 1 dibawah ini menunjukkan struktur *Polymer Optical Fiber* (POF).



Gambar 1. Fiber optik plastik (*Polymer Optical Fiber*)

a. Fiber Optik Plastik

Fiber optik plastik (*Polymer Optical Fiber*) adalah fiber optik yang terbuat dari bahan polimer atau plastik dimana pada bagian *core* terbuat dari bahan *Polymethyl-Methacrylate Resin* dan *cladding*-nya terbuat dari *Fluorinated Polymer*. Selain itu memiliki perbedaan pada komposisi bahan, ukuran *core* fiber optik plastik juga jauh lebih besar dibanding fiber optik kaca yaitu sebesar 980 µm. Fiber dengan bahan ini jarang digunakan untuk sambungan komunikasi jarak jauh karena atenuasinya yang sangat besar. Akan

tetapi sekarang telah dapat digunakan untuk menggantikan fiber optik silika dalam sambungan komunikasi dekat seperti LAN. Hal ini karena saat ini sudah dapat direduksi hingga berada dibawah 30 dB/km (Maddu, 2007: 29).

Fiber optik plastik relatif lebih murah dibandingkan fiber silika, sehingga dapat mengurangi biaya untuk mengoperasikannya. Karena harganya yang murah, selain digunakan untuk sambungan komunikasi, fiber optik plastik juga banyak dikembangkan sebagai sensor karena mudah diubah-ubah dan diberikan perlakuan. Sedangkan fiber optik berbahan silika memiliki ukuran yang sangat kecil dan sulit untuk diberikan perlakuan. Berbagai macam aplikasi dari fiber optik diantaranya sensor, komunikasi, bidang industri dan medis (Aristiani, 2012).

Pada penelitian ini fiber optik plastik yang digunakan untuk membuat sensor yaitu tipe SH-4001-1.3 yang diproduksi oleh Mitsubishi Rayon Co. LTD. Spesifikasi dari fiber optik tersebut ditunjukan oleh Tabel 1 dan Tabel 2.

Tabel 1. Spesifikasi struktur fiber optik tipe SH-4001-1.3

Item		**Specification**			
		Satuan	**Min**	**Typ**	**Max**
Optical fibe	Bahan *core*	-	*Polymethyl-Methacrylate Resin*		
	Bahan *cladding*	-	*Fluorinated polymer*		
	Indeks bias *core*	-	1,49		
	Inseks bias *cladding*	-	1,41		
	Numerical aperture	-	0,5		
	Diameter *core*	Mm	920	980	1040
	Diameter *cladding*	Mm	940	1000	1060
Jacket	Bahan	-	*Polyethylene*		
	Warna	-	Black		
	Diameter	Mm	1,25	1,30	1,35
	Berat kira-kira	g/m	1,5		
	Indeks bias jaket	-	None		

Tabel 2. Spesifikasi performa fiber optik tipe SH-4001-1.3

Keadaan		Satuan	Nilai
Penilaian maksimum	Suhu penyimpanan	^{o}C	-55~70
	Suhu pemakaian	^{o}C	-55~70
Sifat Optik	Pelemahan transmisi	dB/m	.19 Max.
Karakteristik mekanik	Diameter lengkungan minimal	mm	20
	Regangan tarikan	N	65
	Ketahanan putaran	Times	5

b. Bagian-bagian Fiber Optik Plastik

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 (Crisp & 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. Jenis-jenis Fiber Optik Plastik

1. Berdasarkan Indeks Bias Inti

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

   - *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.
   - *Graded-index* (GI)

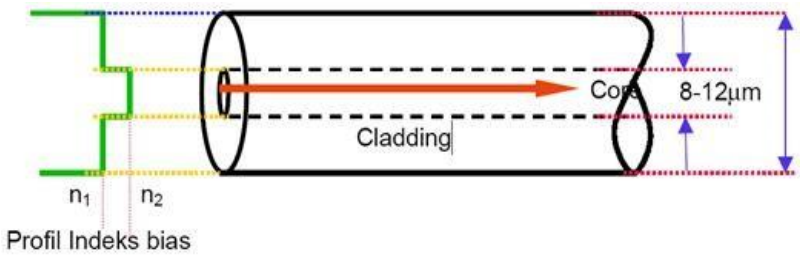
     Serat optik yang memiliki perubahan yang halus dan berlanjut karena indeks bias intinya memilki perbedaan nilai di mana indeks bias terbesarnya mendekati pusat inti dan indeks bias terkecilnya saat mendekat ke arah kulit.

2. Berdasarkan Diameter Intinya

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

   - *Single-mode*

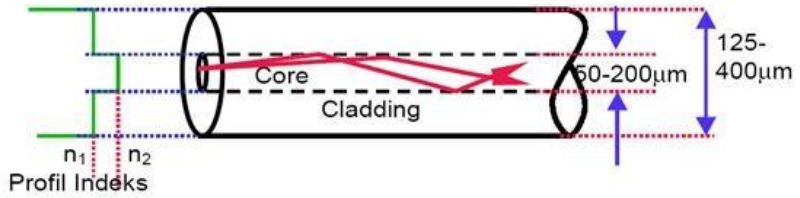
     Serat optik yang hanya dapat merambatkan gelombang cahaya satu mode atau berupa lintasan cahaya lurus.



Gambar 2. *Polymer Optical Fiber* (POF) *single mode*

- *Multimode*

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



Gambar 3. *Polymer Optical Fiber* (POF) *single mode*

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

- *Step Index Multimode*

  Fiber optik step index (*multimode*) dibuat dari *core* yang relatif besar, dengan diselimuti *cladding*. *Core*-nya mempunyai diameter antara 50 sampai dengan 200 μm, 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 *core*-nya 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.

- *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 tersbut *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*.

- *Step Index Single Mode*

  Segera 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 *bandwith*-nya. Idealnya cahaya berpropagasi melalui hanya satu mode saja, yang paralel dengan sumber fiber. Panjang gelombang dari infra merah yang terletak antara 800

sampai 1600 nm, 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.

d. Perambatan Cahaya dalam Fiber Optik Plastik

1. Hukum Snellius

Hukum Snellius berbunyi "sinus dari sudut datang di bagi dengan sudut bias adalah konstan. Sehingga perumusan matematis Hukum Snellius sesuai persamaan 1 berikut:

$$n1\ x \sin i = n2\ x \sin r \qquad (1)$$

Keterangan:

$n1$ = indeks bias mutlak medium 1

$n2$ = indeks bias mutlak medium 2

$n21$ = indeks bias relatif medium 2 terhadap medium 1

i = sudut datang pada medium 1

r = sudut bia pada medium 2

Dalam hukum snellius cahaya yang datang dalam suatu medium sebagian cahaya tersebut tidak dibiaskan 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)*.

- 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° dan sinar akan merambat sejajar dengan bidang perbatasan didalam bahan kedua. Sudut datang yang menyebabkan terjadinya hal ini disebut sebagai sudut kritis. 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).

e. Penyebab Pelemahan Cahaya Fiber Optik Plastik

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 Reyleigh

Pancaran Rayleigh adalah efek terpencarnya cahaya akibat terjadinya perubahan kecil yang bersifat lokal pada indeks bias bahan inti dan bahan mantel (Crisp & Elliot, 2010: 59). Dimana dapat dikatakan lokal karena hanya terjadi pada daerah tertentu dan ukuan 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 pembuat 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 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.

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 (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 (Hanto, 2013: 2). Terdapat dua jenis pembengkokan atau kekelengkungan dalam fiber optik yaitu:

- Kelengkungan Makroskopik *(Macrobanding)*

  Macrobending terjadi ketika serat optik dibengkokkan dengan jari-jari lebih lebar dibandingkan jari-jari serat optik (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* (Buwana, 2014: 2).

  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.

- Kelengkungan Mikroskopik *(Microbanding)*

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

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/jaket akan bergeser dari posisi semula sehingga menyebabkan lekukan. Peristiwa tersebut merupakan peristiwa *microbending.*

2. Sensor Fiber Optik Plastik

a. Sensor

Sensor adalah suatu peralatan yang berfungsi untuk mendeteksi gejala-gejala atau sinyal-sinyal yang berasal dari perubahan suatu energi seperti energi listrik, energi fisika, energi kimia, energi biologi, energi mekanik dan sebagainya (Sharon, 1982). Transduser adalah sebuah alat yang bila digerakan oleh suatu energi di dalam sebuah sistem transmisi, akan menyalurkan energi tersebut dalam bentuk yang sama atau dalam bentuk yang berlainan ke sistem transmisi

berikutnya. Transmisi energi ini bisa berupa listrik, mekanik, kimia, optik (radiasi) atau *thermal* (panas) (William, 1993).

Jadi, sensor adalah komponen yang dapat digunakan untuk mengkonversikan suatu besaran tertentu menjadi satuan analog sehingga dapat dibaca oleh suatu rangkaian elektronik. Sensor merupakan komponen utama dari suatu transduser, sedangkan transduser merupakan sistem yang melengkapi agar sensor tersebut mempunyai keluaran sesuai yang kita inginkan dan dapat langsung dibaca pada keluarannya.

Sebagai sebuah benda, sensor memiliki suatu karakteristik yang mendeskripsikan sifat-sifat yang dimiliki. Karakteristik ini memberikan penjelasan yang dapat dipergunakan sebagai dasar dalam penggunaan sensor. Secara ideal sensor memiliki karakteristik umum yang dimiliki yang dapat dipergunakan sebagai suatu ukuran untuk membandingkan kualitas sensor. Namun demikian pada kenyataannya, sensor memilikin karakteristik yang tidak selalu dapat memenuhi karakteristik ideal sensor (Setyawan, 2017).

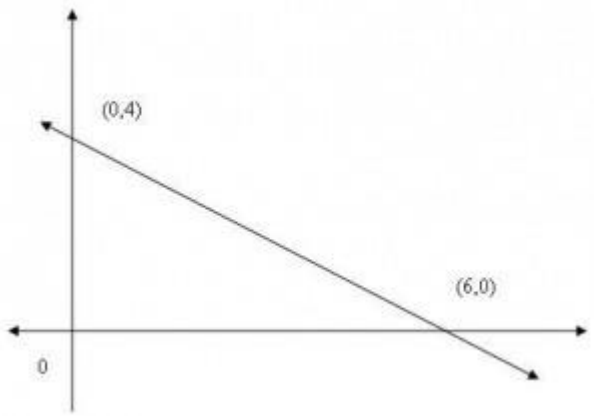
Karakteristik umum yang selalu dimiliki oleh sensor antara lain adalah hubungan *input-output*, sensitivitas, selektivitas, akurasi dan waktu tanggap (*respond time*). Selain karakteristik tersebut juga terdapat karakteristik lain yang perlu dideskripsikan karena akan berakibat padapenggunaan sensor, semisal adalah histeresis, respon terhadap frekuensi, sifat kelistrikan, rasio antara sinyal dan derau (*signal to noise ratio, S/N*) dan lain-lain yang dipandang perlu untuk mendeskripsikan sensor dengan lebih jelas (Setyawan, 2017).

Pada bagian ini tidak membahas terkait semua karakteristik sensor, hanya linieritas dan sensitivitas saja yang akan coba diulas.

1. Linearitas

   Dalam hal ini linier adalah hubungan antara besaran input yang dideteksi menghasilkan besaran output dengan hubungan berbanding lurus dan dapat digambarkan secara grafik membentuk

garis lurus. Banyak sensor sinyal keluarannya berubah secara kontinyu sebagai tanggapan (*response*) terhadap masukan yang berubah secara kontinyu juga. Contohnya, sensor panas dapat menghasilkan tegangan sesuai dengan panas yang dirasakannya. Kasus seperti ini, dapat diketahui secara tepat bagaimana perubahan keluaran dibandingkan dengan masukannya berupa sebuah grafik. Gambar 4 di bawah ini adalah gambar yang menunjukkan grafik linier pada sebuah persamaan garis, semakin nilai linieritas sensor mendekati 1 maka sensor tersebut linieritasnya semakin baik.



Gambar 4. Grafik linier dengan nilai linieritas 1

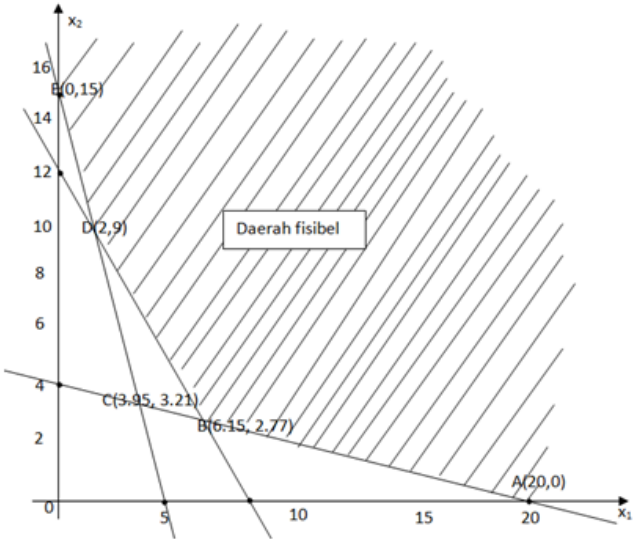
Pada gambar 4 grafik di atas terlihat setiap perubahan di sumbu x diikuti oleh perubahan di sumbu y yang diyatakan dalam persamaan garis lurus yang kontinyu.

2. Sensitivitas.

Dalam hal ini sensitivitas adalah perbandingan antara sinyal keluaran atau respon transduser terhadap perubahan masukan atau variable yang diukur. Sensitivitas akan menunjukan seberapa jauh kepekaan sensor terhadap kuantitas yang diukur. Sensitivitas sering juga dinyatakan dengan bilangan yang menunjukan "perubahan *output* dibandingkan unit perubahan *input*".

Sebagai contoh beberapa sensor panas dapat memiliki kepekaan yang dinyatakan dengan “satu volt per derajat”, yang berarti *perubahan* satu derajat pada masukan akan menghasilkan *perubahan* satu volt pada keluarannya. Sensor panas lainnya dapat saja memiliki kepekaan “dua volt per derajat”, yang berarti memiliki kepakaan dua kali dari sensor yang pertama.

Linieritas sensor juga mempengaruhi sensitivitas dari sensor. Apabila tanggapannya linier, maka sensitivitasnya juga akan sama untuk jangkauan pengukuran keseluruhan. Kalau grafik yang terbentuk berupa grafik linier maka nilai sensitivitas sensor dilihat dari besarnya gradien atau kemiringan grafik tersebut. Semakin besar nilai gradien suatu grafik linier maka semakin besar pula sensitivitas sensornya.



Gambar 5. Perbandingan sensitivitas dari beberapa persamaan linier

b. Sensor Berbasis Fiber Optik Plastik

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 (Gholamzadeh & 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 (Khambali & 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 (Ghetia & 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 (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 (Setiyono & Sari, 2016: 15). Beberapa sensor level ketinggian cairan berbasis fiber optik telah dikembangkan beberapa tahun terakhir.

3. Laser He-Ne

a. Laser

Kata Laser adalah singkatan dari *Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation* yang artinya perbesaran intensitas cahaya oleh pancaran terangsang. Kata kuncinya adalah "perbesaran" dan "pancaran terangsang" yang akan menjadi jelas kemudian. Laser merupakan sumber cahaya koheren yang monokromatik dan amat lurus. Cara kerjanya mencakup optika dan elektronika. Para ilmuwan biasa menggolongkannya dalam bidang elektronika kuantum.

Sebetulnya laser merupakan perkembangan dari MASER, huruf M disini singkatan dari *Microwave*, artinya gelombang mikro. Cara

kerja maser dan laser adalah sama, hanya saja mereka bekerja pada panjang gelombang yang berbeda. Laser bekerja pada spektrum infra merah sampai ultra ungu, sedangkan maser memancarkan gelombang elektromagnetik dengan panjang gelombang yang jauh lebih panjang, sekitar 5 cm, lebih pendek sedikit dibandingkan dengan sinyal TV-UHF. Laser yang memancarkan sinar tampak disebut laser-optik.

Laser merupakan salah satu alat yang dapat memancarkan cahaya. Ada banyak alat lain yang juga bisa memancarkan cahaya, seperti lampu pijar, cahaya matahari, lampu senter dan sumber yang lainnya. Dengan berkembangnya zaman, saat ini perangkat alat elektronik sudah banyak digunakan dalam industri-industri atau perusahaan-perusahaan. Dalam dunia industri, perangkat elektronika ini menjadi kebutuhan mutlak dan tidak terlepas dari pemanfaatan laser. Secara umum, laser merupakan cahaya yang dikuatkan kemudian di stimulasi untuk menghasilkan radiasi dalam lingkungan industri dan militer. Laser memberikan kemudahan dalam melakukan pekerjaan. Dengan kata lain, laser adalah alat yang digunakan untuk mengubah suatu gelombang elektromagnetik dalam bentuk cahaya, sehingga dapat membantu dalam melakukan tugas tertentu.

b. Sifat-sifat Cahaya Laser

Secara visual terlihat bahwa berkas cahaya yang dihasilkan antara cahaya laser dengan cahaya dari sumber lain berbeda. Sifat cahaya laser dicirikan oleh empat macam sifat, yaitu monokromatik, koheren, terarah, dan kecerahan.

1. Monokromatik

Cahaya laser bersifat monokromatis yaitu hanya memiliki keluaran satu warna dan satu panjang gelombang saja. Sifat ini diakibatkan oleh:

- Hanya satu frekuensi yang dikuatkan, yaitu

$$U = \frac{E2 - E1}{h} \qquad (2)$$

Persamaan 2 memberikan arti bahwa laser yang ideal terbentuk dari suatu kumpulan foton berfrekuensi tepat sama dan semua foton tersebut terfase.

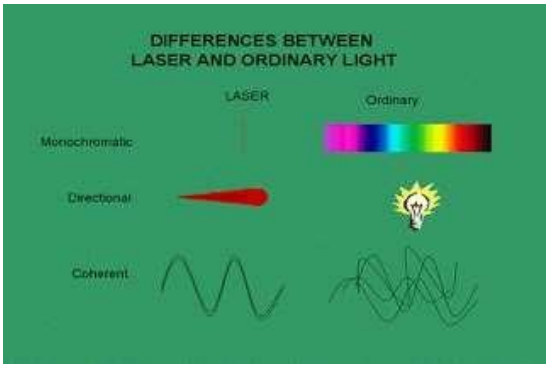
- Susunan dua cermin yang membentuk *cavity-resonant*, sehingga osilasi hanya terjadi pada frekuensi yang sesuai dengan *cavity*. Dimana *cavity-resonant* merupakan lubang resonansi yang berfungsi sebagai jalur untuk foton.

Gambar 6 adalah contoh jenis-jenis laser yang mempunyai keluaran cahaya yang berbeda-beda, dimana setiap satu laser menghasilkan satu cahaya dengan satu panjang gelombang (monokromatis).

Gambar 6. Laser dengan cahaya monokromatis

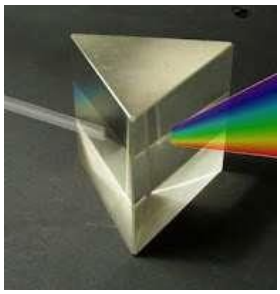
2. Koheren

Salah satu sifat yang terjadi pada cahaya laser akibat kesamaan fase adalah koherensi. Ketika mengkarakterisasikan sistem laser yang sebenarnya, secara umum diasumsikan bahwa sinar laser pada awalnya adalah terfase, dan inkoherensi laser timbul karena sifat monokromatis yang jelek dari sumber. Gambar 7 di bawah ini adalah perbedaan sifat cahaya laser dan cahaya lain.



Gambar 7. Perbedaan sifat mendasar antara cahaya laser dan cahaya dari sumber lain

Dari gambar dapat kita lihat bahwa cahaya yang dihasilkan dari laser dan yang dihasilkan dari sumber lain berbeda persebarannya. Jika cahaya yang dihasilkan dari sumber lain memancarkan berkasnya (*foton*) ke segala arah, karena foton yang dipancarkan ke segala arah maka gelombang elektromagnetiknya memiliki beda fase yang berbeda sehingga sifatnya tidak koheren, dan jika kita melihat cahaya yang dihasilkan matahari memiliki kecenderungan sifat polikromatik yaitu bisa memancarkan banyak warna dan banyak panjang gelombang, salah satu contohnya yaitu jika kita meneruskan cahaya matahari atau cahaya lampu (cahaya putih) pada sebuah prisma maka akan ada pembiasan warna-warna seperti warna pelangi seperti yang terlihat pada gambar 8 berikut.



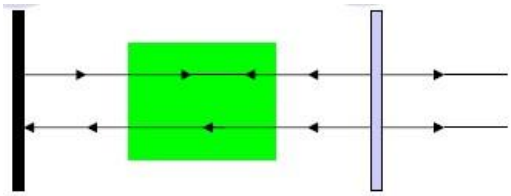
Gambar 8. Cahaya polikromatik dari cahaya matahari dan lampu

Cahaya monokromatik yang telah melewati prisma, hanya memiliki lintasan searah yang tidak menyebar. Karena cahaya yang dihasilkan searah, maka bersifat koheren dan memiliki

kecerahan yang tinggi. Sifat cahaya yang dihasilkan laser fokus pada satu arah dan sangat kuat, sehingga memiliki energi dan daya yang mampu dimanfaatkan di berbagai hal.

3. Terarah

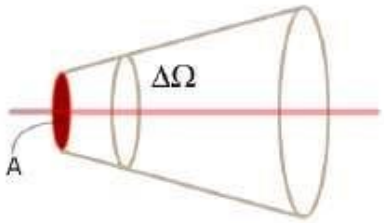
Cahaya yang dihasilkan laser bersifat terarah artinya foton yang dipancarkan dalam satu arah. Keterarahan ini Merupakan konsekuensi langsung ditempatkannya bahan aktif dalam cavity resonant, dimana hanya gelombang yang merambat dalam arah yang tegak lurus terhadap cermin-cermin yang dapat dipertahankan dalam cavity (lubang), yang polanya seperti pada gambar 9 berikut.



Gambar 9. keterarahan berkas cahaya laser

4. Kecerahan

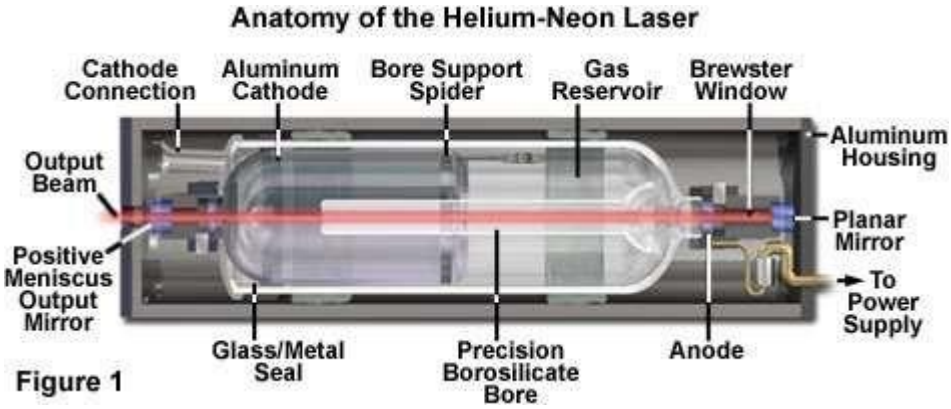
Kita dapat mendefinisikan kecerahan spektral suatu sumber, sebagai daya yang mengalir per satuan luas, satuan *bandwidth*, dan *steradian*. Jadi, berkas laser mempunyai kecerahan yang sangat tinggi dibanding dengan sumber biasa. Berkas cahaya dari sumber tertentu dapat dikarakterisasi oleh *divergensi* berkasnya (dalam sudut ruang), ukuran sumber (luasan pada keluaran), lebar pita (*bandwidth*), dan rapat daya spektral dalam watt/Hz. Dengan parameter-parameter ini kita definisikan menurut gambar di bawah ini sebagai daya yang mengalir per satuan luas, satuan *bandwidth*, dan *steradian*. Dalam hal ini adalah intensitas spektral, sehingga kita dapat memaknai sebagai intensitas spektral per *steradian*. Gambar 10 di bawahini menunjukkan skema *divergensi* cahaya laser.



Gambar 10. Divergensi cahaya laser

c. Laser He-Ne

Laser Helium-Neon tidak dipompa secara optis, tetapi secara elektrik. Medium aktifnya adalah campuran gas dari helium dan neon dengan perbandingan 5:1 pada tekanan sekitar 3 torr. Helium tereksitasi ke sebuah level tertentu karena tabrakan elektron. Energi ditransfer dengan cepat ke atom neon netral yang mempunyai tingkat energi sedikit dibawah atom helium. Ini adalah level laser yang lebih atas. Transisi laser yang paling penting pada panjang gelombang 633 nm. Struktur anatomi Laser He-Ne terlihat pada gambar 11 di bawah ini.

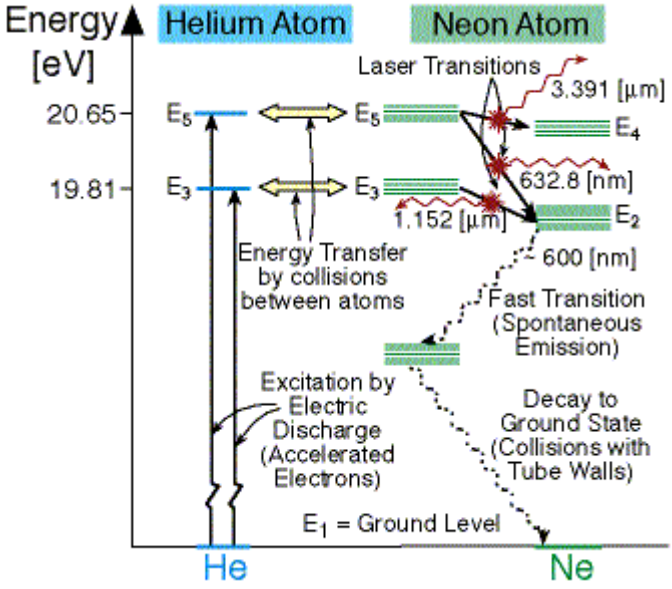


Gambar 11. Bagian-bagian laser He-Ne

Laser He-Ne dipompa secara terus menerus, biasanya mnggunakan power suplay DC. Power suplay DC ini khususnya pada rentang 0,3-15 mlwatt atau lebih pada *transverse* mode 00. Banyak laser He-Ne memakai cermin setengah pada tabung plasma. Keuntungan laser sangat sedikit; sudut *Brewster windows esensial*

untuk mencegah berkurangnya pantulan. Bahkan, kaca keluaran itu mempunyai reflektansi lebih dari 99% dengan tabung plasma sepanjang 15 atau 20 cm. Karena *Brewster window*, keluarannya menyebar pada bidang vektor elektrik termasuk poros laser dan garis normal *Brewster window*.

Meskipun laser He-Ne tidak dipompa secara optis, tetapi karakteristik ambang dapat di deskripsikan dengan cukup oleh rate equations. Pada kasus laser ruby, kita telah mengamati fluktuasi yang sangat luas pada keluarannya. Ini menghubungkan ke osilasi pendek dari inversi populasi n dengan ambang batas nilai. Pada laser He-Ne, nilai n tidak mengalami osilasi, tetapi lebih menerima nilai yang tepat. Hasilnya keluaran laser He-Ne kontinu dan stabil yang alurnya seperti pada gambar 12 berikut.



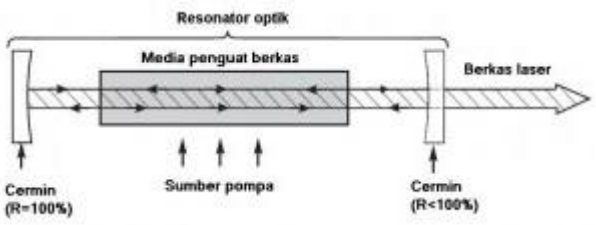
Gambar 12. Diagram energi laser He-Ne

d. Prinsip Kerja Laser

Laser dikatakan baik jika frekuensi atau panjang gelombang yangn dipancarkannya bersifat tunggal. Daya laser dapat dibuat bervariasi dari mulai nano watt untuk laser kontinyu sampai triliunan

watt untuk laser pulsa. Laser merupakan komponen utama pada sistem komunikasi modern saat ini. Selain itu, laser juga dimanfaatkan sebagai probe untuk pembacaan data CD atau DVD, sebagai sumber cahaya pada alat pembaca barcode, alat bantu navigasi pada bidang militer, alat bantu operasi pada bidang kedokteran, dan masih banyak lagi aplikasi lainnya.

Secara umum suatu divais laser terdiri dari m edia penguat berkas cahaya (*gain medium*), sumber energi pemompa (*pumping source*), dan resonator optik (*optical resonator*). Resonator optik pada laser ditunjukkan pada gambar 13 berikut.



Gambar 13. Sistem penguatan sinar Laser

Media penguat adalah suatu bahan yang mempunyai sifat dapat meningkatkan intensitas cahaya dengan cara emisi terstimulasi. Sedangkan *resonator optic*, secara sederhana terdiri dari susunan cermin yang dipasang berhadapan sehingga berkas cahaya dapat bergerak bolak-balik. Salah satu cermin bersifat agak transparan, sehingga dapat berfungsi sebagai jalur keluar berkas laser (*output coupler*). Berkas cahaya yang melewati media penguat akan mengalami penguatan daya. Jika daerah sekelilingnya merupakan cermin, maka cahaya akan bergerak bolak-balik dan melewati media penguat berkali-kali. Dengan demikian cahaya akan mengalami penguatan daya beberapa kali lipat. Setelah mengalami penguatan daya, cahaya dapat keluar melewati cermin yang bersifat agak transparan sebagai berkas laser.

Proses memasukkan energi sebagai syarat untuk terjadinya penguatan daya dinamakan dengan *pumping* (memompa). Energi yang dipompakan dapat berupa arus listrik atau berkas cahaya dengan panjang gelombang yang berbeda. Untuk pompa energi dalam bentuk cahaya, dapat digunakan lampu flash atau laser semikonduktor. Selain komponen-komponen utama di atas, suatu perangkat laser biasanya dilengkapi dengan beberapa komponen pendukung untuk menghasilkan berkas laser yang tajam.

Bahan media penguat dapat berupa gas, cairan, padatan, atau plasma. Media penguat menyerap energi yang dipompakan dan mengakibatkan sejumlah elektron tereksitasi ke tingkat energi yang lebih tinggi. Partikel dapat berinteraksi dengan cahaya melalui cara mengabsorpsi atau mengemisikan foton. Emisi cahaya dapat terjadi secara spontan atau dengan cara stimulasi. Ketika jumlah elektron pada suatu tingkat eksitasi melebihi jumlah elektron pada tingkat energi di bawahnya, maka populasi inversi telah terjadi. Hal tersebut dapat mengakibatkan terjadinya emisi terstimulasi yang jumlahnya lebih besar daripada yang diabsorpsi. Dengan demikian cahaya mengalami penguatan. Jika media penguat ini ditempatkan di dalam resonator optik, maka penguatan cahaya dapat terjadi berkali-kali dan selanjutnya menghasilkan berkas laser.

Kavitas optik merupakan salah satu bentuk dari resonator. Kavitas mengandung berkas koheren yang dilingkupi oleh permukaan bersifat reflektif yang memungkinkan berkas cahaya tersebut bergerak bolak-balik melewati media penguat. Cahaya yang bergerak bolak-balik di dalam kavitas dapat mengalami kehilangan daya (loss) yang disebabkan oleh absorpsi atau difraksi. Jika penguatan di dalam media tersebut lebih besar dibandingkan dengan kehilangan daya dalam resonator, maka daya laser akan naik secara eksponensial. Pada setiap kejadian emisi terstimulasi, sejumlah partikel akan berpindah dari

tingkat energi tereksitasi ke keadaan dasar, hal ini akan mengurangi kapasitas media penguat.

Untuk mengembalikannya ke kondisi terstimulasi, harus dipompa kembali dengan energi tertentu. Besarnya energi yang dipompakan harus mempertimbangkan batas ambang dari media penguat dan kehilangan daya di dalam kavitas. Jika daya yang dipompakan terlalu kecil, maka emisi yang dihasilkan tidak akan cukup untuk mengimbangi kehilangan daya akibat absorpsi di dalam kavitas. Sebaliknya jika energi yang dipompakan terlalu besar, maka akan mempercepat degradasi media penguat sehingga memperpendek usia penggunaannya. Oleh karena itu, diperlukan optimasi batas minium energi yang dipompakan (lasing threshold), sehingga berkas laser yang dihasilkan cukup signifikan dengan umur pemakaian yang panjang.

Laser dapat beroprasi pada modus kontinu (continuous wave) dengan amplitudo keluaran konstan atau dalam bentuk pulsa. Laser pulsa dapat dihasilkan dengan teknik Q-switching, mode terkunci (modelocking) atau gain switching. Laser dalam bentuk pulsa dapat menghasilkan daya yang sangat besar. Dalam mode operasi kontinu, berkas laser yang dihasilkan relatif konstan terhadap waktu. Proses tersebut dihasilkan dari populasi inversi yang berlangsung terus-menerus menggunakan sumber pemompa energi yang stabil. Sedangkan dalam mode operasi pulsa, berkas laser yang dihasilkan berubah terhadap waktu secara bolak-balik dengan mode on dan off. Laser pulsa biasanya dibuat dengan tujuan untuk menghasilkan power laser yang sangat besar dengan waktu radiasi yang singkat.

Laser dihasilkan dari proses relaksasi elektron. Pada saat proses ini maka sejumlah foton akan di lepaskan berbeda sengan cahaya senter emisi pada laser terjadi dengan teratur sedangkan pada lampu senter emisi terjadi secara acak. Pada laser emisi akan menghasilkan cahaya yang memiliki panjang gelombang tertentu. berbeda dengan

lampu senter emisi akan mengasilkan cahaya dengan banyak panjang gelombang. proses yang terjadi adalah elektron pada keadaan ground state (pada pita valensi) mendapat energi kemudian statusnya naik menuju pita konduksi (keadaan eksitasi) kemudian elektron tersebut kembali ke keadaan awal (ground state) diikuti dengan beberapa foton yang terlepas. Kemudian agar energi yang dibawa cukup besar maka dibutuhkan sebuah resonator resonator ini dapat berupa lensa atau cermin yang sering digunakan adalah lensa dan cermin. ketika di dalam resonator maka foton-foton tersebut akan saling memantul terhadap dinding resonator sehingga cukup kuat untuk meninggalkan resonator tersebut. laser cukup kuat digunakan sebagai alat pemotong misalnya adalah laser CO2 laser yang kuat adalah tingkat pelebaranya rendah dan energi fotonya tinggi.

4. Kaporit

a. Penggunaan Kaporit

Kaporit merupakan desinfektan yang umum digunakan dalam segala bentuk baik bentuk kering/kristal dan bentuk basah/larutan. Dalam bentuk kering, biasanya kaporit berupa serbuk atau butiran, tablet atau pil. Dalam bentuk basah biasanya kristal yang ada dilarutkan dengan aquades menurut kebutuhan desinfeksi. Berdasarkan uji kaporit dalam laboratorium bahwa kaporit terdiri lebih dari 70% bentuk klorin. Kaporit dalam bentuk butiran atau pil dapat cepat larut dalam air dan penyimpanannya ditempat kering yang jauh dari bahan kimia yang mengakibatkan korosi, dalam kondisi atau temperatur rendah, relatif stabil.

Kaporit merupakan bahan yang mudah dicari, mudah penggunaannya, terjangkau oleh masyarakat umum. Kaporit/Kalsium hipoklorit pada proses desinfeksi bisa dengan cepat membunuh organisme yang ada di air kolam renang, dan juga bisa menyisihkan $NH4^{+}$ pada air kolam renang sehingga tidak melampaui batas dari Standar Nasional Indonasia dimana air kolam renang

merupakan air yang masuk dalam golongan 3 dimana kadar ammoniak bebas tidak boleh lebih dari 5 mg/L.

Kelemahan klorinasi adalah adanya korelasi positif antara kaporit dengan senyawa organohalogen yang merupakan hasil reaksi antara klor dengan senyawa organik berhalogen (CHCl) yang terdapat dalam limbah. Salah satu senyawa *organohalogen* adalah *trihalometan* (THM). Semakin tinggi konsentrasi kaporit, semakin tinggi pula probilitas terbentuknya THM. Trihalomentan bersifat karsinogenik dan mutagenik (Sururi, et al., 2008). Untuk mengeliminasi terbentuknya THM, penentuan titik breakpoint clorination (BPC) menjadi penting sebelum aplikasi kaporit di lapangan. BPC adalah jumlah klor aktif (ion OCl^- dan HOCl) yang dibutuhkan untuk mengoksidasi semua bahan organik dan bahan anorganik yang terlarut dalam limbah dan kemudian sisa klor aktifnya berfungsi sebagai disinfektan (Lestari et al., 2008; Sururi, 2008; Brooks, 1999; Alaert & Sumestri, 1984)

b. Bahaya Penggunaan Kaporit

Kaporit yang ada dalam air kolam renang dapat masuk ke dalam tubuh seseorang melalui beberapa bentuk dan cara, baik dalam bentuk gas klorin yang masuk melalui pernapasan, kontak langsung air kolam renang berkaporit dengan kulit atau mata, serta saat air kolam renang tidak sengaja tertelan oleh perenang. Gas klorin hasil reaksi kaporit dengan air kolam renang bersifat toksik. Jika tertelan, zat ini akan menyebabkan kerusakan pada jaringan-jaringan di dalam tubuh. Selain itu, gas klorin yang terhirup dalam konsentrasi yang tinggi bisa menyebabkan penyempitan saluran dan pembengkakan pada paru-paru.

1. Iritasi

Ketika bereaksi dengan zat-zat organik seperti urin dan keringat para perenang, klorin akan menghasilkan senyawa sejenis nitrogen triklorida. Senyawa nitrogen triklorida dapat

menyebabkan iritasi pada membran-membran mucus (lendir), sehingga memicu iritasi mata. Lama kelamaan mata yang sering terkena air kolam renang yang mengandung senyawa hasil reaksi tersebut bisa mengalami masalah penglihatan lainnya seperti kornea yang berawan, iritis, retinitis, hingga terbentuknya katarak.

2. Infeksi Kulit

   Kaporit dapat menyebabkan iritasi kulit dan rasa terbakar pada kulit. Kontak dengan air kolam renang yang mengandung klorin berlebih akan menimbulkan ruam merah dan infeksi kulit. Selain itu, klorin yang bereaksi dengan materi organik akan menghasilkan zat-zat toksik yang merusak kulit. Anak-anak jauh lebih rentan mengalami efek buruk akibat toksin dari kaporit pada kolam renang.

3. Gangguan Sistem Pernafasan

   Sistem pernapasan merupakan salah satu sistem organ di dalam tubuh yang paling mudah terpapar oleh klorin dalam berbentuk gas di kolam renang. Fungsi klorin dalam kolam renang dapat menyebabkan beberapa penyakit pada paru-paru seperti bronkitis dan *exercise-induced bronchoconstriction* (EIB) atau asma yang dipicu oleh olahraga.

   Penyakit asma yang dialami seseorang setelah berenang seringkali disebut dengan istilah *swimmer's asthma*. Tidak jarang seseorang dengan penyakit asma juga akan mengalami kambuhan ketika berenang. Hal ini dicurigai sebagai akibat dari paparan gas klorin. Selain itu, senyawa klorin dalam kaporit juga dapat menyebabkan penyakit epiglottitis, yaitu pembengkakan dan inflamasi epiglottis yang mengganggu proses pernapasan. Penyakit-penyakit pernapasan akibat berenang cenderung lebih banyak terjadi pada seseorang yang berenang pada kolam renang *indoor* dengan sirkulasi udara yang buruk karena udara pada kolam renang *indoor* akan dipenuhi oleh gas klorin.

4. Kerusakan dan Perubahan Warna Gigi

Reaksi kaporit dengan air kolam renang menghasilkan pH air kolam renang yang tinggi. Ketidaksetimbangan pH ini menyebabkan beberapa masalah pada gigi, seperti perubahan warna dan kerusakan gigi. Klorin merupakan salah satu senyawa yang dapat menyebabkan perubahan warna pada gigi. Kondisi dimana perenang mengalami perubahan warna pada gigi bagian depannya dikenal sebagai *swimmer's calculus*. Selain perubahan warna, pH yang tidak setimbang pada kolam renang juga menyebabkan enamel gigi menjadi lunak dan membuat gigi lebih rentan terhadap kerusakan serta membuat gigi lebih sensitif. Dalam jangka panjang, gas klorin dapat menyebabkan korosi pada gigi, sering disebut sebagai *swimmer's erosion*.

5. Masalah Sistem Pencernaaan

Saat tertelan, kaporit dapat menyebabkan berbagai gangguan pada sistem pencernaan. Gangguan paling umum yang diderita seseorang sesaat setelah menelan air kolam renang adalah rasa terbakar di tenggorokan. Jika jumlah kaporit yang tertelan cukup banyak, maka bisa terjadi kerusakan pada jaringan-jaringan di dalam tubuh, terutama sepanjang jalur pencernaan. Selain itu, jika konsentrasi kaporit yang terkandung dalam air kolam renang melebihi batas aman, dapat menyebabkan kerusakan pada mulut, esophagus, dan lambung, yang dalam keadaan parah dapat menyebabkan pendarahan.

Fungsi kaporit dalam kolam renang ternyata bisa menyebabkan berbagai masalah pada kesehatan. Bukan hanya pada bagian luar tubuh, tetapi juga gangguan pada organ dalam tubuh. Oleh karena itu, diperlukan beberapa perlindungan saat berenang, seperti menggunakan kacamata renang, sumbat hidung, serta harus berhati-hati dalam membuka mulut ketika berenang agar tidak menelan terlalu banyak air kolam renang.

B. Kerangka Berpikir

Penelitian ini bertujuan untuk mencari pengaruh perubahan konsentrasi larutan kaporit dan jumlah lilitan *Polymer Optical Fiber* (POF) terhadap intensitas keluaran yang dideteksi oleh *Optical power Meter* (OPM). Sumber cahaya yang digunakan yaitu Laser He-Ne yang dilewatkan pada serat optik plastik tipe SH 4001-1.3. Seperti yang kita ketahui proses perambatan cahaya dalam *Polymer Optical Fiber* (POF) dipengaruhi oleh 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° dan sinar akan merambat sejajar dengan bidang perbatasan didalam bahan kedua. Sudut datang yang menyebabkan terjadinya hal ini disebut sebagai sudut kritis.

Sedangkan penurunan atau pelemahan cahaya pada *Polymer Optical Fiber* (POF) absorbsi dari bahan yang digunakan, pancaran Reyleigh atau efek terpencarnya cahya akibat terjadinya perubahan kecil yang bersifat lokal pada indeks bias bahan inti dan bahan mantel dan Bending atau pembengkokan serat optik yang dapat menyebabkan cahaya yang merambat pada serat optik berbelok dari arah transmisi dan hilang. Penurunan atau pelemahan cahaya pada *Polymer Optical Fiber* (POF) disebabkan oleh ketiga hal tersebut.

Pada penelitian ini, perubahan konsentrasi larutan, pancaran Reyleigh dan faktor Bending berpengaruh terhadap indeks bias larutan tersebut. Bagian tengah jaket dikelupas dan dibentuk 1, 2 dan 3 lilitan pada pipa paralon kemudian dicelupkan ke dalam *beaker glass* yang sudah terisi larutan. Fiber optik mengalami pembengkokan pada bagian yang dicelupkan larutan. Akibat pembengkokan tersebut, maka akan ada pelemahan intensitas cahaya yang keluar dari fiber optik. Larutan dengan indeks bias (n) akan berfungsi untuk membiaskan dan memantulkan cahaya yang keluar dari serat optik.

Dari hasil penelitian ini, diharapkan akan dapat diketahui pengaruh konsentrasi larutan kaporit dan formasi jumlah lilitan *Polymer Optical Fiber* (POF) terhadap intensitas cahaya keluaran fiber optik yang diterima oleh *Optical Power Meter* (OPM). Perlakuan *cladding* pada fiber optik tersebut dapat memanfaatkan atenuasi yang terjadi di dalam fiber optik dan memanfaatkan cahaya yang lolos dari fiber optik.

BAB III

METODE PENELITIAN

A. Waktu dan Tempat Penelitian

3. Waktu Penelitian

Penelitian tentang pengaruh formasi jumlah lilitan *Polymer Optical Fiber* (POF) terhadap keluaran daya optik pada *Optical Power Meter* (OPM) saat terjadi perubahan masa kaporit dalam larutan air dilakukan pada bulan Oktober 2019 sampai Februari 2020.

2. Tempat Penelitian

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

B. Objek Penelitian

Obyek dalam penelitian ini adalah *Polymer Optical Fiber* (POF) tipe SH-4001-1.3 dengan panjang 100 cm. Bagian tengah *Polymer Optical Fiber* (POF) dikelupas jaketnya dan dililit dengan diameter 2,5 cm dalam 3 variasi jumlah lilitan yang direndam dalam larutan kaporit dengan konsentrasi 0 gr/liter sampai dengan 5 gr/liter dengan rentang 0,5 gr/liter.

C. Variabel Penelitian

1. Variabel bebas

a. Variasi konsentrasi larutan kaporit dalam air dengan konsentrasi 0 gr/liter sampai dengan 5 gr/liter dengan rentang 0,5 gr/liter,

b. Variasi jumlah lilitan *Polymer Optical Fiber* (POF) yaitu 1 lilitan, 2 lilitan dan 3 lilitan.

2. Variabel terikat

a. Daya *output* optik yang diterima *Optical Power Meter* (OPM).

3. Variabel kontrol

a. Jenis laser yang digunakan,

b. Jenis *Polymer Optical Fiber* (POF),

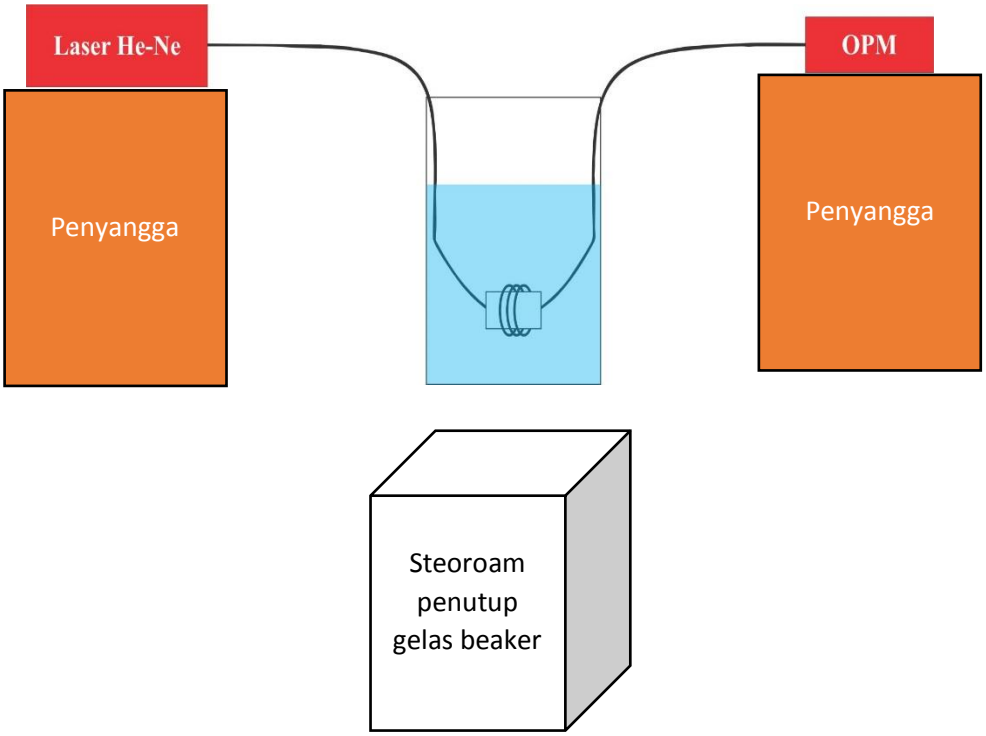
c. Panjang *Polymer Optical Fiber* (POF),

d. Diameter lilitan,

e. Ruangan yang gelap.

D. Desain Penelitian

1. Skema alat penelitian



Gambar 14. Skema alat penelitian

2. Desain Penelitian

Berdasarkan variable penelitian yang disajikan dalam penelitian ini, maka desain penelitiannya adalah sebagai berikut.

a. Percobaan 1

Tabel 3. Desain penelitian

Konsentrasi Kaporit (gr/liter) / Jumlah Lilitan	0	0,5	1	1,5	2	2,5	3	3,5	4	4,5	5
1 Lilitan											
2 Lilitan											
3 Lilitan											

b. Data ternormalisasi

Untuk menghitung data ternormalisasi digunakan persamaan 3 sebagai berikut yang kemudian hasilnya dikelompokkan dalam tabel 4 dibawah ini.

$$Nilai\ ternormalisasi = (dBm\ data\ ke - n) - (dBm\ data\ ke\ 1)$$

... (3)

Tabel 4. Desain penelitian ternormalisasi

Konsentrasi Kaporit (gr/liter) / Jumlah Lilitan	0	0,5	1	1,5	2	2,5	3	3,5	4	4,5	5
1 Lilitan											
2 Lilitan											
3 Lilitan											

3. Spesifikasi perlakuan Fiber Optik Polymer (POF)

Tabel 5. Spesifikasi perlakuan *Polymer Optical Fiber* (POF)

Spesifikasi Polymer Optical Fiber (POF)	Jumlah Lilitan		
	1	2	3
Panjang (cm)	100	100	100
Panjang Pengelupasan (cm)	7,85	15,7	23,56
Diameter Lilitan/paralon (cm)	2,5	2,5	2,5
Volume Air (L)	1	1	1
Variasi Kaporit (gr)	0,5-10	0,5-10	0,5-10

E. Alat dan Bahan

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah, kaporit yang dilarutkan dalam air untuk mengetahui intensitas yang ditangkap oleh *Optical Power Meter* (OPM). Selain masa kaporit dalam air yang divariasikan, juga dilakukan pemvariasian jumlah lilitan *Polymer Optical Fiber* (POF). Peralatan dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Alat

a. Laser Helium-Neon

Laser Helium-Neon digunakan sebagai sumber cahaya (sinyal) masukan fiber optik dengan daya keluaran 5 mW dan λ= 632,8 nm.

b. *Optical Power Meter* (OPM)

Optical Power Meter (OPM) digunakan untuk mengukur intensitas cahaya yang diteruskan setelah melalui larutan Kaporit.

c. *Fiber Optic Stripper* dan *Cutter*

Fiber Optic Stripper dan *Cutter digunakan* untuk melepaskan *Jacket* dan *Buffer* pada bagian tengah kabel fiber optik.

d. Tabung *Erlenmeyer*

Tabung *Erlenmeyer digunakan* untuk mencampur dan mengukur larutan.

e. Gelas *Beaker*

Gelas *Beaker* digunakan sebagai wadah larutan yang dijadikan *sample* percobaan.

f. Timbangan Digital

Timbangan digital digunakan untuk menimbang masa bahan yang akan digunakan dalam penelitian.

g. Penyangga

Penyangga digunakan untuk media tempat menempatkan *Optical Power Meter* (OPM).

h. Penggaris

Penggaris digunakan sebagai pengukur panjang *Polymer Optical Fiber* (POF).

i. Gunting

Gunting digunakan untuk memotong lakban dan isolatip yang menunjang perangkaiaat alat yang digunakan

j. Wadah kecil

Wadah ini digunakan untuk meletakkan kaporit bubuk setelah ditimbang sebelum dicampur kedalam pelarut.

k. *Steroafoam*

Steroafoam digunakan untuk media penutup gelas *Beaker* agar sistem tidak terpengaruh cahaya dari luar.

l. Senter

Senter digunakan untuk sumber cahaya yang menyinari layar *Optical Power Meter* (OPM) agar tetap terlihat ketika ruangan untuk penelitian gelap.

2. Bahan

a. Kabel *Polymer Optical Fiber* (POF) tipe SH-4001-1.3

Polymer Optical Fiber (POF) digunakan sebagai sensor pendeteksi kandungan kaporit dalam air yang dialiri oleh Laser He-Ne setelah

melewati medium larutan kaporit dan ditangkap oleh *Optical Power Meter* (OPM).

b. Kaporit

Kaporit digunakan sebagai bahan yang diuji setelah dilarutkan dalam air dengan berbagai variasi untuk menguji sensitivitas sensor.

c. Pipa paralon

Pipa paralon digunakan sebagai tempatt untuk melilitkan *Polymer Optical Fiber* (POF).

d. Lakban

Lakban digunakan untuk menempelkan *Polymer Optical Fiber* (POF) ke permukaan gelas *Beaker* agar tidak berubah posisi ketika dilaukan pengujian.

e. Aquades

Aquades digunakan sebagai zat pelarut untuk melarutkan kaporit dalam medium yang digunakan sebagai pengujian sensor berbasis *Polymer Optical Fiber* (POF).

F. Prosedur Penelitian

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

1. Memotong *Polimer Optical Fiber* (POF) sepanjang 1 meter sebanyak 3 buah.
2. Mengelupas jaket *Polimer Optical Fiber* (POF) bagian tengah sepanjang 7,85 cm, 15,7 cm dan 23,56 cm.
3. Melilitkan *Polimer Optical Fiber* (POF) yang telah dikelupas bagian tengahnya menjadi 1 lilitan, 2 lilitan dan 3 lilitan ke pipa paralon dengan diameter paralon sebesar 2,5 cm.
4. Mengamati *Polimer Optical Fiber* (POF) dengan mikroskop Smz1500 untuk mengetahui keretakan pada permukaan sensor yang telah dikelupas.

5. Menyusun skema rangkaian untuk penelitian dengan cara menghubungkan satu ujung *Polimer Optical Fiber* (POF) ke laser He-Ne, kemudian bagian yang dililitkan pada pipa paralon dimasukkan dalam gelas *beaker* dan direkatkan dengan lakban serta bagian ujung *Polimer Optical Fiber* (POF) yang satunya dihubungkan pada *Optical Power Meter* (OPM).
6. Menimbang bubuk kaporit dengan menggunakan timbangan digital dengan masa 0,5 gr sampai 5 gr dengan rentang 0,5 gr dan meletakkan kaporit bubuk kaporit hasil timbangan ke dalam wadah masing-masing.
7. Memasukkan 1 liter air kedalam gelas *Beaker* dan menyalakan laser He-Ne sembari dilihat daya optik yang ditangkap oleh *Optical Power Meter* (OPM), pada langkah ini pastikan ruangan gelap tidak ada cahaya dan untuk mengamati nilai daya optik yang ditunjukkan oleh *Optical Power Meter* (OPM) dengan cara menyenteri layar *Optical Power Meter* (OPM).
8. Menyiapkan larutan kaporit dengan jumlah kaporit yang telah divariasikan dengan cara penambahan bubuk kaporit ke dalam tabung *erlenmeyer* dan diaduk secara merata.
9. Memasukkan larutan kaporit dalam tabung *erlenmeyer* ke dalam gelas *beaker* yang telas berisi air kemudian mengaduknya pelan-pelan sampai merata. Dalam hal ini sangat diminimalisir menyentuh bagian sensor.
10. Kemudian mengukur daya optik keluaran dengan cara melihat nilai dBm yang diterima oleh *Optical Power Meter* (OPM) kemudian mencatatnya.
11. Mengulangi langkah 7-9 untuk masing-masing masa kaporit yang berbeda sesuai dengan pemvariasian masa kaporit yang telah ditimbang pada langkah 5.
12. Mengulangi langklah 5-10 untuk formasi *Polimer Optical Fiber* (POF) yang berbeda jumlah lilitannya.

G. Teknik Pengambilan dan Analisis Data

1. Persiapan

   Persiapan meliputi kegiatan untuk menyiapkan segala kebutuhan alat dan bahan yang diperlukan untuk *Set-Up* alat. Pengelupasan *Cladding* juga dilakukan ditahap persiapan ini.

2. Karakterisasi dan Pembuatan Sampel

   Karakterisasi sensor dilakukan dengan mengukur intensitas cahaya pada keluaran serat optik utuh (sebelum dilakukan pengelupasan bagian *Cladding*) dan serat optik setelah bagian *Cladding* dikelupas. Pembuatan sampel dilakukan dengan membuat larutan kaporit dengan berbagai variasi konsentrasi dan jumlah lilitan dari *Polymer Optical Fiber* (POF).

3. *Set-up* Alat Penelitian

   Sensor yang digunakan untuk menguji kandungan kaporit dalam air dibuat dari bahan *Polimer Optical Fiber* (POF). *Set-up* alat penelitian meliputi proses pelilitan *Polimer Optical Fiber* (POF) ke pipa paralon yang telah dipotong sampai pemasangan pada laser He-Ne, gelas *Beaker* dan *Optical Power Meter* (OPM). Ujung satu *Polimer Optical Fiber* (POF) dihubungkan dengan laser He-Ne, bagian yang dililitkan pada pipa paralon dilewatkan pada larutan kaporit untuk diamati intensitas keluarannya di *Optical Power Meter* (OPM) melalui ujung *Polimer Optical Fiber* (POF) yang satunya.

4. Uji kinerja Alat

   Uji kinerja alat dilakukan dengan mengisikan sampel larutan kaporit kedalam gelas *beaker* yang sudah disediakan. Pengujian yang dilakukan adalah dengan mengukur besarnya intensitas cahaya yang bisa di deteksi setelah melewati sampel dengan pembacaan intensitasnya melalui *Optical Power Meter* (OPM). Selain intensitasnya juga diamati perubahan respon sensor ketika ditempatkan pada sampel dengan konsentrasi larutan kaporit yang berbeda. Sebagai acuan pengukuran adalah dengan membandingkan serat optik sebelum dan

sesudah dikelupas bagian *Cladding.* Kedua keadaan ini diberlakukan dengan perlakuan yang sama, yaitu pada bagian ujung serat optik dihubungkan dengan laser He-Ne sebagai sumber cahaya sementara ujung yang lainnya dihubungkan dengan *Optical Power Meter* (OPM) untuk mengukur intensitas cahaya yang diteruskan setelah melalui larutan Kaporit.

5. Pengambilan Data

Adapun mekanisme pengambilan data dari penelitian ini adalah dengan menghubungkan salah satu ujung serat optik dengan laser He-Ne sebagai sumber cahaya sementara ujung yang lainnya dihubungkan dengan *Optical Power Meter* (OPM) untuk mengukur intensitas cahaya yang diteruskan setelah melalui larutan kaporit. Pengukuran dilakukan dengan menempatkan sampel didalam gelas *beaker* kemudian *Polymer Optical fiber* (POF) yang sudah terhubung dengan laser He-Ne dan *Optical Power Meter* (OPM) dilewatkan pada sampel, dengan demikian akan terlihat gejala yang terjadi dan akan terbaca pada *Optical Power Meter* (OPM).

6. Analisis Data

Analisis data bertujuan untuk mengetahui apakah sensor yang dibuat telah bekerja dengan baik dan sesuai dengan apa yang diharapkan. Data-data yang diperoleh dari pengambilan data ditampilkan dalam tabel yang isinya membandingkan konsentrasi larutan dan intensitas yang dihasilkan. Data yang ada kemudian dinyatakan dalam bentuk grafik intensitas keluaran terhadap masa kaporit.

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Hasil Penelitian

Penelitian ini sudah dilaksanakan pada bulan Oktober 2019 sampai dengan Februari 2020 yang bertempat di laboratorium Spektroskopi FMIPA UNY. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh formasi fiber optik terkait Daya Optik yang ditangkap oleh *Optical Power Meter* (OPM) dan mencari nilai sensitivitas sensor berbasis *Polymer Optical Fiber* (POF) untuk mendeteksi kandungan kaporit (Ca(ClO)2) dalam air. *Polymer Optical Fiber* (POF) yang digunakan bertipe SH-4001-1.3 dan sumber laser yang digunakan adalah laser He-Ne. Variabel bebas dari penelitian ini adalah Kaporit dengan massa 0,5 sampai 5 gr dengan interval 0,5 gr, dan jumlah lilitan dengan variasi 1, 2, 3 lilitan. Hasil penelitian terkait topik ini dapat dilihat dalam tabel 6 berikut:

1. Data Hasil Penelitian

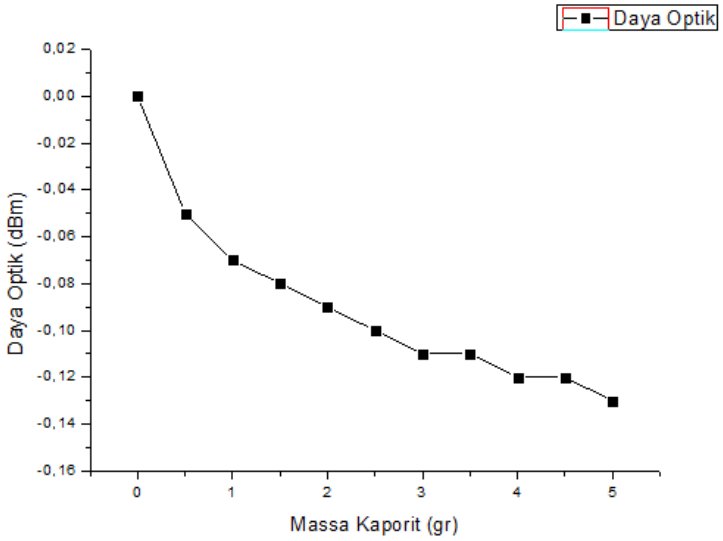
Dari data penelitian yang terlampir dalam Lampiran 1, diperoleh data penelitian ternormalisasi rata-rata untuk masing-masing formasi sensor tertera dalam tabel 6 berikut. Data penelitian ternormalisasi rata-rata ini diperoleh dari hasil rataan 2 percobaan berulang yang dilakukan untuk masing-masing formasi sensor yang berbeda.

Tabel 6. Data hasil penelitian ternormalisasi (rata-rata)

Massa Kaporit (gr)	**Daya Optik**		
	1 Lilitan (dBm)	**2 Lilitan (dBm)**	**3 Lilitan (dBm)**
0	0	0	0
0,5	-0,05	-0,04	-0,08
1	-0,07	-0,06	-0,14
1,5	-0,08	-0,09	-0,18
2	-0,09	-0,12	-0,24
2,5	-0,1	-0,14	-0,29
3	-0,11	-0,17	-0,32
3,5	-0,11	-0,2	-0,37
4	-0,12	-0,24	-0,4
4,5	-0,12	-0,27	-0,42
5	-0,13	-0,31	-0,47

2. Grafik Data Penelitian

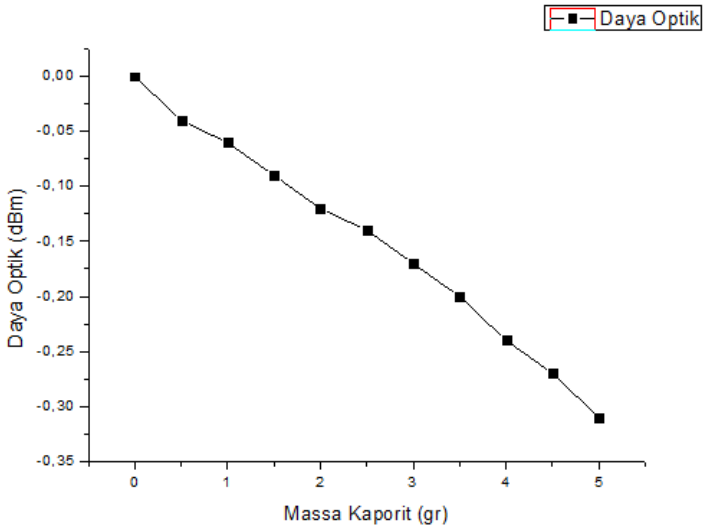
a. Pengaruh variasi jumlah lilitan untuk mendeteksi kandungan kaporit (Ca(Cl)2) dalam air (1 lilitan)



Gambar 15. Grafik massa kaporit terhadap dBm formasi 1 lilitan

Gambar 15 di atas menunjukkan hubungan Massa Kaporit dalam gram dan daya optik dalam dBm. Daya optik yang terukur memiliki interval -31,54 dBm hingga -31,67 dBm untuk variasi massa dari 0 gr sampai 10 gr dengan rentang 0,5 gr dengan penurunan sebesar 0,13 dBm.

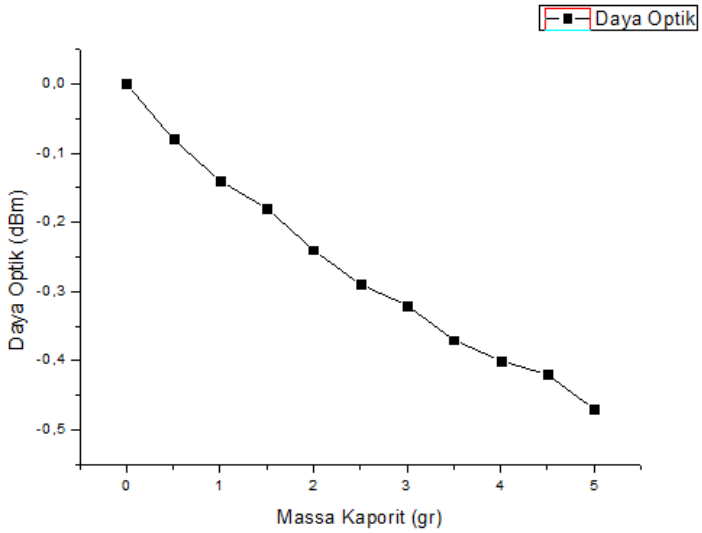
b. Pengaruh variasi jumlah lilitan untuk mendeteksi kandungan kaporit (ca(cl)2) dalam air (2 lilitan)



Gambar 16. Grafik massa kaporit terhadap dBm formasi 2 lilitan

Gambar 16 di atas menunjukkan hubungan Massa Kaporit dalam gram dan daya optik dalam dBm. Daya optik yang terukur memiliki interval -26,56 dBm hingga -26,87 dBm untuk variasi massa dari 0 gr sampai 10 gr dengan rentang 0,5 gr dengan penurunan sebesar 0,31 dBm.

c. Pengaruh variasi jumlah lilitan untuk mendeteksi kandungan kaporit (ca(cl)2) dalam air (3 lilitan)

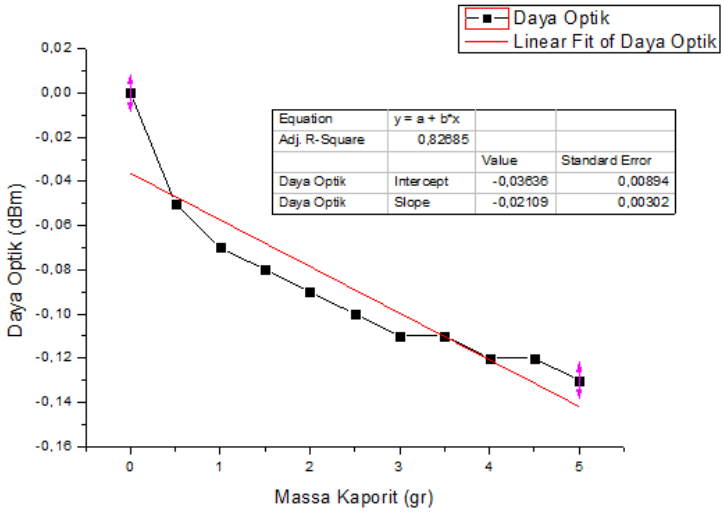


Gambar 17. Grafik massa kaporit terhadap dBm formasi 3 lilitan

Gambar 17 di atas menunjukkan hubungan Massa Kaporit dalam gram dan daya optik dalam dBm. Daya optik yang terukur memiliki interval -40,11 dBm hingga -40,58 dBm untuk variasi massa dari 0 gr sampai 10 gr dengan rentang 0,5 gr dengan penurunan sebesar 0,47 dBm.

3. Fitting Linier Grafik Data Penelitian

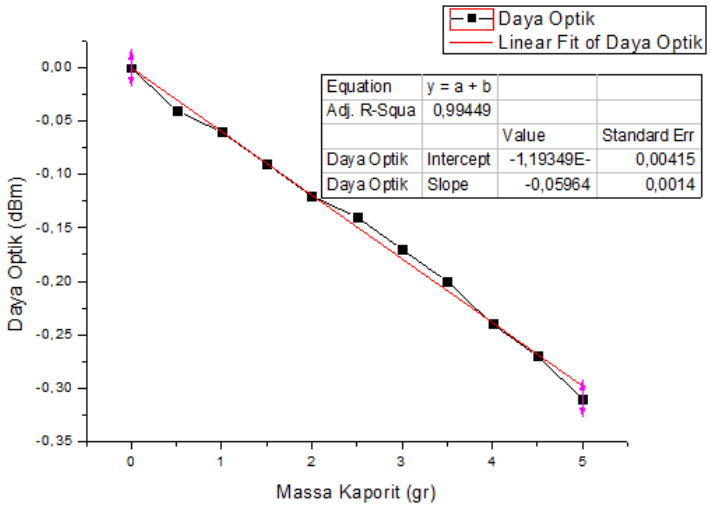
a. *Fitting* linier 1 lilitan



Gambar 18. Grafik *fitting* linier massa kaporit terhadap dBm formasi 1 lilitan

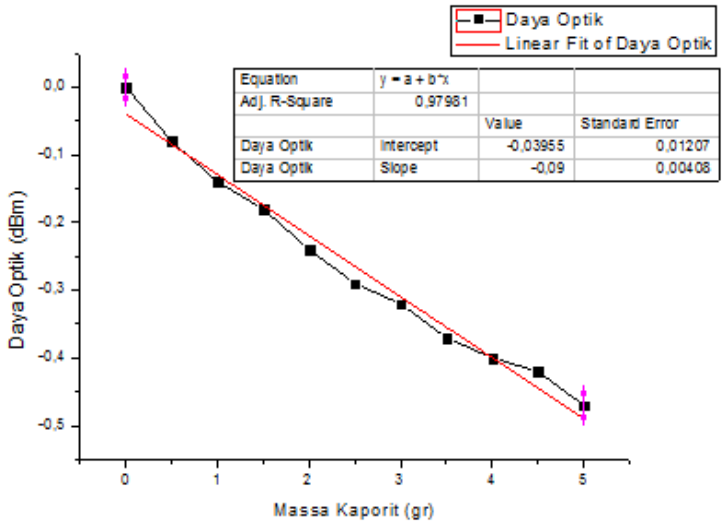
Grafik fitting linier untuk hubungan Massa Kaporit dalam air dan daya optik pada 1 lilitan

b. *Fitting* linier 2 lilitan



Gambar 19. Grafik *fitting* linier massa kaporit terhadap dBm formasi 2 lilitan

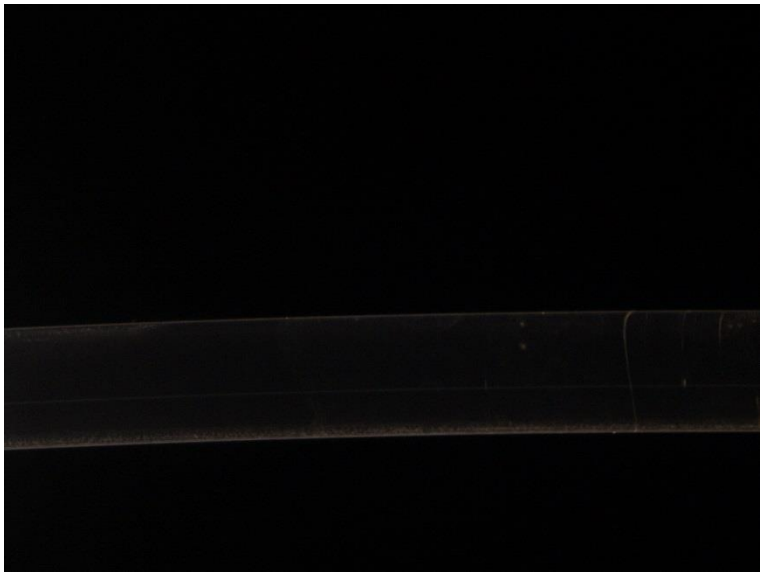
c. *Fitting* linier 3 lilitan



Gambar 20. Grafik *fitting* linier massa kaporit terhadap dBm formasi 3 lilitan

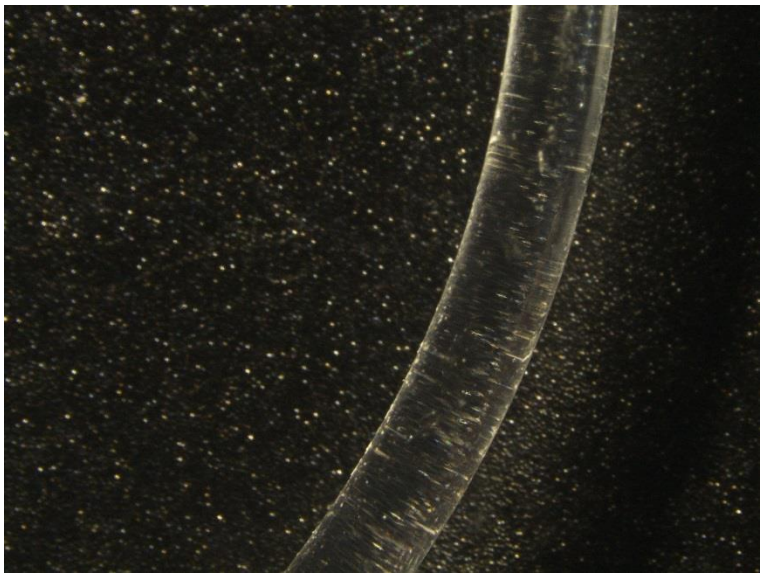
4. Hasil Pengamatan dengan Mikroskop Nikom SMZ1500

a. *Polymer Optical Fiber* (POF) Lurus



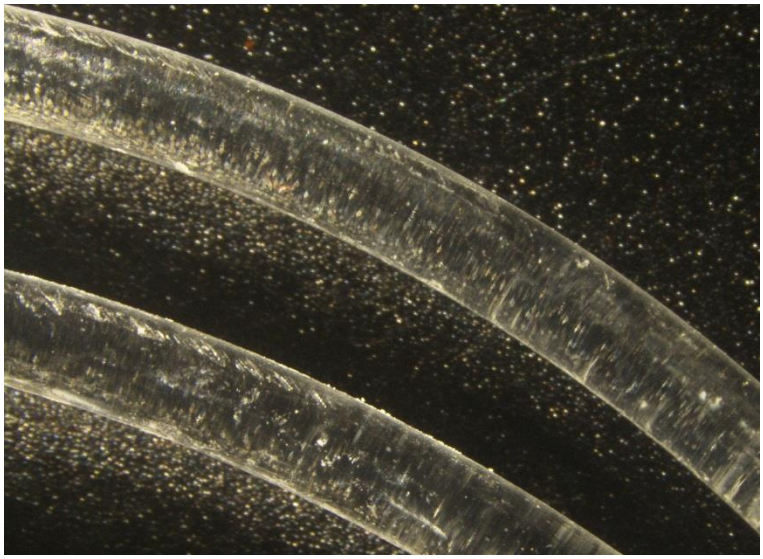
Gambar 21. Pengamatan dengan Mikroskop formasi lurus

b. *Polymer Optical Fiber* (POF) 1 Lilitan



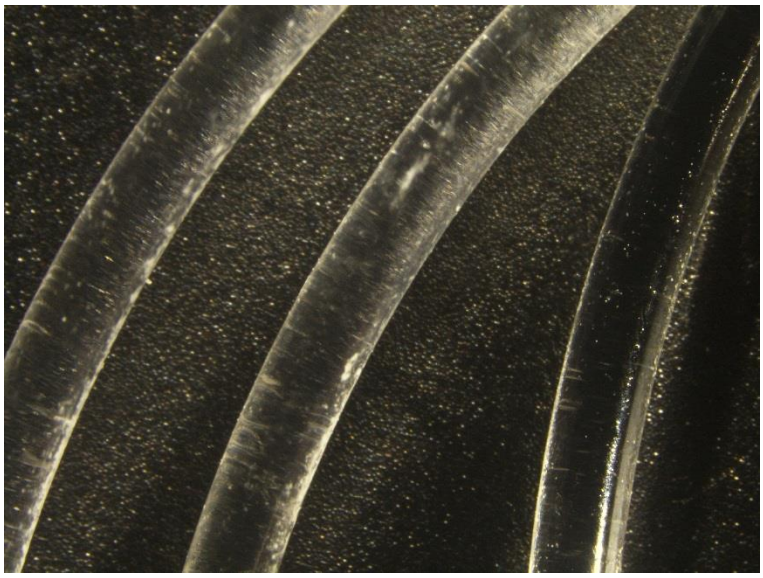
Gambar 22. Pengamatan dengan Mikroskop formasi 1 lilitan

c. *Polymer Optical Fiber* (POF) 2 Lilitan



Gambar 23. Pengamatan dengan Mikroskop formasi 2 lilitan

d. *Polymer Optical Fiber* (POF) 3 Lilitan



Gambar 24. Pengamatan dengan Mikroskop formasi 3 lilitan

B. Pembahasan

Penelitian ini berjudul Pengembangan sensor berbasis fiber optik plastik dengan variasi jumlah lilitan untuk mendeteksi kandungan kaporit (Ca(ClO)2) dalam air. Penelitian ini sudah dilaksanakan pada bulan Oktober 2019 sampai dengan Februari 2020 yang bertempat di laboratorium Spektroskopi FMIPA UNY. Setelah melakukan berbagai tahapan dalam proses pengambilan data akhirnya diperolehlah data yang siap diolah untuk menjawab masalah-masalah yang ada pada topik ini.

Proses pengambilan data dilakukan melalui berbagai tahap, mulai dari persiapan segala alat dan bahan, pembuatan sample, penyusunan alat, uji kinerja alat, pengambilan data dan terakhir proses analisis data. Data dalam penelitian ini diperoleh dari daya optik yang diterima oleh *Optical power Meter* (OPM) dalam satuan desibel meter (dBm) yang berasal dari proses transmisi sinar laser oleh *Polymer Optical Fiber* (POF) dari sumber cahaya laser He-Ne. Ujung satu Fiber Optik dihubungkan dengan sumber cahaya laser Helium-Neon dan ujung satunya lagi dihubungkan dengan detektor yaitu *Optical Power Meter* (OPM). Kemudian Fiber Optik Plastik

di sistem ini tidak begitu saja mengalirkan sinar laser dari sumber sinyal ke detektor, akan tetapi *Polymer Optical Fiber* (POF) dibentuk formasi tertentu. Formasi yang dibentuk dalam sistem ini divariasikan dari sisi jumlah lilitan. Ada 3 variasi yang diformasikan dalam sistem ini, yaitu 1 lilitan, 2 lilitan dan 3 lilitan.

Dalam penelitian ini ada 11 data yang diambil untuk masing-masing formasi. Data pada penelitian ini diperoleh dari proses pemvariasian jumlah zat terlarut dalam 1 liter pelarut. Zat pelarut dalam sistem ini yaitu air, dan zat terlarutnya yaitu kaporit bubuk dengan variasi dari 0 gr sampai 5 gr dengan rentang masing-masing yaitu sebesar 0,5 gr. Sehingga ada 10 data yang diperoleh untuk masing-masing formasi sensor yang dibentuk.

Dapat kita lihat bersama dalam tabl data dBm ternormalisasi di tabel 6 terlihat sebanyak 11 data yang berbeda-beda untuk masing-masing formasi. Ketiga formasi ini masing-masing terdapat 11 data yang berasal dari output daya optik yang ditangkap oleh *Optical Power Meter* (OPM) setelah sistem melewati 11 variasi zat yang dicampur dengan bubuk kaporit yang disusun dalam gelas beker setelah *Polymer Optical Fiber* (POF) dialiri sinar laser dari sumber cahaya (He-Ne).

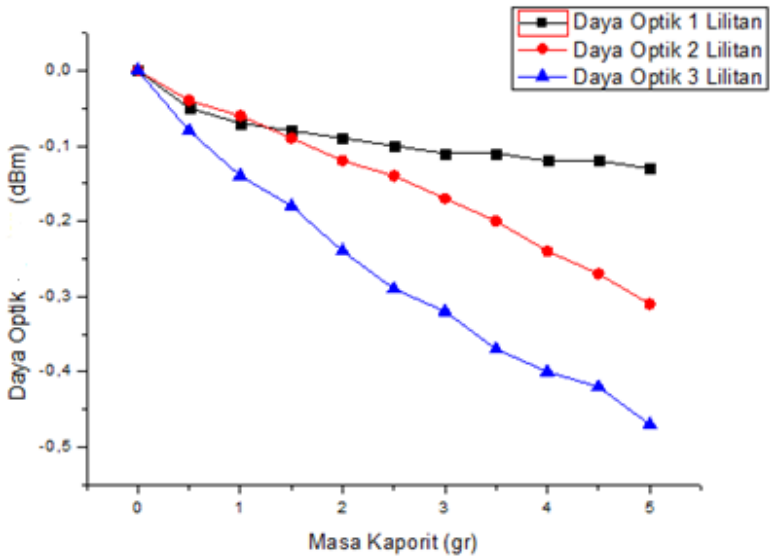
Dari data ternormalisasi di tabel 6 di atas selanjutnya data tersebut akan disajikan dalam bentuk grafik yang di-*Plotting* melalui *Software Origin 6.1*. Dari analisis grafik dapat diketahui pengaruh formasi jumlah lilitan terhadap intensitas keluaran Daya Optik yang ditangkap *Optical Power Meter* (OPM) dan sensitivitas sensornya.

1. Pengaruh formasi jumlah lilitan terhadap keluaran Daya Optik

Pada penelitian ini, fiber optik yang digunakan masing-masing sepanjang 100 cm. Ada 3 variasi jumlah lilitan yang diganakan sebagai objek penelitian disini, yaitu 1, 2 dan 3 lilitan. Fiber optik ini dililitkan pada paralon berbentuk lingkaran yang berdiameter 2,5 cm. Formasi *Polymer Optical Fiber* (POF) yang digunakan dalam penelitian ini adalah seperti tabel 5 di bagian sebelumnya.

Dari ketiga variasi yang ada, yang membedakan *Polymer Optical Fiber* (POF) satu dengan *Polymer Optical Fiber* (POF) yang lainnya adalah jumlah lilitan yang dikelupas jaketnya. Untuk yang 1 lilitan panjang pengelupasannya yaitu 7,85 cm, untuk yang 2 lilitan sepanjang 15,7 cm dan untuk yang 3 lilitan sepanjang 23,56 cm. Dengan melakukan perlakuan yang sama ketika pengujian, ternyata diperoleh output Daya Optik yang ditangkap oleh *Optical Power Meter* (OPM) dengan intensitas yang berbeda-beda (data hasil penelitian terlampir).

Gambar 25 berikut adalah grafik keluaran Daya Optik ternormalisasi yang ditangkap oleh *Optical Power Meter* (OPM) dari ketiga formasi sensor berbasis *Polymer Optical Fiber* (POF) untuk menguji kandungan kaporit dalam air.



Gambar 25. Keluaran daya optik pada OPM

Pada gambar 25 di atas menunjukkan bahwa nilai kemiringan untuk masing-masing jumlah lilitan nilainya berbeda-beda. Dari gambar 25 di atas terlihat semua formasi sensor yang dibuat mengalami penurunan daya optik yang ditangkap oleh *Optical Power Meter* (OPM). Penurunan daya optik yang ditangkap oleh *Optical Power Meter* (OPM)

bergantung pada intensitas cahaya laser He-Ne yang diteruskan dalam sistem. Penurunan intensitas cahaya laser He-Ne ini disebabkan oleh beberapa hal, dan ini berlaku untuk semua formasi sensor yang dibuat dalam penelitian ini.

Pertama, disebabkan oleh kelengkungan *Polymer Optical Fiber* (POF). Jika *Polymer Optical Fiber* (POF) disusun dalam posisi lurus maka garis normal selalu mengarah tegak lurus terhadap bidang perbatasan inti-selubung. Ketika *Polymer Optical Fiber* (POF) disusun dalam posisi yang berbeda (lilitan melingkar), maka garis normal akan mengikuti perubahan intinya. Akibatya sudut datang cahaya menjadi kurang dari sudut kritis dan mengakibatkan cahaya daapat keluar menembus inti dan keluar dari *Polymer Optical Fiber* (POF).

Kedua, disebabkan oleh pengelupasan jaket *Polymer Optical Fiber* (POF). Jaket berfungsi sebagai pelindung *Polymer Optical Fiber* (POF) dari munculnya retakan pada permukaan lapisan plastik plastik yang snagat lembut yang ditambahkan di bagian luar *Polymer Optical Fiber* (POF). Lapisan ini disebut sebagai *buffer* primer, dan fungsinya adalah untuk perlindungan mekanis. Meskipun bagian ini tidak terlihat dalam proses transmisi cahaya dalam *Polymer Optical Fiber* (POF), tapi dengan perlakuan pengelupasan dan membentuk *Polymer Optical Fiber* (POF) yang dililitkan maka tidak dapat dipungkiri akan terbentuk retakan-retakan dalam *Polymer Optical Fiber* (POF) seperti terlihat pada gambar 21-24. Dengan adanya pengelupasan pada jaket *Polymer Optical Fiber* (POF), maka tidak ada bagian dari *Polymer Optical Fiber* (POF) yang akan meminimalisir terjadinya retakan sehingga mengakibatkan pelemahan intensitas yang ditangkap oleh *Optical Power Meter* (OPM)

Ketiga, disebabkan oleh formasi *Polymer Optical Fiber* (POF) yang ditempatkan pada larutan kaporit. Perubahan konsentrasi larutan kaporit juga mengakibatkan turunnya intensitas cahaya yang ditangkap

Optical Power meter (OPM) karena kenaikan atenuasi yang terdeteksi pada ujung *Optical Power meter* (OPM). Semakin besar konsentrasi larutan akan semakin banyak zat terlarut yang ada di pelarutnya, sehingga kerapatan mediumnya akan semakin besar. Bertambahnya kerapatan medium suatu bahan akan menyebabkan kecepatan cahaya yang merambat melalui medium tersebut menjadi semakin kecil, sehingga indeks bias larutan tersebut semakin besar.

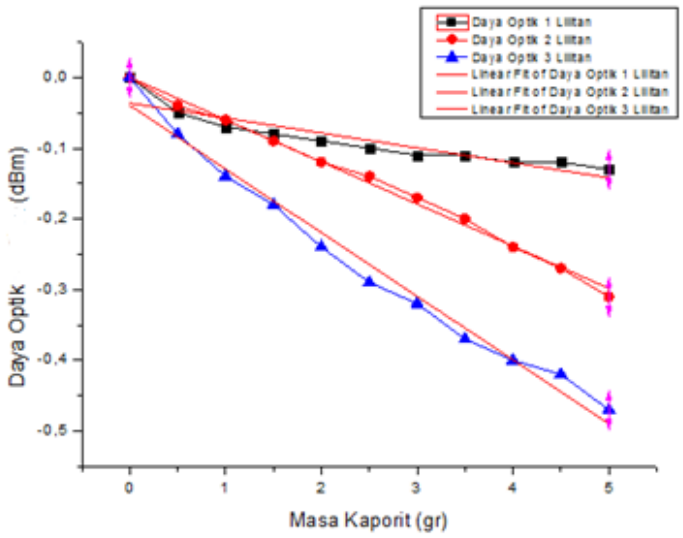
Berasarkan gambar 25 semakin banyak jumlah lilitan terlihat penurunan daya optik yang ditangkap oleh *Optical Power Meter* (OPM) semakin kecil. Hal ini dipengaruhi oleh panjang pengelupasan pada *Polymer Optical Fiber* (POF) yang berbeda-beda untuk setiap formasi. Sehingga daya optik output dari masing-masing formasi *Polymer Optical Fiber* (POF) juga berbeda. Semakin banyak jumlah lilitan, daya optik yang ditangkap oleh *Optical Power Meter* (OPM) semakin kecil dan diikuti pengaruh variasi masa kaporit dalam larutan.

2. Sensitivitas Sensor berbasis *Polymer Optical Fiber* (POF)

Dalam penelitian ini, perlakuan yang diberikan pada *Polymer Optical Fiber* (POF) berupa penempatan sensor dengan variasi jumlah lilitan ke dalam wadah yang berisi larutan kaporit dengan konsentrasi yang divariasikan juga. Sensitivitas adalah tingkat kepekaan sensor terhadap sesbuah pengukuran. Dalam penelitian ini sensitivitas sensor *Polymer Optical Fiber* (POF) diperoleh dari perbandingan output akibat pengaruh penginputan suatu variabel.

Dalam penelitian ini data yang diperoleh dimodelkan dalam bentuk *linier,* sehingga sensitivitas dalam penelitian ini dapat diperoleh dari gradien grafik dBm yang ditunjukkan oleh *Optical Power Meter* (OPM) terhadap perubahan konsentrasi pada larutan kaporit yang digunakan. Tanda negatif yang ditunjukkan pada *fitting linier* grafik pada gambar 26 menunjukkan bahwa intensitas cahaya yang ditangkap oleh *Optical*

Power Meter (OPM) mengalami pelemahan. Semakin besar nilai gradien suatu persamaan grafik maka semakin besar pula pelemahan yang terjadi.



Gambar 26. *Fitting* linier grafik hasil penelitian

Dari hasil *plotting* data hasil penelitian, grafik yang diperoleh dapat dianalisis dengan pendekatan analisis regresi linier. Yang mana pada grafik/elemen linier, penentuan sensitivitas merupakan gradien ($\Delta x/\Delta y$) atau kemiringan dari grafik tersebut. Nilai gradien dari masing-masing grafik untuk ketiga variasi formasi sensor yang di *fitting* linier menggunakan *software Origin 1.6* ditampilkan dalam gambar berikut.

Tabel 7. Nilai sensitivitas sensor

Jumlah Lilitan (Lilitan)	**Sensitivitas (dBm/gr)**	**Urutan Sensitivitas**
1	-0,021 ± 0,003	3
2	-0,059 ± 0,001	2
3	-0,090 ± 0,004	1

Dari tabel 7 tersebut dapat dilihat sensitivitas beberapa sensor *Polymer Optical Fiber* (POF) dengan variasi jumlah lilitan. Pada tabel

tersebut dapat diketahui bahwa perbedaan sensitivitas tiap variasi terlihat signifikan. Dari ketiga formasi yang ada, untuk *Polymer Optical Fiber* (POF) 1 lilitan memiliki sensitivitas yang terbaik dengan gradien sebesar (-0,021 ± 0,003) dBm/gr. Untuk *Polymer Optical Fiber* (POF) 2 lilitan memiliki sensitivitas dengan gradien sebesar (-0,059 ± 0,001) dBm/gr. Dan untuk *Polymer Optical Fiber* (POF) 3 lilitan memiliki sensitivitas dengan gradien sebesar (-0,090 ± 0,004) dBm/gr.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

A. KESIMPULAN

1. Semakin banyak jumlah lilitan dan masa kaporit yang terlarut penurunan daya optik yang terjadi semakin besar dengan nilai untuk 1 lilitan sebesar 0,13 dBm untuk 2 lilitan sebesar 0,31 dBm dan untuk 3 lilitan sebesar 0,47 dBm.
2. Dari ketiga formasi yang ada sensitivitas sensor untuk 1 lilitan sebesar (-0,021 ± 0,003) dBm/gr, 2 lilitan sebesar (-0,059 ± 0,001) dBm/gr, 3 lilitan sebesar (-0,090 ± 0,004) dBm/gr dan sensitivitas sensor terbaik pada sensor dengan jumlah lilitan 3 dengan gradien sebesar (-0,090 ± 0,004) dBm/gr.

B. SARAN

1. Ketika menggunakan sumber cahaya laser, harus diusahakan untuk meminimalisir kebocoran sinar dari sumber yang masuk ke *Polymer Optical Fiber* (POF).
2. Ketika melakukan percobaan harus dipastikan *set-up* alat benar-benar tidak terpengaruh dengan sumber cahaya yang lain selain dari laser He-Ne.
3. Dalam penimbangan dan pencampuran bahan yang diguanakan sampel untuk menguji sensor, diusahakan untuk mencampur dengan merata agar kandungan campuran bisa maksimal dan pengujian sensor lebih akurat.
4. Besar harapan untuk dilanjutkan di penelitian selanjutnya dengan sampel dari kolam renang secara langsung.

DAFTAR PUSTAKA

Arifin, dkk. (2015). *Rancang Buat Sensor Pergeseran Berbasis Serat Optik Plastik Brdasarkan Kajian Macro dan Micro Bending*. Makasar : Universitas Hasanudin Fakultas Ilmu dan Pengetahuan Alam. Prodi Fisika.

A.R. Nugraha. (2006). *Serat Optik*. Yogyakarta : Penerbit ANDI, pp. 1-2

Bahtiar, Ayi. 2008. *Diktat Kuliah: Rekayasa Optik*. Jurusan Fisika, Universitas Padjajaran: Bandung

Bernard, Alfred; Nickmilder, Marc; Voisin, Catherine; Sardella, Antonia. Impact of Chlorinated Swimmping Pool Attendance on The Respiratory Health of Adolescents. Pediatric 124 (4), 1110-1118, 2009.

Bin, Ma and Xingou, Zou. (2010). *Study of Vehicle Weight-In-motion System Based on Fiber-optic Microbend Sensor*. International Conference on Intelligent Computation Technology and Automation.

Brahmantyo Heruseto. (2005). *Pengukuran besaran fisika BAB 8 Alat ukur dan Pengukuran Listrik*. Jawa barat: universitas Gundadarma.

Catur, E.W., Kusworo, Adi. (2002). Peranc*angan dan RealisasiTransceiver-Receiver Dengan Medium Serat Optik UntukTransmisi Data Berakala Fisika*. Vol. 5, No. 1, Januari Hal 1-4.

Chen, R., Farmery, A. D., Obeid, A. and Hahn, C. E. W. 2012. A Cylindrical-Core Fiber-Optic Oxygen Sensor based on Fluorescence Quenching of a Platinum Complex Immobilized in a Polymer Matrix. *IEEE Sensors Journal*. 12(1): 71-75.

Cita, Dian Wahyu dan Adriyani, Retno.2013. *Kualitas Air dan Keluhan Kesehatan Pengguna Kolam Renang di Sidoarjo. Journal Kesling* Vol.7No.1 Juli 2013.

Crisp, John dan Barry Elliott. (2008). *Serat Optik: Sebuah Pengantar Edisi Ketiga*. Alih bahasa: Soni Astranto, S.Si. Jakarta: Erlangga.

Desiani. 2015. *Aplikasi Sensor Proximity Pada Lengan Robot Sebagai Penyortir Kotak Berdasarkan Ukuran Berbasis Arduino Uno*. Politeknik Negeri Sriwijaya, Palembang.

Dewi Mayang Sari. (2010). *Kajian Karakteristis Pada Serat Optik Telkom Karena Pembengkokan Makro*.: Surakarta : Universitas Sebelas Maret Fakultas Ilmu dan Pengetahuan Alam. Prodi Fisika.

Fidanboylu, K. and Efendioglu, H.S. (2009). *Fiber Optic Sensors and Their Applications*. 5th International Advanced Technologies Symposium (IATS'09). Karabuk, 13-15 May 2009, 1-6.

Ferwerda, H.A. 1994. *Lasers and Optics*. Netherlands: University of Groningen

Fraden, J. (2010). Hnadbook of Modern Sensor : Physics, Design Springer.California

Gerd Keiser.(2000). Optical Fiber Communication, 3rd edition, Mc Graw-Hilll: United States Of America

Ghozali, Egyn Furqon, Mohtar Yunianto dan Nuryani. (2013). *Kajian Rugi-Rugi Akibat Macrobending Pada Serat Optik Plastik Berbasis PC. Indonesia Jurnal of Applied Physics*. Surakarta: Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Sebelas Maret. 04, 91), 43.

Hoss, R.J and Lacy, EA. (1993). Fiber Optics, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, NJ.

Khambali, I. dan Endarko. (2014). *Rancang Bangun Sensor Polimer Serat Optik untuk Pendeteksi Konsentrasi Ion Ca+ dalam air*. Jurnal Materi dan Pembelajaran Fisika. Volume 4 Nomor 2. Hlm. 32-37.

Kim, Daekyun; Ates, Nuray; Bekaroglu, Sehnas; Selbes; Meric; Karanfil, Tanju. Impact of combining chlorine dioxide and chlorine on DBP formation in simulated indoor swimming pool. Journal of Environmental Sciences 58, 155-162, 2017.

Kaparang, Ayu H.F., dkk. n.d. *Penggunaan Laser Argon Sebagai Fotokoagulasi Laser dalam Terapi Penyakit Perdarahan Retina di Beberapa Tempat Pelayanan Kesehatan Mata di Manado*. Skripsi.

Kemenkes.*(2017). Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 32 Tahun 2017 tentang Standar Baku Mutu Kesehatan Lingkungan dan Persyaratan Kesehatan Air untuk Keperluan Higiene Sanitasi, Kolam Renang, Solus Per Aqua, dan Pemandian Umum*.

Laser (*Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation*).

Website:http://phys.unpad.ac.id/wp-content/uploads/2009/02/1-laser1.pdf, diakses 24 Januari 2020

Leal-Junior, A.; Frizera-Neto, A.; Marques, C.; Pontes, M.J. A Polymer Optical Fiber Temperature Sensor Based on Material Features. Sensors **2018**, 18, 301. [CrossRef] [PubMed]

Li, C.; Ning, T.; Zhang, C.; Li, J.; Wen, X.; Pei, L.; Gao, X.; Lin, H. Liquid level measurement based on ano-core fiber with temperature compensation using a fiber Bragg grating. Sens. Actuators A Phys. **2016**, 245, 49–53. [CrossRef]

M. Syamsul Hadi. (2003*). Penentuan Rugi-Rugi Sistem Komunikasi Serat Optik Antara Sentral Telepon Otomat (STO) Gladak Sampai STO*. Karanganyar: Surakarta

Mohtar Yunianto, Ahmad Marzuki, Zuhdi Ismail. (2012). *Desain Alat Ukur Rugi- Rugi Akibat Macrobending pada Multi-Mode Optical Fiber Berbasis Personal Computer*. FMIPA FISIKA Universitas

Sebelas Maret : Surakarta. (Indonesian Journal of Appliced (2012) vil.2 No.2 hal 138.

Muliyana, lis. (2015). *Pengemban sensor ketinggian Fluida Berbasis Polymer Optical Fiber (POF) Berbentuk Non-Bended*. Yogyakarta: Universitas Negeri Yogyakarta.

Nugroho, Dian Yudi. (2005). *Studi Pengukuran Rugi-Rugi Serat Optikpada Empat Rute STO di Jawa Tengah Dengan Menggunakan OTDR Tektronix Type Tekranger TFS3031. Diss*. Universitas Sebelas Maret.

Olivero, Perrone, Vallan, Tosi. Comparative Study of Fiber Bragg Gratings and Fiber Polarimetric Sensors for Structural Health Monitoring of Carbon Composites. Advances in Optical Technologies 2014, 2014

Pozo, A.M.; Francisco, P.O.; Ovidio, R. A Continuous Liquid-Level Sensor for Fuel Tanks Based on Surface Plasmon Resonance. Sensors **2016**, 16. [CrossRef] [PubMed]

Pramono, Nopi Yudi, Heru Kuswanto, and Nur Kadarisman. (2012*). Pengaruh Lekukan Bertekanan Pada Serat Optik Plastik Terhadap Pelemahan Intensitas Cahaya*.Yogyakarta:Lembaga Penelitian Universitas Negeri Yogyakarta.

Prasetya, Dwi,. (2009). *Serat Optik*. Teknik Informatika 2006 Fakultas Ilmu Komputer Universitas Brawijaya

Putri, Hani Dwi. (2010). *Perancangan Jaringan Akses Fiber To The Home (FTTH) Dengan Teknologi Gigabit Passive Optical Network (G-PON) Di Apartemen Buah Batu Park*. Bandung: Insitut Teknologi Bandung

Sakti, Setyawan. 2017. *PENGANTAR TEKNOLOGI SENSOR: Prinsip Dasar Sensor Besaran Mekanik*. UB Press: Malang

Setyaningsih, Agustina, dkk. 2007. *Pengukuran Panjang Koherensi Menggunakan* Interferometer Michelson. *Berkala Fisika*. Vol 10 , No.4, pp. 169-173. Weber, Marvin J. 2001. *Handbook of Laser*. California: University of California

Siswanto, Oktavianto Utomo and Santoso, Imam and Setiyono, Budi. (2011). *Analisis Perhitungan Rugi-Rugi Pada Serat Optik*. Undergradute Thesis. Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Diponegoro Rchmah Dini Oktaviasari, Rachmah Dina, Daniel Setyo. (2015). *Teknik Penyambungan Serat Optik Dengan Metode Penyambungan Fusi*. Malang: Program Studi Teknik Telekomunikasi Politeknik Kota Malang

Sugata Pikatan, *Laser*. (1991). seminar intern FT. Ubaya.

Sururi, R. M., Rachmawati, S.Dj. Sholichah, M.,. 2008. Perbandingan Efektifitas Klor dan Ozon sebagai Desinfektan pada Sampel Air dari Unit Filtrasi Instalasi PDAM Kota Bandung. Prosiding Seminar Nasional Sains dan Teknologi-II 2008 Universitas Lampung.

Tchobanoglous, G., Burton, F.L.1991.Wastewater Engineering Treatment Disposal Reuse. McGraw-Hill: New York

Triyono, Gandung. (2011). *Pertimbangan Melakukan Denormalisasi Pada Model Basis Data Relasi*. Fakultas Teknologi Informasi Universitas Budi Luhur. Jurnal TELEMATIKA MKOM, Vol.3 No.2 ISSN 2085-725X.

Widodo, Thomas Sri.(1995). *Opoelektronika*: komunikasi serat optik.Yogyakarta

Widyana. 2010. *Perancangan Sensor Serat Optik untuk Pengukuran Pergeseran Obyek dalam Orde Mikrometer Menggunakan Serat Optik Multimde. Surabaya* : Insitut Teknologi Surabaya.

LAMPIRAN-LAMPIRAN

Lampiran 1. Data Hasil Penelitian

A. Data penelitian formasi 1 lilitan

Massa Kaporit (gr)	Daya Optik Formasi 1 Lilitan	
	Percobaan 1 (dBm)	Percobaan 2 (dBm)
0	-37,22	-40,34
0,5	-37,26	-40,4
1	-37,27	-40,43
1,5	-37,29	-40,43
2	-37,3	-40,44
2,5	-37,31	-40,45
3	-37,32	-40,46
3,5	-37,32	-40,46
4	-37,33	-40,47
4,5	-37,33	-40,47
5	-37,35	-40,47

B. Data penelitian formasi 2 lilitan

Massa Kaporit (gr)	Daya Optik Formasi 2 Lilitan	
	Percobaan 1 (dBm)	Percobaan 2 (dBm)
0	-40,59	-30,17
0,5	-40,62	-30,22
1	-40,64	-30,24
1,5	-40,67	-30,27
2	-40,7	-30,3
2,5	-40,72	-30,32
3	-40,74	-30,36
3,5	-40,76	-30,4
4	-40,8	-30,44
4,5	-40,84	-30,46
5	-40,87	-30,51

C. Data penelitian formasi 3 lilitan

Massa Kaporit (gr)	Daya Optik Formasi 3 Lilitan	
	Percobaan 1 (dBm)	Percobaan 2 (dBm)
0	-45,48	-31,76
0,5	-45,6	-31,8
1	-45,66	-31,86
1,5	-45,71	-31,89
2	-45,76	-31,96
2,5	-45,82	-32
3	-45,82	-32,06
3,5	-45,88	-32,1
4	-45,92	-32,12
4,5	-45,93	-32,15
5	-45,98	-32,2

D. Data penelitian formasi 1 lilitan ternormalisasi

Massa Kaporit (gr)	Daya Optik ternormalisasi Formasi 1 Lilitan		
	Percobaan 1 (dBm)	Percobaan 2 (dBm)	Rata-rata (dBm)
0	0	0	0
0,5	-0,04	-0,06	-0,05
1	-0,05	-0,09	-0,07
1,5	-0,07	-0,09	-0,08
2	-0,08	-0,1	-0,09
2,5	-0,09	-0,11	-0,1
3	-0,1	-0,12	-0,11
3,5	-0,1	-0,12	-0,11
4	-0,11	-0,13	-0,12
4,5	-0,11	-0,13	-0,12
5	-0,13	-0,13	-0,13

E. Data penelitian formasi 2 lilitan ternormalisasi

Massa Kaporit (gr)	Daya Optik ternormalisasi Formasi 2 Lilitan		
	Percobaan 1 (dBm)	Percobaan 2 (dBm)	Rata-rata (dBm)
0	0	0	0
0,5	-0,03	-0,05	-0,04
1	-0,05	-0,07	-0,06
1,5	-0,08	-0,1	-0,09
2	-0,11	-0,13	-0,12
2,5	-0,13	-0,15	-0,14
3	-0,15	-0,19	-0,17
3,5	-0,17	-0,23	-0,2
4	-0,21	-0,27	-0,24
4,5	-0,25	-0,29	-0,27
5	-0,28	-0,34	-0,31

F. Data penelitian formasi 3 lilitan ternormalisasi

Massa Kaporit (gr)	Daya Optik ternormalisasi Formasi 3 Lilitan		
	Percobaan 1 (dBm)	Percobaan 2 (dBm)	Rata-rata (dBm)
0	0	0	0
0,5	-0,12	-0,04	-0,08
1	-0,18	-0,1	-0,14
1,5	-0,23	-0,13	-0,18
2	-0,28	-0,2	-0,24
2,5	-0,34	-0,24	-0,29
3	-0,34	-0,3	-0,32
3,5	-0,4	-0,34	-0,37
4	-0,44	-0,36	-0,4
4,5	-0,45	-0,39	-0,42
5	-0,5	-0,44	-0,47

Lampiran 2. Analisis data dengan *Software Origin 1.6*

A. Analisis Data 1 Lilitan

Input Data

Parameters

		Value	Standard Error
Daya Optik	Intercept	-0,03636	0,00894
	Slope	-0,02109	0,00302

Statistics

	Daya Optik
Number of Points	11
Degrees of Freedom	9
Residual Sum of Squares	0,00226
Adj. R-Square	0,82685

Summary

	Intercept		Slope		Statistics
	Value	Error	Value	Error	Adj. R-Square
Daya Optik	-0,03636	0,00894	-0,02109	0,00302	0,82685

ANOVA

		DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Prob>F
Daya Optik	Model	1	0,01223	0,01223	48,75362	6,44908E-5
	Error	9	0,00226	2,50909E-4		
	Total	10	0,01449			

Fitted Curves Plot

B. Analisis Data 2 Lilitan

Input Data

Parameters

		Value	Standard Error
Daya Optik	Intercept	-1,19349E-15	0,00415
	Slope	-0,05964	0,0014

Statistics

	Daya Optik
Number of Points	11
Degrees of Freedom	9
Residual Sum of Squares	4,87273E-4
Adj. R-Square	0,99449

Summary

	Intercept		Slope		Statistics
	Value	Error	Value	Error	Adj. R-Square
Daya Optik	-1,19349E-15	0,00415	-0,05964	0,0014	0,99449

ANOVA

		DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Prob>F
Daya Optik	Model	1	0,0978	0,0978	1806,44776	1,10236E-11
	Error	9	4,87273E-4	5,41414E-5		
	Total	10	0,09829			

C. Analisis Data 3 Lilitan

Input Data

Parameters

		Value	Standard Error
Daya Optik	Intercept	-0,03955	0,01207
	Slope	-0,09	0,00408

Statistics

	Daya Optik
Number of Points	11
Degrees of Freedom	9
Residual Sum of Squares	0,00412
Adj. R-Square	0,97981

Summary

	Intercept		Slope		Statistics
	Value	Error	Value	Error	Adj. R-Square
Daya Optik	-0,03955	0,01207	-0,09	0,00408	0,97981

ANOVA

		DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Prob>F
Daya Optik	Model	1	0,22275	0,22275	486,26792	3,83128E-9
	Error	9	0,00412	4,58081E-4		
	Total	10	0,22687			

D. Analisis Data Gabungan

Input Data

Parameters

		Value	Standard Error
Daya Optik	Intercept	-0,03636	0,00894
	Slope	-0,02109	0,00302
	Intercept	-1,19349E-15	0,00415
	Slope	-0,05964	0,0014
	Intercept	-0,03955	0,01207
	Slope	-0,09	0,00408

Statistics

	Daya Optik		
Number of Points	11	11	11
Degrees of Freedom	9	9	9
Residual Sum of Squares	0,00226	4,87273E-4	0,00412
Adj. R-Square	0,82685	0,99449	0,97981

Summary

	Intercept		Slope		Statistics
	Value	Error	Value	Error	Adj. R-Square
Daya Optik	-0,03636	0,00894	-0,02109	0,00302	0,82685
	-1,19349E-15	0,00415	-0,05964	0,0014	0,99449
	-0,03955	0,01207	-0,09	0,00408	0,97981

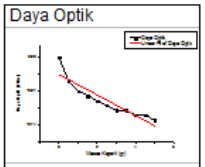
Sheet1 FitLinear1 FitLinearCurves1

ANOVA

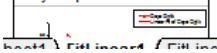
		DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Prob>F
Daya Optik	Model	1	0,01223	0,01223	48,75362	6,44908E-5
	Error	9	0,00226	2,50909E-4		
	Total	10	0,01449			
	Model	1	0,0978	0,0978	1806,44776	1,10236E-11
	Error	9	4,87273E-4	5,41414E-5		
	Total	10	0,09829			
	Model	1	0,22275	0,22275	486,26792	3,83128E-9
	Error	9	0,00412	4,58081E-4		
	Total	10	0,22687			

Fitted Curves Plot

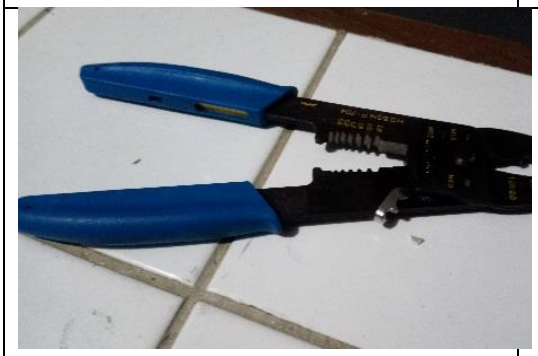
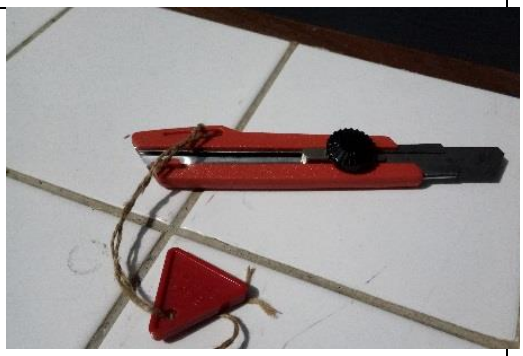
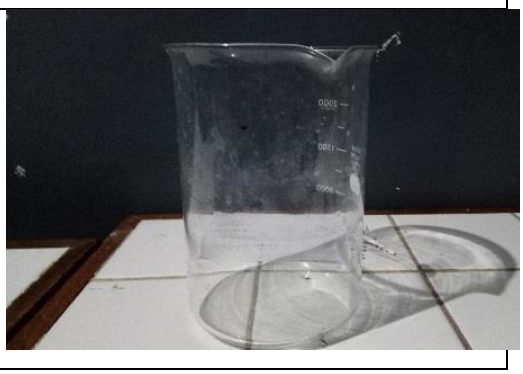
Daya Optik



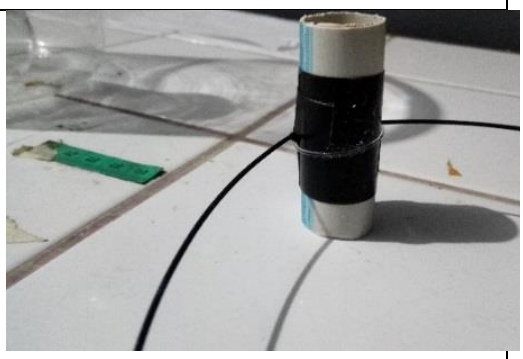
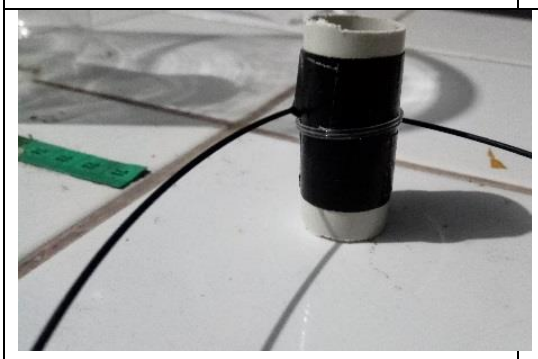
Daya Optik



Lampiran 3. Alat dan Bahan

Penggaris	Laser He-Ne
Polymer Optical Fiber (POF)	*Optical Power Meter* (OPM)
	
Pemotong POF	Cutter
	

Gunting	Gelas Beaker
Tabung *Erlenmeyer*	Penyangga
Pipet Isap	Wadah
Sendok	Lakban

Timbangan digital	Ujung *Polymer Optical Fiber* (POF)
	
Aquades	*Polymer Optical Fiber* (POF) 1 Lilitan
	
Polymer Optical Fiber (POF) 2 Lilitan	*Polymer Optical Fiber* (POF) 3 Lilitan

Lampiran 4. Dokumentasi Kegiatan

A. Skema alat penelitian

B. Sinar laser He-Ne yang melewati *Polymer Optical Fiber* (POF) yang dikelupas jaketnya

C. Pengamatan permukaan *Polymer Optical Fiber* (POF) dengan mikroskop Smz1500