

**PENGARUH KONSENTRASI DARI JENIS LARUTAN ASAM, BASA DAN
GARAM TERHADAP INTENSITAS CAHAYA KELUARAN SERAT OPTIK
BERBENTUK U**

TUGAS SKRIPSI

Diajukan Kepada Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

Universitas Negeri Yogyakarta untuk Memenuhi sebagian

Persyaratan Guna Memperoleh Gelar Sarjana Sains



Oleh :

Fadhilah Nur Azizah

13306141003

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

2017

LEMBAR PERSETUJUAN

Tugas Akhir Skripsi dengan Judul

**PENGARUH KONSENTRASI DARI JENIS LARUTAN ASAM, BASA
DAN GARAM TERHADAP INTENSITAS CAHAYA KELUARAN SERAT
OPTIK BERBENTUK U**

Disusun oleh:

Fadhilah Nur Azizah

NIM 13306141003

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



Yogyakarta, 31 Juli 2017

Mengetahui,
Ketua Program Studi


Nur Kadarisman, M.Si
NIP. 19640205 199101 1 001

Disetujui,
Dosen Pembimbing,


Dr. Heru Kuswanto, M.Si
NIP. 19611112 198702 1 001

SURAT PERNYATAAN

Saya yang bertandatangan di bawah ini:

Nama : Fadhilah Nur Azizah

NIM : 13306141003

Program Studi : Fisika

Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

Judul TAS : Pengaruh Konsentrasi dari Jenis Larutan Asam, Basa dan
Garam Terhadap Intensitas Cahaya Keluaran Serat Optik
Berbentuk U

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

Yogyakarta, 25 September 2017

Yang menyatakan



Fadhilah Nur Azizah

NIM 13306141003

HALAMAN PENGESAHAN

Tugas Akhir Skripsi

Pengaruh Konsentrasi Dari Jenis Larutan Asam, Basa dan Garam Terhadap
Intensitas Cahaya Keluaran Serat Optik Berbentuk U

Disusun Oleh:

Fadhilah Nur Azizah

NIM 13306141003

Telah dipertahankan di depan Dewan Penguji Tugas Akhir Skripsi Program
Studi Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

Universitas Negeri Yogyakarta

Pada tanggal 4 Oktober 2017

DEWAN PENGUJI

Nama / Jabatan

Tanda Tangan

Tanggal

Dr. Heru Kuswanto / Ketua Penguji
NIP. 19611112 198702 1 001



21-11-2017

Sumarna, M.Si, M.Eng / Sekretaris Penguji
NIP. 19610308 199101 1 001



21-11-2017

Agus Purwanto, M.Sc / Penguji Utama
NIP. 19650813 199512 1 001



17-11-2017

Yogyakarta, 24 November 2017

Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

Dekan,



Dr. Hartono

NIP. 19620329 198702 1 002

MOTTO

“Setiap Waktu dalam Kehidupan Ditulis dengan Tinta
yang Tak Dapat Terhapus Lagi.”

“All the impossible is possible for those who believe”

PERSEMBAHAN



Puji syukur kehadiran Allah SWT, Tuhan Pemilik jiwa dan semesta alam atas karunia-Nya saya dapat menyelesaikan skripsi ini. Shalawat serta salam semoga senantiasa tercurahkan kepada Nabi Muhammad SAW. Kupersembahkan karya sederhana ini kepada :

- Bapak (Latif Tohir Hidayat, S.Pd) dan mama (Asih Suprapti). Terimakasih atas semua doa, restu dan dukungan yang tak henti-hentinya diberikan. Dalam setiap langkah, saya berusaha mewujudkan harapan-harapan yang kalian impikan, meski belum semua kuraih. Inshaallah atas restumu semua mimpi akan terjawab dimasa penuh kehangatan nanti.
- Dosen pembimbing (Dr. Heru Kuswanto, M.Si), yang senantiasa membimbing dan memberikan ilmu serta pencerahan sehingga tugas akhir skripsi ini dapat terselesaikan dengan waktu yang tidak singkat tapi memuaskan.
- Kakakku (Dodi Nur Prasetyo, S.Pd), yang sudah dengan senang hati mau mengantar-jemput Jogja-Cilacap sampai akhirnya lulus. Terimakasih banyak ☺
- Adikku (Yuni dan Rafiq), terimakasih atas segala bentuk dukungannya.
- Teman-teman Fisika, khususnya Fisika B 2013. Terimakasih banyak atas ilmu, pengalaman dan segala bentuk pelajaran berharga, serta sudah menjadi keluarga kedua di tanah rantau ini.

PENGARUH KONSENTRASI DARI JENIS LARUTAN ASAM, BASA DAN GARAM TERHADAP INTENSITAS CAHAYA KELUARAN SERAT OPTIK BERBENTUK U

Oleh

Fadhilah Nur Azizah

13306141003

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh lekukan fiber optik, konsentrasi larutan, perbedaan jenis larutan dan juga untuk mendapatkan sensitivitas dan linearitas terbaik pada sensor.

Fiber optik yang digunakan adalah *Polymer Optical Fiber* (POF) tipe SH 4001-1.3. *Polymer Optical Fiber* (POF) memiliki indeks bias *core* sebesar 1,49 dan indeks bias *cladding* sebesar 1,41. *Polymer Optical Fiber* (POF) lebih banyak digunakan daripada fiber optik kaca karena lebih mudah diubah-ubah dan diberi perlakuan. Sumber cahaya yang digunakan adalah cahaya laser He-Ne dengan daya sebesar 5 mW dan panjang gelombang sebesar 632,8 nm. Keluaran dari *Polymer Optical Fiber* (POF) ini diterima oleh rangkaian pengikut tegangan.

Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa perubahan konsentrasi larutan asam oksalat ($H_2C_2O_4$), natrium hidroksida (NaOH) dan garam (NaCl) dapat menyebabkan pelemahan daya pada keluaran fiber optik dengan selisih nilai tegangan keluaran setiap perubahan konsentrasi larutan rata-rata 0,003 V sampai 0,01 V. Untuk sensitivitas sensor terbaik terdapat pada larutan garam (NaCl). Sedangkan linearitas sensor terbaik adalah larutan natrium hidroksida (NaOH).

Kata kunci : *Polymer Optical Fiber* (POF), konsentrasi larutan, larutan asam oksalat ($H_2C_2O_4$), larutan natrium hidroksida (NaOH) dan larutan garam (NaCl), indeks bias.

**THE EFFECT OF CONCENTRATION OF THE ACID, BASE AND SALT
SOLUTION ON THE LIGHT INTENSITY OUTPUT OF U-SHAPED
OPTICAL FIBER**

By

Fadhilah Nur Azizah

13306141003

Abstract

This research aimed to determine the effect of bending on optical fiber, solution concentration, different types of solution on the light intensity output of u-shaped optical fiber, and also to obtain the best sensitivity and linearity on the sensor.

The optical fiber used was *Polymer Optical Fiber* (POF) type SH-4001-1.3. *Polymer Optical Fiber* (POF) had a core refractive index of 1.49 and a refractive index of cladding at 1.41. *Polymer Optical Fiber* (POF) was more widely used than the glass optical fiber because it was easily altered and treated. The light source used was He-Ne laser light with power of 5 mW and wavelength of 632.8 nm. The output of *Polymer Optical Fiber* (POF) was received by the voltage follower circuit.

The results of this research showed that the concentration change of the oxalate acid solution ($\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$), sodium hydroxide (NaOH) and salt (NaCl) decreased the optical fiber output with the difference of output voltage value every change of solution concentration average 0.003 V until 0.01 V. The best sensor sensitivity was found in the salt solution (NaCl). While the best sensor linearity was sodium a hydroxide (NaOH).

Keywords: *Polymer Optical Fiber* (POF), solution concentration, acid oxalate ($\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$) solution, sodium hydroxide (NaOH) solution, salt (NaCl) solution, refractive index.

KATA PENGANTAR

Assalamualaikum wr.wb.

Alhamdulillahhirabbil'alamin, segala puji syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa atas limpahan rahmat dan karunia-Nya yang telah diberikan sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir Skripsi yang berjudul "PENGARUH KONSENTRASI DARI JENIS LARUTAN ASAM, BASA DAN GARAM TERHADAP INTENSITAS CAHAYA KELUARAN SERAT OPTIK BERBENTUK U". Tugas akhir skripsi ini dibuat untuk memenuhi salah satu syarat kelulusan pada jenjang S1 di Program Studi Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Yogyakarta. Penulisan tugas akhir skripsi ini dapat terselesaikan dengan baik tidak terlepas dari dukungan dan bantuan berbagai pihak. Untuk itu penulis mengucapkan terimakasih kepada:

1. Prof. Dr. Sutrisna Wibawa, M.Pd, selaku Rektor Universitas Negeri Yogyakarta.
2. Dr. Hartono, M.Si, selaku Dekan FMIPA Universitas Negeri Yogyakarta yang telah meberikan banyak kemudahan dan fasilitas selama melakukan studi.
3. Dr. Heru Kuswanto, M.Si, selaku pembimbing skripsi yang senantiasa memberikan bimbingan dengan penuh kesabaran, pengarahan, ilmu, kritik dan saran yang sangat membangun di sela-sela waktu kesibukan beliau.
4. Yusman Wiyatmo, M.Si, selaku ketua Jurusan Pendidikan Fisika dan Nur Kadarisman, M.Si, selaku ketua Prodi Fisika Universitas Negeri Yogyakarta yang telah membantu dalam kelancaran administrasi skripsi ini.
5. Semua Dosen Jurusan Pendidikan Fisika FMIPA Universitas Negeri Yogyakarta yang senantiasa memberikan ilmu pengetahuan yang inshaallah akan menjadi bekal yang bermanfaat.

6. Semua staff dan laboran Jurusan Pendidikan Fisika Universitas Negeri Yogyakarta yang mempermudah dalam membantu dan menyediakan fasilitas penelitian.
7. Rekan penelitian Nura, Dea, Novi dan Handi yang telah bersama-sama menemani dan membantu dalam menyelesaikan tugas akhir skripsi ini.
8. Teman-teman Fisika B 2013 atas ilmu, pengalaman dan segala bentuk pelajaran berharga, serta sudah menjadi keluarga kedua di tanah rantau ini.
9. Semua pihak yang membantu dalam penelitian maupun penulisan tugas akhir skripsi ini yang tidak bisa disebutkan satu persatu.

Tidak ada yang sempurna di dunia ini, sama halnya dengan penulisan tugas akhir ini, masih terdapat banyak kekurangan. Oleh karena itu, saran dan kritik sangat dibutuhkan dalam penyempurnaan tugas akhir ini. Semoga karya sederhana ini akan memberikan manfaat bagi masyarakat dan perkembangan ilmu pengetahuan. Amin

Wassalamualaikum wr.wb

Yogyakarta, 25 September 2017

Penyusun

Fadhilah Nur Azizah

NIM 13306141003

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL.....	i
HALAMAN PERSETUJUAN	ii
HALAMAN SURAT PERNYATAAN	iii
HALAMAN PENGESAHAN	iv
HALAMAN MOTTO.....	v
HALAMAN PERSEMBAHAN	vi
ABSTRAK	vii
ABSTRACT	
viii	
KATA PENGANTAR	ix
DAFTAR ISI	x
DAFTAR TABEL	xiv
DAFTAR GAMBAR.....	xv
DAFTAR LAMPIRAN	xvii
BAB I PENDAHULUAN	1
A. Latar Belakang	1
B. Identifikasi Masalah.....	3
C. Batasan Masalah	3
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
a. Struktur Fiber Optik	7
b. Prinsip Dasar Serat Optik	8
c. Rambatannya Cahaya di Dalam Fiber Optik	11
d. Jenis-Jenis Fiber Optik	13
e. Pelemahan Daya Fiber Optik	16
2. Tipe Sensor Fiber Optik	21
a. Sensor Fiber Optik Intrinsik	22
b. Sensor Fiber Optik Ekstrinsik	23
3. Prinsip Sensor Fiber Optik	24
a. Sensor Fiber Optik Berdasarkan Intensitas	24
b. Sensor Fiber Optik Berdasarkan Modulasi Panjang Gelombang ..	24
c. Sensor Fiber Optik Berdasarkan Modulasi <i>Phase</i>	24
4. Keuntungan dan Kekurangan Fiber Optik	24
5. Fiber Optik Plastik (FOP).....	25
6. Molaritas	26
7. Asam Oksalat ($H_2C_2O_4$)	27
8. Natrium Hidroksida (NaOH)	27
9. Garam (NaCl)	28
10. Persamaan Fresnel	28
11. Sumber Cahaya	30
a. Laser	30
b. Laser Helium-Neon	31
12. Sensor	32
a. Linearitas	33
b. Sensitivitas	33

13. Op-Amp	33
14. IC LM 358	35
15. IC Voltage Regulator	36
16. Fotodioda	37
B. Kerangka Berfikir	39
BAB III METODOLOGI PENEITIAN	40
A. Waktu dan Tempat Penelitian	40
B. Variabel Penelitian	40
1. Variabel Bebas	40
2. Variabel Terikat	40
3. Variabel Kontrol	40
C. Alat dan Bahan Penelitian.....	40
1. Bahan	40
2. Alat	41
D. Desain Penelitian	41
1. Flow Chart.....	42
2. Desain Model Sistem.....	43
3. Perancangan Perangkat Keras (<i>Hardware</i>)	43
4. Perancangan Perangkat Lunak (<i>Software</i>).....	44
E. Prosedur Penelitian	44
F. Penentuan Indeks Bias Medium Larutan	45
G. Teknis Analisis Data	46
BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN.....	47
A. Hasil Penelitian	47
B. Pembahasan	51
1. Perancangan Rangkaian Pengikut Tegangan	51
2. Perambatan Cahaya Pada Fiber Optik Plastik (FOP) dengan Diame-	

ter Lengkungan 9 cm.....	53
3. Prinsip Kerja Refraktometer	62
4. Proses Perambatan Cahaya Pada Fiber Optik Plastik (FOP) Ketika Me- lalui Zat Cair Pengganti Mantel (<i>Buffer</i>)	65
a. Asam Oksalat ($H_2C_2O_4$)	68
b. Natrium Hidroksida (NaOH)	69
c. Garam (NaCl)	70
5. Sensitivitas dan Linearitas Sensor Fiber Optik Plastik (FOP) Ketika Me- lalui Zat Cair Pengganti Mantel (<i>Buffer</i>)	73
 BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	77
A. Kesimpulan	77
B. Saran	78
 DAFTAR PUSTAKA	79
 LAMPIRAN	81

DAFTAR TABEL

Tabel 1. Indeks bias larutan asam oksalat ($H_2C_2O_4$), larutan natrium hidroksida (NaOH) dan larutan garam (NaCl)	50
Tabel 2. Nilai sudut kritis pada larutan asam oksalat ($H_2C_2O_4$)	68
Tabel 3. Nilai sudut kritis pada larutan natrium hidroksida (NaOH)	70
Tabel 4. Nilai sudut kritis pada larutan garam (NaCl)	71
Tabel 5. Sensitivitas untuk setiap perlakuan fiber optik plastik	74
Tabel 6. Linearitas untuk setiap perlakuan fiber optik plastik	76

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Fiber optik tipe SH 4001-1.3	6
Gambar 2. Skema penyusun serat optik	7
Gambar 3. Pembiasan cahaya	9
Gambar 4. Sinar datang dari medium lebih rapat menuju medium kurang rapat	9
Gambar 5. Bidang perbatasan serat optik	10
Gambar 6. Lintasan cahaya dalam serat.....	11
Gambar 7. Penentuan nilai NA	13
Gambar 8. Serat Optik <i>Step Index Singlemode</i>	14
Gambar 9. Serat Optik <i>Step Index Multimode</i>	15
Gambar 10. Serat Optik <i>Graded Index Multimode</i>	15
Gambar 11. Cahaya terpencar ke segala arah	18
Gambar 12. Pembengkokan sinar di dalam inti serat optik dengan variasi sudut datang	19
Gambar 13. Perbedaan laju penyusutan dapat menimbulkan lekukan mikro	20
Gambar 14. Peristiwa rugi-rugi akibat pembengkokan mikro	20
Gambar 15. Skema sensor fiber optik	22
Gambar 16. Gelombang cahaya	29
Gambar 17. Tingkatan – tingkatan energi pada laser He-Ne	31
Gambar 18. Keluaran dari transduser panas	33
Gambar 19. Simbol Op-Amp	34
Gambar 20. Rangkaian Op-Amp berperilaku sebagai <i>buffer</i>	34
Gambar 21. Rangkaian penguat	35
Gambar 22. Konfigurasi pin LM358	36

Gambar 23. Kurva tanggapan frekuensi sensor fotodioda	38
Gambar 24. Desain model sistem	43
Gambar 25. Skema rangkaian pengikut tegangan	44
Gambar 26. Grafik hubungan antara tegangan keluaran ternormalisasi (u.a) terhadap konsentrasi larutan asam oksalat ($H_2C_2O_4$), larutan natrium hidroksida (NaOH) dan larutan garam (NaCl)	48
Gambar 27. Grafik hubungan antara perubahan molaritas terhadap indeks bias larutan asam oksalat ($H_2C_2O_4$), larutan natrium hidroksida (NaOH) dan larutan garam (NaCl).....	50
Gambar 28. Untai pengikut tegangan	52
Gambar 29. Jalur perambatan sinar pada fiber optik	53
Gambar 30. Sudut penerimaan	55
Gambar 31. Cahaya masuk ke inti	55
Gambar 32. Sudut datang di dalam bidang batas inti-selubung	56
Gambar 33. Pemantulan cahaya dalam inti	57
Gambar 34. Perambatan cahaya pada bidang lengkung U dari inti ke selubung	58
Gambar 35. Prinsip kerja refraktometer	63
Gambar 36. Perambatan cahaya pada refraktometer	64
Gambar 37. Grafik hubungan antara tegangan keluaran ternormalisasi (u.a) terhadap konsentrasi larutan garam (NaCl)	74
Gambar 38. Grafik hubungan antara tegangan keluaran ternormalisasi (u.a) terhadap konsentrasi larutan natrium hidroksida (NaOH)	75

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Tabel data hasil pengukuran tegangan keluaran pada larutan Asam Oksalat ($\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$)	81
Lampiran 2. Grafik hubungan antara konsentrasi larutan (M) terhadap tegangan keluaran ternormalisasi (u.a) pada larutan asam oksalat ($\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$)	81
Lampiran 3. Grafik hubungan antara indeks bias terhadap tegangan keluaran ternormalisasi (u.a) pada larutan Asam Oksalat ($\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$)	82
Lampiran 4. Tabel data hasil pengukuran tegangan keluaran pada larutan Natrium Hidroksida (NaOH)	83
Lampiran 5. Grafik hubungan antara konsentrasi larutan (M) terhadap tegangan keluaran ternormalisasi(u.a) pada larutan Natrium Hidroksida (NaOH)	83
Lampiran 6. Grafik hubungan antara indeks bias terhadap tegangan keluaran ternormalisasi (u.a) pada larutan Natrium Hidroksida (NaOH)	84
Lampiran 7. Tabel data hasil pengukuran tegangan keluaran pada larutan Garam (NaCl).....	85
Lampiran 8. Grafik hubungan antara konsentrasi larutan (M) terhadap tegangan keluaran ternormalisasi (u.a) pada larutan Garam (NaCl)	85
Lampiran 9. Grafik hubungan antara indeks bias terhadap tegangan keluaran ternormalisasi (u.a) pada larutan Garam (NaCl)	86
Lampiran 10. Tabel data hasil perhitungan penambahan volume zat pelarut ke dalam zat terlarut	87

Lampiran 11. Gambar rangkaian penelitian	87
Lampiran 12. Gambar penelitian pengukuran tegangan pada konsentrasi 0 M.....	88
Lampiran 13. Gambar penelitian pengukuran tegangan pada larutan Asam Oksalat ($H_2C_2O_4$).....	88
Lampiran 14. Gambar penelitian pengukuran tegangan pada larutan Natrium Hidroksida (NaOH)	89
Lampiran 15. Gambar penelitian pengukuran tegangan pada larutan Garam (NaCl)	89
Lampiran 16. Gambar fiber optik dengan lebar pengelupasan mantel 4 cm	90
Lampiran 17. Tabel indeks bias brix	91

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Fiber optik adalah sebuah bahan transparan yang sangat jernih yang dapat digunakan untuk mentransmisikan gelombang cahaya. Sistem fiber optik adalah sistem komunikasi dan informasi data, atau cabang ilmu teknik yang berurusan dengan sistem komunikasi yang memanfaatkan fiber optik sebagai medium transmisinya.

Fiber optik merupakan media transmisi atau pandu gelombang cahaya yang berbentuk silinder yang telah dikembangkan sejak akhir tahun 1960 sebagai jawaban atas perkembangan sistem komunikasi yang semakin lama membutuhkan *bandwidth* yang besar dengan laju transmisi yang tinggi (Keiser, 1991: 26). Teknologi fiber optik plastik kembali diminati setelah ditemukan bahan polimer terfluorinasi dengan atenuasi rendah. Fiber plastik mudah dipreparasi dan diterminasi, mudah dikopel dengan *detector* dan *emitter* serta fleksibel. Tingkat atenuasi fiber optik plastik juga sudah dapat direduksi secara signifikan yaitu dibawah 30 dB/km (Maddu, 2007: 29).

Sebagai teknologi yang berkembang pesat di abad ini, fiber optik menjadi pilihan utama sebagai terobosan baru di masa depan. Teknologi serat optik telah berkembang sedemikian pesat seiring dengan perkembangan teknologi berbasis optik. Pada awalnya serat optik lebih banyak digunakan dalam bidang komunikasi dan informasi pengiriman data. Perusahaan-perusahaan telepon sudah sejak awal mengganti sistem kawat tembaga mereka dengan jalur serat optik. Penggunaan fiber optik mampu menggantikan keadaan kabel tembaga yang memiliki kekurangan pada jarak transmisi, dimana media tembaga memiliki faktor *loss* yang tinggi.

Saat ini serat optik banyak dikembangkan dalam bidang sensor yang dikenal dengan *Sensor Fiber Optik*. Kajian mengenai sensor fiber optik yang telah ada diantaranya, yaitu sensor ketinggian bensin berbasis fiber optik plastik (Montero, 2012: 1), sensor kelembaban dengan menggunakan fiber optik dalam penyimpanan secara kimia (Gaikwad, 2003: 1), aplikasi fiber optik untuk sensor pengukuran ketinggian cairan (Zubia, 2007: 1), sensor fiber optik plastik berbasis intensitas untuk pengukuran ketinggian cairan dalam *volumetric plask* sebagai aplikasi di bidang industri (Montero, 2012: 1) dan sensor suhu berbasis fiber optik plastik macrobend (Arrue, 2013: 13076).

Sensor serat optik dibagi menjadi tiga tipe, yaitu sensor serat optik ekstrinsik, sensor serat optik intrinsik dan sensor *evanescent*. Salah satu sensor yang banyak dikembangkan adalah sensor *evanescent* dimana prinsip kerja sensor berdasarkan efek gelombang *evanescent*. Sensor *evanescent* dibuat dengan mengelupas *cladding* asli serat optik diganti dengan material yang lain sehingga nilai indeks biasanya berubah (Frederick, 1990).

Pada prinsipnya fiber optik memantulkan dan membiaskan cahaya yang merambat di dalamnya. Cahaya yang ada di dalam serat optik tidak keluar karena indeks bias dari kaca lebih besar daripada indeks bias dari udara. Perambatan cahaya yang terjadi di dalam serat optik menggunakan prinsip pemantulan internal sempurna. Pemantulan internal sempurna terjadi apabila sudut datang cahaya menuju bidang perbatasan lebih besar dibandingkan dengan sudut kritis antara *core* dan *cladding*. Hal tersebut menyebabkan cahaya yang melalui *core* dengan secara terus-menerus memantul dari *cladding*.

Penelitian ini mempelajari tentang karakteristik rugi-rugi serat optik. Rugi-rugi ini terjadi akibat pelemahan intensitas cahaya dalam fiber optik karena adanya gangguan, seperti bengkokan (*bending*) dan perubahan lingkungan. Konsentrasi larutan secara tidak langsung juga akan berpengaruh

terhadap perubahan indeks bias larutan tersebut. Karena adanya gangguan tersebut, maka intensitas yang ditangkap oleh *receiver* otomatis berkurang. Prinsip inilah yang dapat dimanfaatkan sebagai sensor konsentrasi larutan. Penelitian ini dilakukan dengan memvariasikan jenis dan besar konsentrasi larutan dimana jaket serat optik dikelupas dan diganti oleh larutan asam, basa dan garam.

B. Identifikasi Masalah

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

1. Pembengkokan fiber optik berbentuk U melemahkan intensitas cahaya yang keluar dari FOP.
2. Perubahan nilai konsentrasi larutan mempengaruhi intensitas cahaya yang keluar dari FOP.
3. Penambahan nilai konsentrasi larutan dapat menyebabkan perubahan nilai indeks bias larutan tersebut.

C. Batasan Masalah

Karena luasnya masalah yang diidentifikasi, maka penelitian ini difokuskan dan dibatasi pada pengaruh konsentrasi larutan dan perbedaan jenis larutan yang dijadikan objek penelitian terhadap tegangan keluaran FOP. Dalam penelitian ini variasi konsentrasi larutan yaitu 0 M, 0.5 M, 1 M, 1.5 M, 2 M, 2.5 M, 3 M, 3.5 M, 4 M, 4.5 M dan 5 M dengan volume tetap yaitu 250 ml. Serta terdapat variasi larutan yang dipakai yaitu larutan garam (NaCl), larutan natrium hidroksida (NaOH) sebagai larutan basa dan larutan Asam Oksalat ($H_2C_2O_4$) sebagai larutan asam. Fiber optik yang digunakan yaitu FOP tipe SH 4001-1-3 dengan diameter 0.5 mm. Sumber cahaya menggunakan laser

Helium-Neon dengan emisi keluaran 5 mW dan $\lambda=632.8$ nm. Intensitas cahaya keluaran pada ujung fiber optik diterima oleh *receiver* dimana fotodiode berfungsi sebagai detektornya, sedangkan alat pengukur tegangan menggunakan multimeter digital.

D. Rumusan Masalah

Dari identifikasi dan batasan masalah di atas dapat dirumuskan berbagai permasalahan sebagai berikut:

1. Bagaimana pengaruh lekukan pada FOP terhadap intensitas cahaya keluaran dari FOP yang diterima oleh *receiver* dengan volume tetap?
2. Bagaimana pengaruh konsentrasi larutan terhadap intensitas cahaya keluaran dari FOP yang diterima oleh *receiver* dengan volume tetap?
3. Bagaimana pengaruh perbedaan jenis larutan terhadap intensitas cahaya keluaran dari FOP yang diterima oleh *receiver* dengan volume tetap?
4. Bagaimana pengaruh konsentrasi larutan terhadap indeks bias yang digunakan sebagai objek penelitian?
5. Bagaimana sensitivitas dan linearitas sistem sensor FOP?

E. Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini sendiri adalah:

1. Mengetahui pengaruh lekukan terhadap intensitas cahaya keluaran FOP
2. Mengetahui pengaruh konsentrasi larutan terhadap intensitas cahaya keluaran FOP yang diterima oleh *receiver*.
3. Mengetahui pengaruh perbedaan jenis larutan terhadap intensitas cahaya keluaran FOP yang diterima oleh *receiver*.
4. Mengetahui pengaruh konsentrasi larutan terhadap indeks bias larutan tersebut.

5. Mengetahui sensitivitas dan linearitas sistem sensor pada pengukuran konsentrasi larutan dengan model *U system*.

F. Manfaat Penelitian

Diharapkan hasil dari penelitian ini:

1. Dapat memberikan informasi bagaimana sensitivitas dan linearitas sensor pengukur konsentrasi larutan dengan model *U system*.
2. Dapat mengembangkan aplikasi FOP sebagai sensor.
3. Sebagai acuan atau referensi untuk melakukan riset selanjutnya.

BAB II

KAJIAN PUSTAKA

A. Deskripsi Teori

1. Fiber Optik

Fiber optik adalah pandu gelombang cahaya (*light wave guide*) berupa kabel transparan yang berguna untuk mentransmisikan informasi melalui media cahaya. Kabel tersebut terdiri dari 3 bagian yaitu bagian tengah yang disebut *core*, bagian pelindung disebut *cladding* dan bagian luar disebut *buffer*.



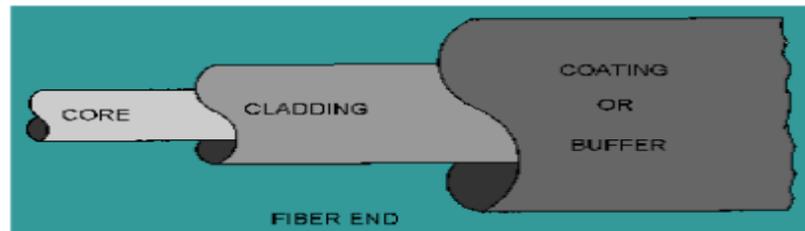
Gambar 1. Fiber optik tipe SH 4001-1.3 (Sumber: <http://fiberoptics.com/fiber-detail.php?id=11>)

Dalam penggunaannya, beberapa serat optik dijadikan satu dalam sebuah tempat yang dinamakan kabel serat optik dan digunakan untuk mengantarkan data digital yang sangat jauh. Di dalam fiber inilah cahaya yang dibangkitkan oleh sumber cahaya disalurkan sehingga dapat diterima di ujung unit penerima (Catur E, 2002: 2).

Efisiensi serat optik ditentukan oleh kemurnian dari bahan penyusunnya. Semakin murni bahan gelas/kaca yang digunakan, maka semakin sedikit cahaya yang diserap oleh serat optik. Fiber optik merupakan media yang paling canggih dalam hal pengiriman data. Fiber optik terdiri dari dua jenis yaitu fiber optik kabel dan fiber optik plastik (FOP). Fiber optik kabel banyak digunakan untuk transmisi jarak jauh, sementara FOP hanya digunakan untuk komunikasi jarak pendek. Fiber optik banyak dibuat dari bahan kaca atau bahan silika (SiO_2), biasanya diberi doping dengan germanium oksida (GeO_2) atau fosfor oksida (P_2O_2) untuk menaikkan indeks biasnya. FOP tidak jauh berbeda dengan

fiber optik kabel, hanya saja fiber optik kabel dilengkapi dengan *kevlar* untuk penguat fiber optik sedangkan FOP tidak.

a. Struktur fiber optik



Gambar 2. Skema penyusun serat optik (Keiser, 1991: 26)

Secara umum serat optik terbagi atas tiga bagian yaitu:

1) Inti (*core*)

Inti terbuat dari bahan plastik atau kaca halus yang berkualitas tinggi dan tidak mengalami perkaratan (korosi). Inti merupakan jalur utama pemanduan gelombang cahaya yang mempunyai indeks bias terbesar.

2) Selubung (*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 *core* yaitu lebih kecil dari indeks bias *core*. Tujuan dibuat indeks bias berbeda agar cahaya selalu dipantulkan kembali ke *core* oleh permukaan selubungnya 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 perlindungan mekanis.

b. Prinsip Dasar Serat Optik

Serat optik berfungsi untuk membawa cahaya dari satu tempat ke tempat lain. Serat optik didasarkan pada prinsip pembiasan. Prinsip ini menentukan perilaku cahaya ketika melewati satu medium transparan ke medium lain dan diuraikan dalam hukum Snellius,

$$n_1 \sin \theta_1 = n_2 \sin \theta_2 \quad (1)$$

dimana, n_1 = indeks bias medium pertama

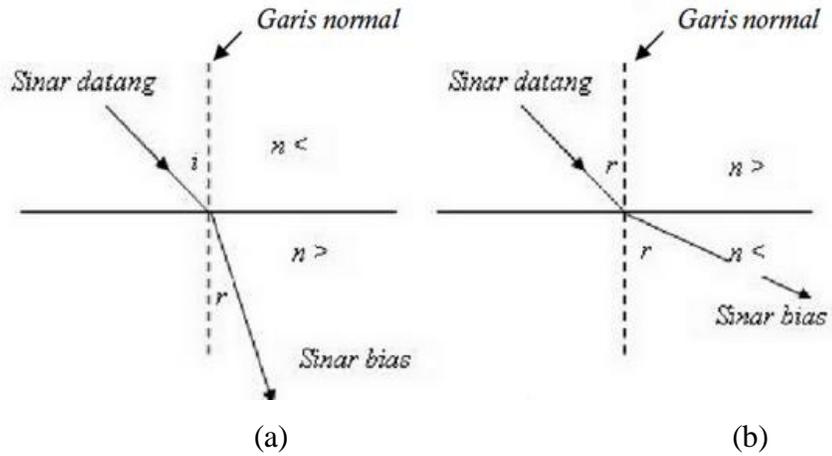
θ_1 = sudut datang

n_2 = indeks bias medium kedua

θ_2 = sudut bias

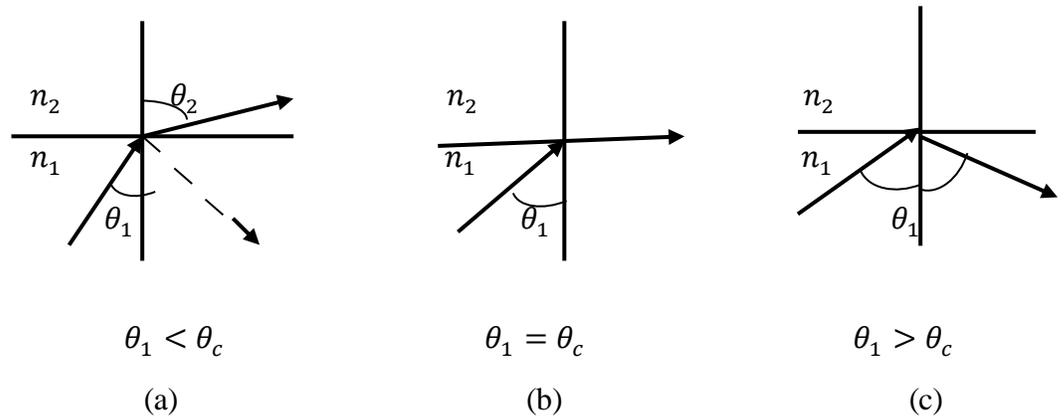
Sudut atau arah perambatan sinar cahaya diukur dengan mengacu ke garis normal bidang perbatasan antara kedua bahan. Garis normal adalah sebuah garis yang tegak lurus terhadap permukaan bidang perbatasan.

Ketika cahaya melewati dua medium yang berbeda, arah perambatan cahaya pada medium kedua akan dibelokkan. Besarnya pembelokan sinar dan arah rambat sinar ditentukan oleh rasio indeks bias relatif antara kedua bahan dan oleh sudut datang sinar yang menuju bidang perbatasan. Jika n_1 dan n_2 adalah indeks bias dari medium pertama dan kedua, maka apabila nilai indeks bias medium pertama lebih kecil dibandingkan dengan medium kedua ($n_1 < n_2$), maka sinar tersebut akan dibiaskan mendekati garis normal seperti pada Gambar 3(a). Pada sisi lain ketika sinar menuju medium dengan nilai indeks bias medium pertama lebih besar dibandingkan dengan medium kedua ($n_1 > n_2$), maka sinar akan dibiaskan menjauhi garis normal seperti pada Gambar 3(b).



Gambar 3. Pembiasan cahaya

Jika sinar datang dari medium n_1 dengan nilai indeks bias lebih besar ke medium n_2 yang memiliki indeks bias lebih kecil, maka akan menghasilkan tiga bentukan sinar yang diteruskan seperti gambar berikut.



Gambar 4. Representasi dari sudut kritis dan pemantulan internal sempurna pada jalannya sinar yang melewati dua medium dengan nilai indeks bias berbeda. (Keiser, 1991 : 24)

Pada Gambar 4 dapat dilihat adanya sinar datang dari medium pertama yang berindeks bias n_1 menuju medium kedua dengan indeks bias n_2 . Sebagian sinar yang mengenai bidang batas akan mengalami pemantulan dan sebagian yang lain mengalami pembiasan. Sinar datang dipantulkan

dengan sudut yang sama besar dengan sudut sinar datang dan sinar bias dibiaskan dengan sudut θ_2 . Pemantulan internal terjadi ketika sinar bias sejajar dengan bidang batas medium ($\theta_2 = 90^\circ$), maka sudut θ_1 tersebut dinamakan sudut kritis (θ_c).

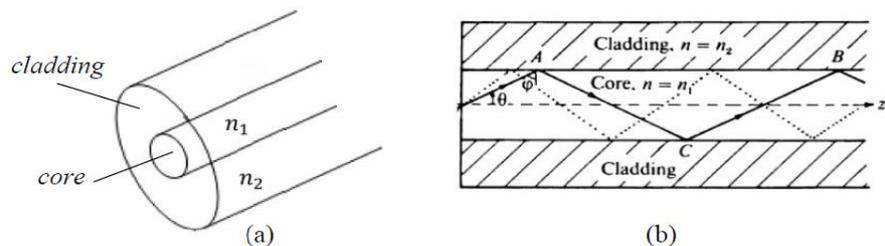
Nilai sudut kritis dapat dihitung dengan mengambil nilai sudut bias dan memasukkannya ke dalam persamaan hukum Snellius:

$$n_1 \sin \theta_1 = n_2 \sin 90^\circ$$

Karena nilai $\sin 90^\circ$ adalah 1, maka kita dapat menyusun kembali persamaan di atas untuk mendapatkan $\sin \theta_1$ dan kemudian nilai sudut θ_1 yang dalam hal ini merupakan sudut kritis dapat dicari dengan persamaan:

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

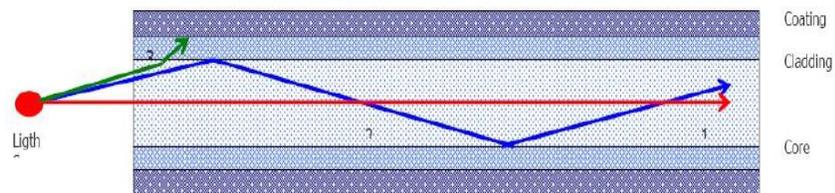
Sudut kritis diberi nama demikian karena sudut ini memang berperan sangat penting dalam prinsip kerja serat optik. Jika cahaya merambat dengan sudut datang kurang dari sudut kritis, maka cahaya akan dibiaskan keluar dari bidang pertama. Akan tetapi, jika cahaya merambat menuju bidang perbatasan dengan 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 berperan sebagai sebuah bidang pantul.



Gambar 5. Bidang perbatasan serat optik (a) Serat optik dengan nilai indeks bias *cladding* lebih kecil dibandingkan dengan indeks bias *core*, (b) Perambatan cahaya pada serat optik (pemantulan internal sempurna) (Ajoy Ghatak & K.Thygarajan, 1989: 366).

Untuk sinar yang masuk ke serat optik, jika sudut datang (antara *cladding* dan *core*) lebih besar dari sudut kritis, maka sinar akan mengalami pemantulan internal sempurna. Karena peristiwa tersebut, berkas cahaya dapat terus merambat sepanjang serat optik. Dengan begitu serat optik bertindak sebagai “pemandu cahaya” (Anuradha De, 2005: 23).

c. Rambatan Cahaya di Dalam Fiber Optik



Gambar 6. Lintasan cahaya dalam serat optik (Crisp dan Elliot, 2008: 27)

Penemuan serat optik sebagai media transmisi pada suatu sistem komunikasi didasarkan pada hukum Snellius. Gambar 6 menunjukkan bahwa cahaya dapat merambat di dalam serat optik melalui serangkaian pemantulan, seperti diilustrasikan oleh lintasan cahaya berwarna biru. Cahaya di dalam serat optik menuju bidang perbatasan antara inti dan selubung akan terpantul kembali ke dalam inti serat optik jika sudut datangnya lebih besar dari sudut kritis, sehingga cahaya tersebut akan dipantulkan balik ke dalam bahan pertama melalui proses pemantulan internal sempurna.

1) Numerical Aperture (NA)

Nilai *Numerical Aperture* adalah parameter yang mengukur kemampuan fiber optik untuk menangkap atau mengumpulkan cahaya. Selain *numerical aperture*, sudut penerima juga mengindikasikan berapa cahaya yang dapat diterima ke dalam fiber optik. Cahaya tidak dapat melewati fiber optik jika datang dengan sudut lebih besar dari

sudut penerimaan. Cahaya ini dapat masuk ke dalam fiber optik tetapi tidak dapat melewati fiber optik karena cahaya telah diserap oleh *cladding*. Sedangkan semua cahaya dengan sudut datang kurang dari sudut penerimaan dapat masuk dan melewati fiber optik, cahaya ini akan mengalami pemantulan internal total yang menyebabkan cahaya tetap berada dalam fiber optik.

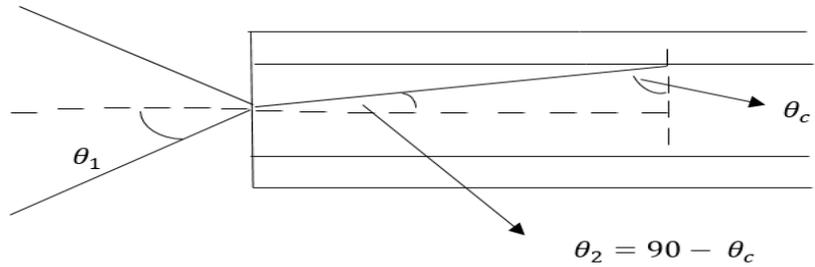
Secara umum NA dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$NA = n_0 \sin \theta_1 \quad (3)$$

dengan θ_1 adalah kerucut sudut penerimaan dan n_0 adalah indeks bias dari medium cahaya datang, dimana dalam kasus ini n_0 merupakan indeks bias udara. Karena indeks bias antara medium datangnya cahaya (n_0) berbeda dengan indeks bias *core* (n_1) maka terjadi pembiasan sinar dengan sudut bias sebesar θ_2 . Kejadian tersebut memenuhi persamaan (1).

$$n_0 \sin \theta_1 = n_1 \sin \theta_2 \quad (4)$$

Sinar yang dibiaskan tersebut kemudian menumbuk bidang batas *core-cladding*. Jika sudut datang tersebut lebih kecil dari sudut kritis, maka cahaya akan dibiaskan kembali. Cahaya yang dibiaskan tersebut disebut dengan istilah *unguided ray*. Sedangkan jika sudut datang tersebut lebih besar dari sudut kritis, maka cahaya akan dipantulkan sempurna. Cahaya yang dipantulkan sempurna ini disebut dengan istilah *guided ray*.



Gambar 7. Penentuan nilai NA

Dari gambar di atas nilai dari NA dapat dirumuskan sebagai berikut

$$n_0 \sin \theta_1 = n_1 \sin \theta_2 \quad (5)$$

$$NA = n_1 \sin \left(\frac{\pi}{2} - \theta_c \right) \quad (6)$$

$$NA = n_1 \cos \theta_c \quad (7)$$

$$NA = n_1 \sqrt{1 - \sin^2 \theta_c} \quad (8)$$

$$NA = n_1 \sqrt{1 - \frac{n_2^2}{n_1^2}} \quad (9)$$

$$NA = \sqrt{n_1^2 \left(1 - \frac{n_2^2}{n_1^2} \right)} \quad (10)$$

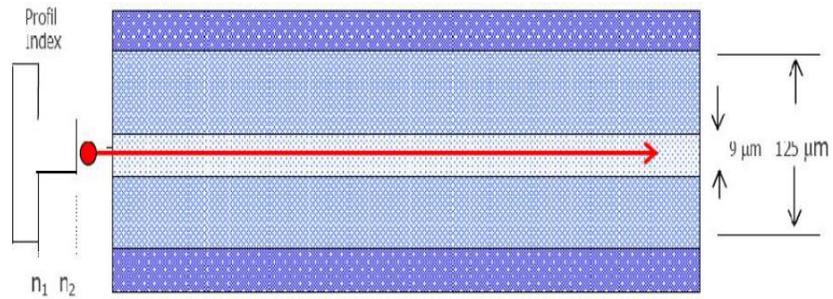
$$NA = \sqrt{n_1^2 - n_2^2} \quad (11)$$

n_2 merupakan indeks bias *cladding*. Semakin besar nilai *NA* menandai semakin tinggi efisiensi dari suatu sumber optik dalam memasukkan sinar-sinar ke dalam serat optik.

d. Jenis-Jenis Fiber Optik

Berdasarkan faktor struktur dan properti sistem transmisi yang saat ini banyak diimplementasikan, teknologi serat optik terbagi atas dua kategori umum yaitu:

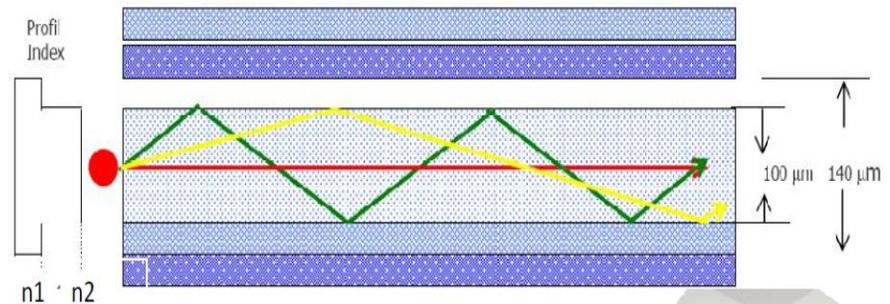
1) *Singlemode Step Index*



Gambar 8. Serat Optik *Step Index Singlemode* (Keiser, 1991: 27)

Fiber optik *single mode* dilihat dari segi strukturnya merupakan teknologi serat optik yang bekerja menggunakan inti (*core*) serat yang berukuran sangat kecil dibandingkan ukuran *cladding*-nya dan diameternya berkisar 2 sampai 10 μm . Karena *single mode* hanya mentransmisikan sinyal pada mode utama, maka tipe ini dapat membawa data dan *bandwidth* yang lebih besar dibandingkan dengan *multimode* serat optik, tetapi teknologi ini membutuhkan sumber cahaya dengan lebar *spectral* yang sangat kecil. *Single mode* dapat membawa data dengan lebih cepat dan 50 kali lebih jauh dibandingkan dengan *multi mode*. Inti serat yang digunakan lebih kecil dari *multimode* dengan demikian gangguan-gangguan di dalamnya akibat *distorsi* dan *overlapping* pulsa sinar menjadi berkurang. Inilah yang menyebabkan *single mode* serat optik menjadi lebih stabil, cepat dan jauh jangkauannya dan mampu menyalurkan data dengan kecepatan bit rate yang tinggi (Keiser, 1991: 27).

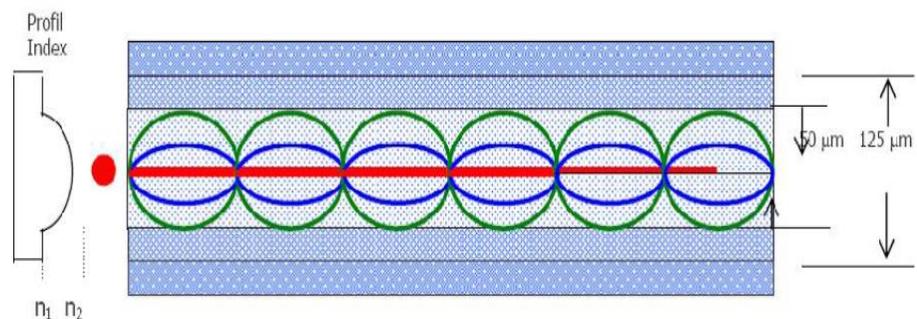
2) *Multimode Step Index*



Gambar 9. Serat Optik Step Index Multimode (Keiser, 1991: 27)

Pada panjang gelombang operasi tertentu, jika fiber optik mentransmisikan sinyal dalam berbagai mode disebut fiber *multimode*. Fiber *multimode* biasanya memiliki diameter *core* antara (50 – 70) μm dan diameter *cladding* antara (100 – 200) μm . Serat optik dengan diameter *core* yang agak besar yang membuat sinar di dalamnya terpantul-pantul di dinding *cladding* yang dapat menyebabkan berkurangnya *bandwidth* dari serat optik jenis ini. Tipe ini hanya digunakan untuk jarak pendek dan transmisi data *bit rate* rendah (Keiser, 1991: 28).

3) *Multimode Graded Index*



Gambar 10. Serat Optik *Grade Index Multimode* (Keiser, 1991: 27)

Core pada fiber tipe ini terdiri dari sejumlah lapisan gelas yang memiliki indeks bias yang berbeda, indeks bias tertinggi terdapat pada pusat *core* dan berangsur-angsur turun sampai batas *core-cladding*. Ukuran diameter *core* sebesar (30-60) μm . Cahaya yang merambat di dalamnya mengalami difraksi yang terjadi pada *core* sehingga rambatan cahaya sejajar dengan sumbu serat. Fiber tipe ini digunakan untuk jarak menengah dan lebar pita frekuensi besar, serta *disperse* lebih kecil dibandingkan dengan Multimode Step Index (Keiser, 1991: 28).

e. Pelemahan Daya Fiber Optik

Komponen yang menjadi bahan pertimbangan dalam mendesain suatu jaringan salah satunya yaitu rugi-rugi transmisi serat optik (*attenuation*). Hal tersebut merupakan salah satu karakteristik yang penting dari serat optik. Rugi-rugi ini menghasilkan penurunan dari daya cahaya dan juga penurunan *bandwidth* dari sistem, transmisi informasi yang dibawa, efisiensi, dan kapasitas sistem secara keseluruhan. Hal tersebut dapat disebabkan oleh kondisi dari serat optik tersebut misalnya karena ketidakmurnian kaca. Besarnya penurunan sinyal tergantung pada kemurnian kaca dan panjang gelombang cahaya yang ditransmisikan. Selain itu, pelemahan sinyal juga dapat disebabkan karena gangguan maupun tambahan pada serat optik seperti dari pemasangan komponen-komponen pendukung yang dibutuhkan dalam suatu jaringan seperti konektor, *splice* ataupun komponen lain yang disambungkan pada saluran transmisi.

Rugi-rugi pada serat optik merupakan pelemahan *power* dari cahaya yang ditransmisikan mulai dari pemancar sampai jarak tertentu.

Beberapa hal yang menyebabkan terjadinya atenuasi dalam serat optik yaitu absorpsi, pancaran Rayleigh, pemantulan Fresnel dan rugi-rugi karena pembengkokan. Penjabaran dari masing-masing adalah sebagai berikut:

1) Absorpsi

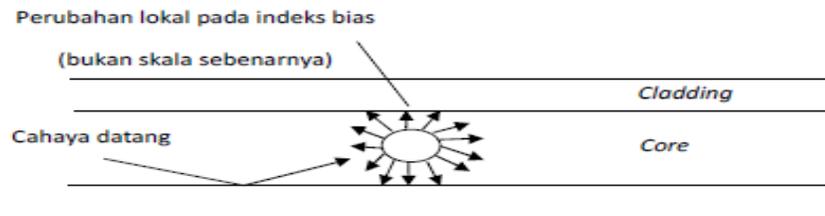
Zat pengotor (*impurity*) apapun yang masih tersisa di dalam bahan inti akan menyerap sebagian dari energi cahaya yang merambat di dalam serat optik. Zat yang menimbulkan efek paling serius adalah ion-ion hidroksil (OH) dan zat-zat logam. Ion-ion hidroksil yang merupakan wujud lain dari air akan menyerap energi gelombang dengan panjang gelombang 1380 nm, sedangkan zat-zat logam akan menyerap energi gelombang dengan berbagai nilai panjang gelombang tertentu (Crisp dan Elliot, 2008: 58).

2) Hamburan Rayleigh

Hamburan Rayleigh (*Rayleigh scatter*) adalah efek terpecahnya cahaya akibat terjadinya perubahan kecil yang bersifat lokal pada indeks bias bahan inti dan selongsong. Dikatakan bersifat lokal karena perubahan hanya terjadi di lokasi-lokasi tertentu saja di dalam bahan, dan ukuran daerah yang terkena pengaruh perubahan ini sangat kecil, yaitu kurang dari satu panjang gelombang cahaya.

Terdapat dua hal yang menyebabkan terjadinya fenomena ini, dan keduanya timbul di dalam proses manufaktur. Sebab pertama adalah terdapatnya ketidakmerataan di dalam adonan bahan-bahan pembuat serat optik. Ketidakrataan dalam jumlah yang sangat kecil dan bersifat acak mustahil untuk sepenuhnya dihilangkan. Penyebab kedua adalah pergeseran-pergeseran kecil pada kerapatan bahan yang biasanya terjadi saat kaca silika mulai membeku menjadi padat. Salah satu lokasi kelemahan ini dan efek pancaran Rayleigh diilustrasikan dalam Gambar 12. Semua komponen pancaran cahaya yang kini merambat dengan sudut datang kurang dari sudut kritis akan menembus *cladding* pelindung dan hilang sebagai rugi daya. Intensitas Rayleigh tergantung pada ukuran daerah perubahan relatif terhadap panjang gelombang yang

bersangkutan. Oleh karena itu cahaya dengan panjang gelombang paling kecil atau frekuensi tertinggi akan paling besar terkena dampak pancaran ini (Crisp dan Elliot, 2008: 59).



Gambar 11. Cahaya terpancar ke segala arah (Crisp dan Elliot, 2008: 59)

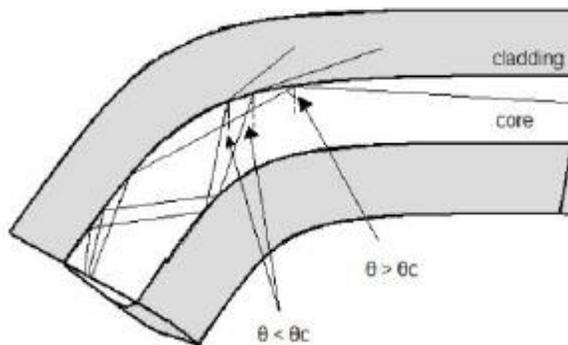
3) Rugi-rugi Pembengkokan

Pada saat pemasangan serat optik pada suatu saluran transmisi akan ada beberapa kondisi yang akan mengubah keadaan fisik dari serat optik tersebut. Misalnya kondisi daerah yang berkelok-kelok ataupun kebutuhan yang mengharuskan kabel dipasang dengan pembelokan.

Perubahan fisik ini disebut *bending* dan terdiri dari dua jenis sebagai berikut:

a) *Macro bending*/pembengkokan makro

Rugi-rugi *macro bending* terjadi ketika sinar atau cahaya melalui serat optik yang dilengkungkan dengan jari-jari lebih lebar dibandingkan dengan diameter serat optik, sehingga menyebabkan rugi-rugi seperti pada Gambar 13.

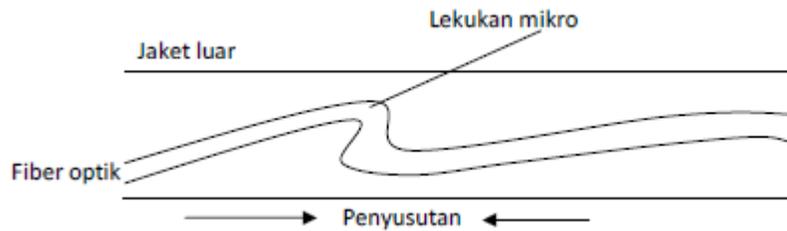


Gambar 12. Pembengkokan sinar di dalam inti serat optik dengan variasi sudut datang (Andre, 2006: 1)

Berdasarkan prinsip pemantulan dan pembiasan cahaya, jika sudut datang lebih kecil dari sudut kritis, maka mode cahaya tidak dipantulkan secara sempurna melainkan lebih banyak dibiaskan keluar dari inti serat optik. Sedangkan untuk sinar yang membentuk sudut datang lebih besar dari sudut kritis, sebagian besar mode cahaya akan dipantulkan kembali masuk ke dalam selubung seperti halnya prinsip pemantulan total. Kondisi ini mengakibatkan perubahan mode. Jumlah radiasi optik dari lengkungan serat tergantung kekuatan medan dan kelengkungan jari-jari.

b) *Micro bending*/pembengkokan mikro

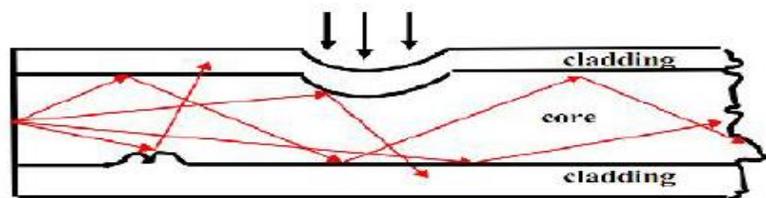
Permasalahan lekukan skala mikro pada prinsipnya menimbulkan efek yang sama dengan *macro bend*, hanya saja ukuran lekukan dan penyebab terjadinya berbeda. Jari-jari lekukan yang timbul dalam kasus ini adalah sama dengan atau kurang dari garis-tengah sebuah fiber optik.



Gambar 13. Perbedaan laju penyusutan dapat menimbulkan lekukan mikro (Crisp dan Elliot, 2008: 67)

Permasalahan *microbend* (lekukan mikro) pada umumnya muncul di dalam proses manufaktur. Penyebab yang biasa dijumpai adalah perbedaan laju pemuaian (dan penyusutan) antara fiber optik dan lapisan-lapisan pelindung luarnya (jaket). Ketika kabel fiber optik terlalu dingin, lapisan jaket maupun bagian inti/selongsong akan mengalami penyusutan dan memendek. Jika bagian inti/selongsong menyusut lebih lambat dari lapisan jaketnya, maka bagian inti/selongsong akan bergeser dari posisi relatifnya semula dan hal ini dapat menimbulkan lekukan-lekukan padanya. Fenomena inilah yang dikenal sebagai permasalahan *microbend*.

Selain itu pembengkokan mikro juga terjadi karena ketidakrataan pada permukaan batas antara teras dan selongsong secara acak atau *random* pada serat optik karena proses pengkabelan yang tidak sempurna, seperti tekanan dari luar maupun ketidaksempurnaan bentuk inti di dalam kabel optik tersebut seperti terlihat pada Gambar 14.



Gambar 14. Peristiwa rugi-rugi akibat pembengkokan mikro (Keiser, 1991: 96)

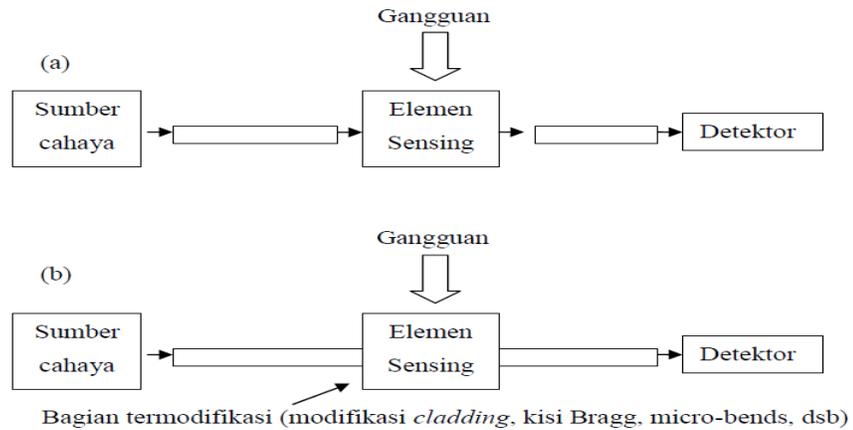
2. Tipe Sensor Fiber Optik

Sensor fiber optik adalah jenis sensor yang menggunakan fiber optik dalam mekanisme penginderaan atau pendeteksian, baik sebagai komponen aktif sensor maupun sekedar sebagai pemandu gelombang saja. Sistem sensor optik dilengkapi paling tidak dengan tiga komponen utama, yaitu komponen optoelektronik, *link* optik dan probe

Komponen optoelektronik meliputi sumber cahaya, detektor optik dan pengolah sinyal. *Link* optik berupa fiber optik yang berfungsi memandu cahaya ke atau dari bagian penginderaan. Sedangkan probe adalah bagian *sensing* atau *transducing*, baik pada bagian di dalam fiber optik atau di luar fiber optik, yang bertindak sebagai transduser dan berinteraksi langsung dengan objek atau besaran yang diukur.

Sensor serat optik didasarkan pada mekanisme modulasi gelombang optik (cahaya) dari suatu sumber seperti LED, diode, atau yang lainnya. Kuantitas optik yang dimodulasi dapat berupa intensitas atau amplitudo, panjang gelombang, fase gelombang dan polarisasi gelombang optik tersebut. Modulasi ini dapat terjadi di luar maupun di dalam serat optik (Akhiruddin Maddu, 2007:38).

Modulasi dalam sensor fiber optik dapat dirancang dengan konfigurasi yang berbeda, tergantung pada besaran optik yang dimodulasi dapat berupa intensitas, panjang gelombang, fase atau polarisasi gelombang.



Gambar 15. Skema sensor fiber optik (a) ekstrinsik dan (b) intrinsik (Akhiruddin Maddu, 2007: 40)

Berdasarkan lokasi proses modulasi, di luar atau di dalam bagian fiber optik, sensor fiber optik diklasifikasikan menjadi dua yaitu, sensor fiber optik ekstrinsik dan sensor fiber optik intrinsik. Konfigurasi kedua tipe sensor fiber optik ditunjukkan pada Gambar 15, masing-masing dilengkapi dengan komponen-komponen optik dan elektrik yaitu sumber cahaya, fiber optik, detektor cahaya dan piranti pengolah sinyal serta elemen pengindraan.

Penjelasan untuk jenis sensor fiber optik adalah sebagai berikut:

a. Sensor Fiber Optik Intrinsik

Pada sensor serat optik intrinsik, serat optik disamping sebagai pemandu cahaya juga sekaligus berperan dalam proses penginderaan, dimana terdapat bagian serat optik yang berfungsi sebagai komponen pengindra (*sensing element*), baik *cladding* atau intinya, seperti ditunjukkan pada Gambar 16(b). Pada sensor tipe ini cahaya tidak pernah meninggalkan serat optik dalam proses penginderaan, jadi proses modulasi terjadi di dalam serat optik, dengan demikian ada bagian serat optik berperan aktif sebagai fungsi *sensing* (*sensing function*).

Menurut Akhiruddin Maddu (2007: 43) ada beberapa hal yang dapat dilakukan untuk merealisasikan tipe sensor serat optik intrinsik, yaitu

dengan atau tanpa memodifikasi struktur serat optik (*core* atau *cladding*). Sebagai contoh dengan memodifikasi inti serat optik membentuk kisi Bragg (*Fiber Bragg Grating*/FBG) atau memodifikasi *cladding* dengan material sensitif untuk membangkitkan fenomena optik yang diinginkan seperti medan *evanescent* atau resonansi plasmon permukaan. Sensor serat optik intrinsik juga dapat dilakukan melalui prinsip *microbending* dan *macrobending* pada serat optik, biasanya diaplikasikan sebagai sensor fisis seperti sensor strain, tekanan, dan sebagainya. Selain itu sensor intrinsik juga dapat memanfaatkan sifat aktif inti serat optik.

b. Sensor Fiber Optik Ekstrinsik

Pada tipe sensor serat optik ekstrinsik, serat optik hanya berfungsi sebagai pandu gelombang saja atau penghubung (*link*) cahaya ke sistem sensing eksternal, dengan demikian tidak ada modifikasi pada struktur serat optik untuk fungsi *sensing* (penginderaan). Proses *sensing* terjadi di luar serat optik seperti pada Gambar 16(a) dimana bagian penginderaan (*sensing element*) berada di luar serat optik. Dalam proses *sensing*, cahaya sempat keluar dari serat optik kemudian termodulasi oleh besaran yang diukur pada bagian penginderaan yang selanjutnya diteruskan menuju detektor cahaya, tahap akhir adalah dimodulasi untuk mendapatkan informasi kuantitas yang diukur.

Mekanisme *sensing* didasarkan atas perubahan sifat serat optik material sensitif pada ujung serat saat berinteraksi dengan besaran atau obyek yang dideteksi yang menyebabkan cahaya yang dikirim akan berubah intensitas, panjang gelombang, fasa atau polarisasi, atau juga dapat dibangkitkan emisi fluoresens. Perubahan intensitas, panjang gelombang, fasa atau polarisasi atau intensitas fluoresens merupakan ukuran kuantitas eksternal yang mempengaruhinya, yaitu kuantitas yang diukur atau dideteksi.

3. Prinsip Sensor Fiber Optik

Berdasarkan prinsip kerja dan proses modulasi atau demodulasi, sensor fiber optik dapat diklasifikasikan menjadi tiga yaitu:

a. Sensor Fiber Optik Berdasarkan Intensitas

Sensor modulasi intensitas adalah sensor yang paling sederhana dan mudah direalisasikan, oleh karena itu sensor jenis ini sangat luas dikaji di dalam sistem sensor fiber optik. Konsep sensor modulasi intensitas didasari atas perubahan amplitudo atau intensitas cahaya yang ditransmisikan melalui fiber optik ketika ada gangguan eksternal pada daerah *sensing*. Salah satu contoh sensor fiber optik berbasis intensitas adalah sensor gelombang *evanescent*.

b. Sensor Fiber Optik Berdasarkan Modulasi Panjang Gelombang

Sensor fiber optik berdasarkan modulasi panjang gelombang menggunakan perubahan panjang gelombang atau cahaya untuk dideteksi. Contoh dari sensor modulasi panjang gelombang yaitu Sensor *Fluorescens*, sensor benda hitam dan *Brag grating*.

c. Sensor Fiber Optik Berdasarkan Modulasi *Phase*

Sensor modulasi *phase* menggunakan fase yang berubah untuk mendeteksi cahaya. Perubahan *phase* dideteksi secara *interferometri* dan metode yang digunakan untuk pendeteksian secara *interferometri* ini yaitu *Mach-Zehnder*, *Michelson*, *Fabry-Perot*, *Sagnac*, *polarimetric* dan *grating interferometer*.

4. Keuntungan dan Kekurangan Fiber Optik

Media fiber optik memang telah lama ada dalam dunia komunikasi. Aplikasinya pun sudah cukup banyak meskipun belum seberkembang dan seluas kabel UTP atau kabel tembaga. Tidak semua orang mampu menggunakan media ini karena harganya yang tidak murah. Namun di balik

semua itu, sebenarnya media fiber optik memiliki banyak kelebihan dibanding media lain, namun disamping itu fiber optik juga pasti memiliki kekurangan.

Berikut ini adalah kelebihan-kelebihan media fiber optik:

- a. Lebih ekonomis untuk komunikasi jarak jauh
- b. Lebih kecil ukurannya
- c. Penurunan kualitas sinyal lebih sedikit
- d. Daya listrik kecil
- e. Sinyal digital
- f. Tidak mudah termakan usia
- g. Ringan dan fleksibel
- h. Komunikasi lebih aman

Disamping memiliki kelebihan, fiber optik juga memiliki kekurangan diantaranya yaitu:

- a. Konstruksi serat optik cukup lemah, maka dalam pemakaiannya diperlukan lapisan penguat sebagai proteksi.
- b. Karakteristik transmisi dapat berubah bila terjadi tekanan dari luar yang berlebihan.
- c. Tidak dapat dilewati arus listrik, sehingga tidak dapat memberikan catuan pada pemasangan *repeater*.

5. Fiber Optik Plastik (FOP)

Fiber optik plastik merupakan jenis fiber optik dengan teras yang terbuat dari bahan plastik tertentu dan memiliki indeks bias tertentu. FOP ini merupakan alternatif dari fiber optik berbasis silika untuk tujuan pengurangan biaya sistem komunikasi fiber optik karena harganya lebih murah. Disamping itu, FOP mudah dipreparasi dan diterminasi, mudah dikopel dengan detektor

dan *emitter*, serta fleksibel. Namun FOP kurang banyak digunakan dalam transmisi jarak jauh karena memiliki atenuasi yang besar.

Dalam perkembangannya FOP tidak hanya digunakan sebagai pandu gelombang optik pada sistem komunikasi optik, namun juga telah dimanfaatkan sebagai komponen sensor FOP. Sensor fiber optik juga banyak dikembangkan pada bidang pemantauan kimia dan lingkungan, meliputi sensor gas atau uap kimia, seperti sensor uap metanol, sensor gas hidrokarbon, sensor gas oksigen bahkan sensor pH.

FOP terdiri atas teras (*core*), selongsong (*cladding*), dan jaket pelindung. *Core* dan *cladding* dibuat dengan indeks bias yang berbeda dengan tujuan agar terjadi pemantulan internal total. Pemantulan internal total inilah yang menyebabkan cahaya tetap berada di dalam fiber optik. Sementara itu, jaket digunakan untuk melindungi fiber optik dari kondisi lingkungan yang merusak.

Fiber optik yang digunakan adalah fiber optik plastik tipe SH-4001-1.3 yang terdiri dari *core*, *cladding*, dan *buffer*. Bahan *core* yang digunakan adalah *Plymethyl-Methacrylate Resin* dengan diameter 980 μm dan bahan *cladding* yang digunakan adalah *Fluorinated Polymer* dengan diameter minimal 1000 μm .

6. Molaritas

Larutan adalah campuran homogen dari dua jenis zat atau lebih. Larutan terdiri dari zat terlarut (*solute*) dan zat pelarut (*solven*). Larutan tidak hanya berbentuk cair, tetapi juga berbentuk gas atau padat. Perhitungan yang terkait dengan konsentrasi larutan dibagi menjadi dua, yaitu Molaritas (*M*) dan molalitas (*m*)

Molaritas adalah banyaknya mol zat terlarut dalam satu liter zat pelarut.

$$M = \frac{n}{V} \quad (8)$$

Mol zat terlarut dapat dihitung dengan cara sebagai berikut:

$$n = \frac{G}{Mr} \quad (9)$$

Sehingga persamaan di atas juga dapat ditulis sebagai berikut:

$$M = \frac{G}{Mr} \cdot \frac{1000}{V(mL)} \quad (10)$$

dimana, M = molaritas (mol.L^{-1})

n = mol

V = volum larutan (mL)

G = massa padatan (gram)

Mr = massa molekul relatif (g.mol^{-1})

7. Asam Oksalat ($H_2C_2O_4$)

Asam oksalat pertama kali disintesis oleh Carl W.Scheele pada tahun 1776 dengan cara mengoksidasi gula dengan asam nitrat (Kirk-Othmer, 1996). Pada tahun 1784 telah dibuktikan asam oksalat terdapat pada tanaman sorrel. Pada tahun 1829, Gay Lussac menemukan bahwa asam oksalat dapat diproduksi dengan cara meleburkan serbuk gergaji dalam larutan alkali. Asam oksalat merupakan turunan dari asam karboksilat yang mengandung dua gugus karboksil yang terletak pada ujung-ujung rantai karbon yang lurus yang mempunyai rumus molekul $H_2C_2O_4$ tidak berbau, higroskopis, berwarna putih sampai tidak berwarna dan mempunyai berat molekul 90 g.mol^{-1} . Asam oksalat paling sederhana ini biasa digambarkan dengan rumus HOOC-COOH .

8. Natrium Hidroksida (NaOH)

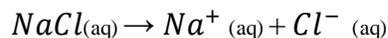
Natrium hidroksida (NaOH) juga dikenal sebagai soda kaustik, soda api atau sodium hidroksida adalah sejenis logam basa kaustik. Natrium hidroksida terbentuk dari oksida basa natrium oksida dilarutkan dalam air. Natrium hidroksida membentuk larutan alkalin yang kuat ketika dilarutkan ke dalam air. Ia digunakan dalam berbagai macam bidang industri.

Natrium hidroksida adalah basa yang paling umum digunakan dalam laboratorium kimia. Natrium hidroksida murni berbentuk putih padat dan tersedia dalam bentuk pelet, serpihan, butiran ataupun larutan jenuh 50% yang biasa disebut larutan Sorensen. Ia sangat larut dalam air dan akan melepaskan panas ketika dilarutkan, karena pada proses pelarutannya dalam air bereaksi secara eksotermis. Ia juga larut dalam etanol dan methanol (Heaton. A, 1996).

9. Garam (NaCl)

Garam merupakan suatu senyawa ion, yang terdiri dari kation logam dan anion sisa asam. Kation adalah ion bermuatan positif dan anion merupakan ion bermuatan negatif. Kation garam dapat dianggap berasal dari suatu basa, sedangkan anionnya berasal dari suatu asam. Jadi pada dasarnya suatu garam mempunyai komponen basa (kation) dan komponen asam (anion).

Sebagai contoh larutan garam adalah NaCl. Natrium klorida terdiri dari kation Na^+ berasal dari basa kuat NaOH dan anion Cl^- yang berasal dari asam kuat HCl. Di dalam air NaCl terdapat sebagai ion – ion yang terpisah. Berdasarkan persamaan reaksi :

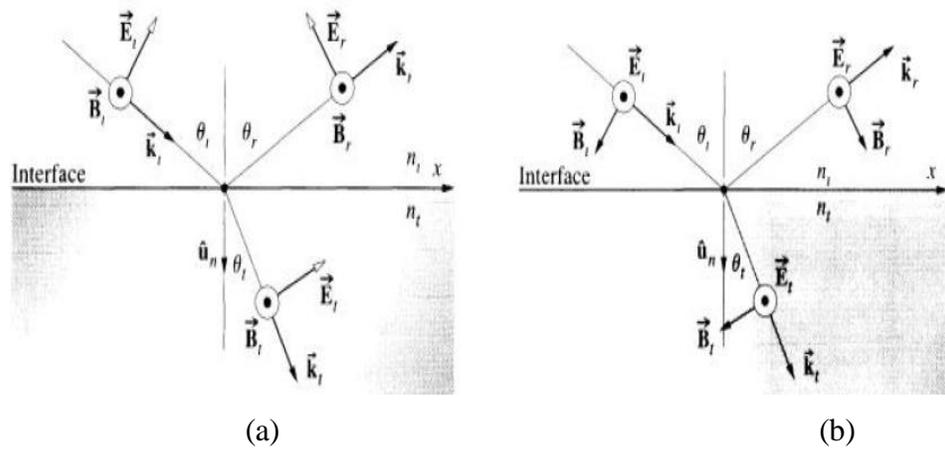


Natrium klorida juga dikenal sebagai garam dapur atau halit. Senyawa ini adalah garam yang paling memengaruhi salinitas laut dan cairan ekstraselular pada banyak organisme multiseluler.

10. Persamaan Fresnel

Persamaan Fresnel merupakan hasil pengamatan perilaku gelombang cahaya ketika merambat melalui medium yang mempunyai indeks bias berbeda. Persamaan ini hanya berlaku pada indeks bias yang bernilai real, yaitu pada medium yang tidak menyerap cahaya. Selain itu, persamaan ini juga

berlaku pada medium non magnetik dengan asumsi tidak terjadi interferensi. Saat gelombang cahaya merambat dari medium dengan indeks bias n_1 ke medium dengan indeks bias n_2 , Fresnel berpendapat bahwa gelombang cahaya mengalami refleksi dan refraksi bersamaan.



Gambar 17. Gelombang cahaya (a) sejajar bidang gambar (b) tegak lurus bidang gambar (Hecht, 2002: 113-114)

Jika gelombang cahaya tegak lurus bidang gambar, maka koefisien refleksi r dan koefisien transmisi t diberikan oleh persamaan:

$$r_{\perp} = \frac{n_i \cos \theta_i - n_t \cos \theta_t}{n_i \cos \theta_i + n_t \cos \theta_t} \quad (11)$$

$$t_{\perp} = \frac{2n_i \cos \theta_i}{n_i \cos \theta_i + n_t \cos \theta_t} \quad (12)$$

Sedangkan jika gelombang cahaya sejajar dengan bidang gambar, maka persamaan koefisien refleksi dan koefisien transmisi adalah sebagai berikut :

$$r_{\parallel} = \frac{n_t \cos \theta_i - n_i \cos \theta_t}{n_i \cos \theta_t + n_t \cos \theta_i} \quad (13)$$

$$t_{\parallel} = \frac{2n_i \cos \theta_i}{n_i \cos \theta_t + n_t \cos \theta_i} \quad (14)$$

Intensitas gelombang cahaya yang mengalami refleksi ditentukan oleh reflektansi R dan gelombang cahaya yang mengalami refraksi ditentukan oleh T .

Reflektansi merupakan rasio antara daya pemantulan dengan daya yang datang, sedangkan transmitansi adalah perbandingan antara daya yang diteruskan dengan daya datang.

$$R \equiv \frac{I_r A \cos \theta_r}{I_i A \cos \theta_i} = \frac{I_r}{I_i} \quad (15)$$

$$T \equiv \frac{I_t A \cos \theta_t}{I_i A \cos \theta_i} \quad (16)$$

Jika sinar mendekati garis normal ($\theta_i \approx 0$), maka reflektansi R dan transmitansi T dapat dihitung dengan persamaan:

$$R = R_{\parallel} = R_{\perp} = \left(\frac{n_t - n_i}{n_t + n_i} \right)^2 \quad (17)$$

$$T = T_{\parallel} = T_{\perp} = 1 - R = \frac{4n_t n_i}{(n_t + n_i)^2} \quad (18)$$

Ketika gelombang cahaya merambat dari medium pertama yang memiliki nilai indeks bias lebih besar daripada medium kedua ($n_1 > n_2$) dengan sudut datang yang lebih besar dari sudut kritis, semua gelombang cahaya mengalami refleksi dan $R_{\parallel} = R_{\perp} = 1$. Fenomena ini disebut *total internal reflection*.

11. Sumber Cahaya

Sumber cahaya merupakan komponen aktif dalam sistem komunikasi fiber optik yang berfungsi untuk mengubah arus listrik menjadi energi optik (cahaya). Sehingga sinyal optik yang dihasilkan tersebut selanjutnya akan membawa informasi sampai ke *receiver*.

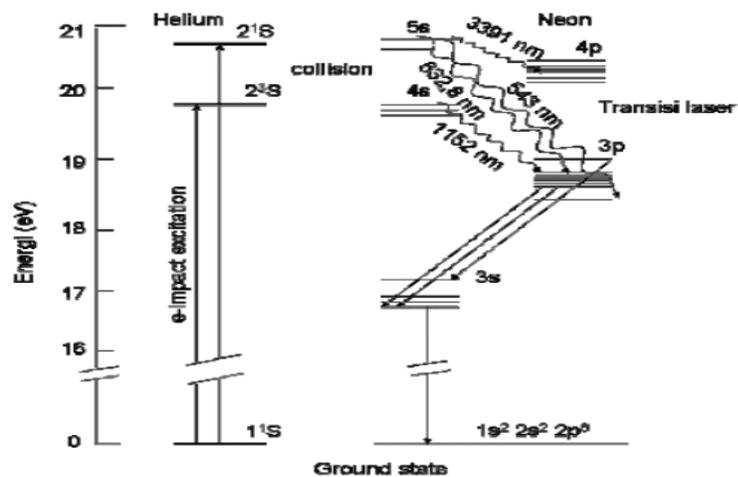
a. Laser

Laser merupakan singkatan dari *Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation*, yaitu mekanisme suatu alat yang memancarkan radiasi elektromagnetik, biasanya dalam bentuk cahaya yang tidak dapat dilihat maupun dapat dilihat dengan mata normal, melalui proses pancaran terstimulasi dengan panjang gelombang tetap. Cahaya tersebut memiliki *bandwidth* yang sempit, umumnya hanya memiliki panjang beberapa nanometer.

b. Laser Helium-Neon

Laser Helium-Neon adalah sejenis laser gas dimana campuran gas helium dan neon digunakan sebagai medium *gain*. Laser Helium-Neon juga dikenal sebagai laser He-Ne. Laser Helium-Neon merupakan laser gelombang kontinyu (CW) pertama yang pernah dibuat. Dibuat pada tahun 1961 oleh Ali Javan, Bennett dan Herriott di Bell Telephone Laboratories. *Lasing* diperoleh dari transmisi atom neon, dimana helium ditambahkan ke dalam campuran gas untuk memfasilitasi proses *pumping*. (Bahtiar, 2008) Laser jenis ini beroperasi pada panjang gelombang 632.8 nm (merah). Berkas laser He-Ne mempunyai keistimewaan dibanding dengan sumber cahaya konvensional, yaitu berkasnya kecil dan sangat terarah, monokromatik, koheren dan kecerahannya tinggi.

Mekanisme populasi *inverse* pada laser He-Ne meliputi kombinasi dari tumbukan electron He dengan transfer elektron dari helium ke neon. Perbandingan campuran gas ini berkisar 90 % helium dan 10 % neon.



Gambar 17. Tingkatan – tingkatan energy pada laser He-Ne (sumber: <http://optoelektronikalinasundari.blogspot.co.id/2015/05/laser-helium-neon.html>)

12. Sensor

Sensor adalah peralatan yang digunakan untuk mengubah suatu besaran fisik menjadi besaran listrik sehingga dapat dianalisa dengan rangkaian listrik tertentu. Sensor memungkinkan pendeteksian, analisis, dan merekam fenomena fisis yang sulit dicerna dengan mengubahnya menjadi sinyal-sinyal yang mudah dimengerti. Sensor mengubah atau mengkonversi besaran fisis seperti *displacement, velocity, acceleration, pressure, chemical concentration or flow* menjadi sinyal listrik. Keluaran elektrik sangat mudah dikelola karena menggunakan metode yang umum dan sering digunakan untuk memfilter dan mendapatkan sinyal listrik secara *real time* atau analisis yang berurutan (Graham, 2000).

Secara umum berdasarkan fungsi dan penggunaannya sensor dapat dikelompokkan menjadi 3 bagian yaitu:

Sensor thermal adalah sensor yang digunakan untuk mendeteksi gejala perubahan panas/temperature/suhu pada suatu dimensi benda atau dimensi ruang tertentu. Contohnya: *bimetal, termistor, termokopel, RTD, photo transistor, photo dioda, photo multiplier, photovoltaik, infrared pyrometer, hygrometer* dan sebagainya.

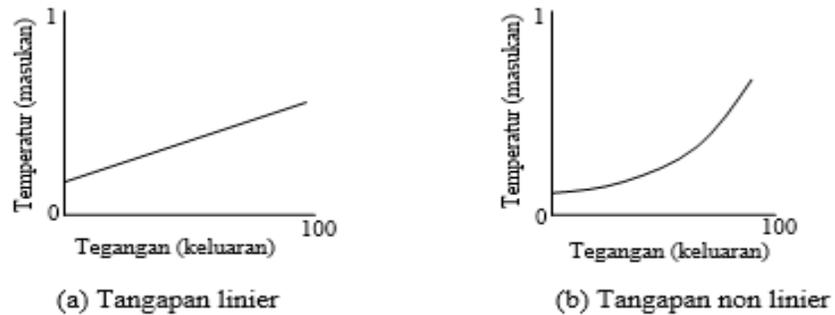
Sensor mekanis adalah sensor yang mendeteksi perubahan gerak mekanis, seperti perpindahan atau pergeseran atau posisi, gerak lurus dan melingkar, tekanan, aliran, level dsb. Contoh: *strain gage, linear variable deferential transformer (LVDT), proximity, potensiometer, load cell, bourdon tube* dan sebagainya.

Sensor optik atau cahaya adalah sensor yang mendeteksi perubahan cahaya dari sumber cahaya, pantulan cahaya ataupun bias cahaya yang mengernai benda atau ruangan. Contoh: *photo cell, photo transistor, photo diode, photo voltaic, photo multiplier, pyrometer optik* dan sebagainya.

Dalam memilih peralatan sensor yang tepat dan sesuai dengan sistem yang akan disensor, maka persyaratan umum sensor yang perlu diperhatikan adalah sebagai berikut:

a. Linearitas

Ada banyak sensor yang menghasilkan sinyal keluaran yang berubah secara kontinyu sebagai tanggapan terhadap masukan yang berubah secara kontinyu. Dalam kasus seperti ini, biasanya dapat diketahui secara tepat bagaimana perubahan keluaran dibandingkan dengan masukannya berupa sebuah grafik.



Gambar 18. Keluaran dari transduser panas

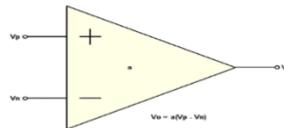
b. Sensitivitas

Sensitivitas akan menunjukkan seberapa jauh kepekaan sensor terhadap kuantitas yang diukur. Sensitivitas sering juga dinyatakan dengan bilangan yang menunjukkan “perubahan keluaran dibandingkan unit perubahan masukan”. Linieritas sensor juga mempengaruhi sensitivitas dari sensor. Apabila tanggapannya linier, maka sensitivitasnya juga sama untuk jangkauan pengukuran keseluruhan.

13. Op-Amp

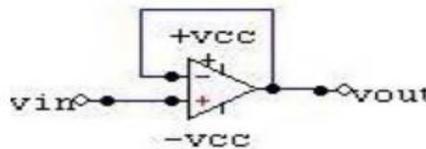
Penguat operasional (Operasional amplifier) secara umum menggambarkan tentang sebuah rangkaian penguat penting yang membentuk dasar dari

rangkaian penguat audio, video, penyaring atau tapis, buffer dan berbagai macam rangkaian analog lainnya. Op-Amp pada dasarnya merupakan sebuah blok-blok komponen sederhana yang memiliki dua buah terminal masukan. Salah satu masukan disebut masukan pembalik (diberi tanda -), sementara satu masukan lainnya disebut dengan masukan non pembalik (diberi tanda +). Simbol Op-Amp ditunjukkan oleh gambar berikut :



Gambar 19. Simbol Op-Amp

Pada umumnya Op-Amp memiliki sebuah keluaran tunggal. Untuk dapat menjalankan fungsinya dengan baik, Op-Amp harus memiliki umpan balik (Milman, dkk, 1997: 21-23). Op-Amp ideal dapat digunakan sebagai titik mula dalam melakukan analisis rangkaian-rangkaian dengan Op-Amp. Op-Amp dengan masukan differensial ideal memiliki umpan balik negatif yang selalu berusaha untuk menjaga agar tegangan masukan differensial selalu mendekati atau sama dengan nol. Contoh rangkaian dengan Op-Amp ideal adalah buffer yang sempurna. Rangkaian Op-Amp berperilaku sebagai buffer diperlihatkan pada gambar berikut:



Gambar 20. Rangkaian Op-Amp berperilaku sebagai buffer.

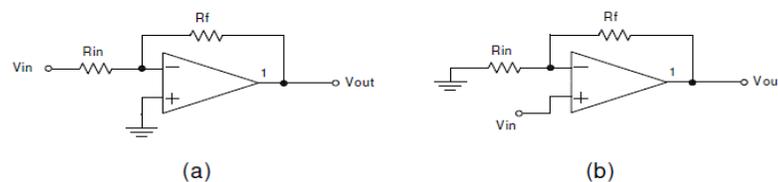
Pada rangkaian ini, tegangan keluaran harus mengambil nilai sama besar dengan nilai tegangan masukan untuk memaksa sinyal tegangan masukan differensial bernilai nol. Rangkaian ideal ini memiliki impedansi masukan yang

tak berhingga, impedansi keluaran nol dan *gain* sama dengan satu. (Clayton, 2005: 5-7)

Pengikut tegangan besarnya didefinisikan dengan rangkaian penguatan satu. Diantara masukan dan keluaran terdapat isolasi impedansi. Keluaran dari Op- Amp terhubung pada masukan *inverting* dan tegangan masukan dihubungkan pada masukan *non inverting*. Dengan konfigurasi salah satu *input* dihubungkan secara langsung ke jalur *output* sebagai jaringan umpan balik sehingga nilai resistansi umpan balik $R_f = 0 \Omega$ (Steve, 2003: 14).

14. IC LM 358

Dalam penulisan ini op-amp digunakan sebagai penguat tegangan dari sensor. Pada dasarnya ada dua macam penguatan yaitu *inverting* dan *non-inverting* dengan konfigurasi seperti pada Gambar 21.



Gambar 21. Rangkaian penguat (a) *inverting*, (b) *non-inverting*

Persamaan penguatan pada Gambar 21 adalah sebagai berikut:

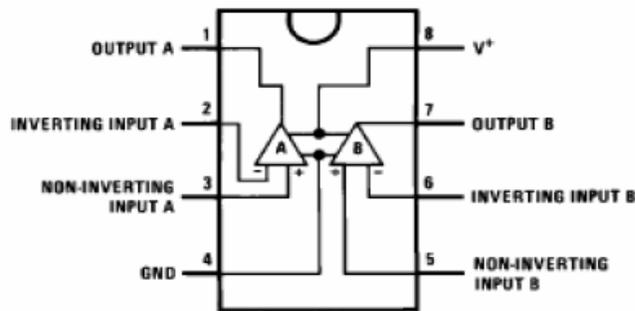
Inverting:

$$V_{out} = -\frac{R_f}{R_{in}} V_{in} \quad (19)$$

Non-Inverting:

$$V_{out} = \frac{R_f + R_{in}}{R_{in}} V_{in} = \left(1 + \frac{R_f}{R_{in}} \right) V_{in} \quad (20)$$

Pada rangkaian yang dibuat penulis menggunakan IC LM358 sebagai penguat masukan dari sensor. Fungsi rangkaian penguat adalah untuk memperbesar masukan dari sensor ke rangkaian DC.



Gambar 22. Konfigurasi pin LM358

Penguat LM358 mempunyai 2 rangkaian penguatan. Amplifier ini mempunyai beberapa keuntungan di atas tipe amplifier standar dalam mode *single supply*. Dapat beroperasi pada voltase 3V sampai 32V. Mode masukan (*supply*) ini termasuk *negatif supply*, dengan demikian menghilangkan eksternal bias dari komponen pada banyak aplikasi. Cakupan voltase keluaran juga meliputi voltase negatif (*negatif supply*).

IC LM358 dalam pengoperasiannya dapat dilakukan secara *single supply* atau *split supply*.

15. IC Voltage Regulator

Regulator adalah rangkaian regulasi atau pengatur tegangan keluaran dari sebuah catu daya agar efek dari naik atau turunnya tegangan tidak mempengaruhi tegangan catu daya sehingga menjadi stabil. Regulator dengan IC yang umum digunakan ada 2 jenis, yaitu 78XX sebagai regulator tegangan positif dan 79XX sebagai regulator tegangan negatif. Komponen ini biasanya sudah dilengkapi dengan pembatas arus (*current limiter*) dan juga pembatas suhu (*thermal shutdown*). IC regulator akan bekerja sebagai regulator tegangan DC yang stabil jika tegangan *input* di atas atau sama dengan MIV (*Minimum Input Voltage*), sedangkan arus maksimum beban *output* yang diperbolehkan

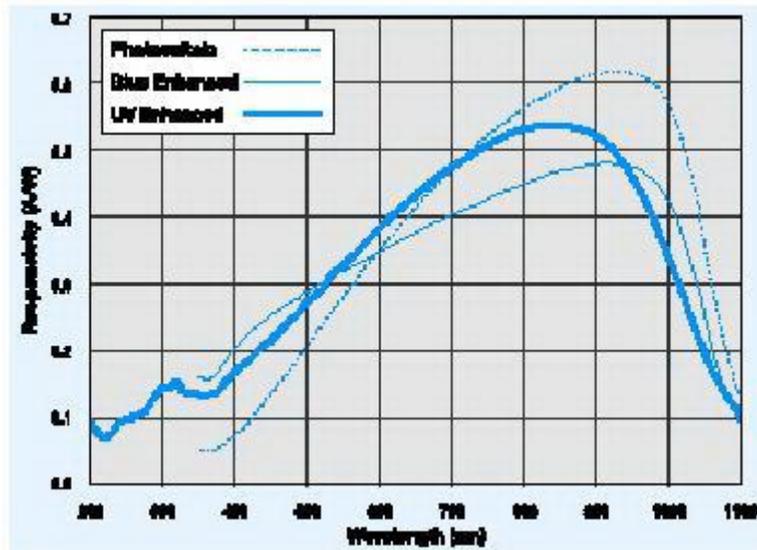
harus kurang dari atau sama dengan MC (*Maximum Current*) sesuai karakteristik masing-masing.

16. Fotodiode

Fotodiode adalah diode yang bekerja berdasarkan intensitas cahaya, jika fotodiode terkena cahaya maka fotodiode bekerja seperti diode pada umumnya, tetapi jika tidak mendapat cahaya maka fotodiode berperan seperti resistor dengan nilai tahanan yang besar sehingga arus listrik tidak dapat mengalir.

Fotodiode merupakan sensor cahaya semikonduktor yang dapat mengubah besaran cahaya menjadi besaran listrik. Cahaya yang dapat dideteksi oleh fotodiode ini mulai dari cahaya inframerah, cahaya tampak, ultra ungu sampai dengan sinar-X.

Karena fotodiode terbuat dari semikonduktor *p-n junction*, maka cahaya yang diserap oleh fotodiode mengakibatkan terjadinya pergeseran foton yang akan menghasilkan pasangan *electron-hole* di kedua sisi dari sambungan. Elektron-elektron itu mengalir ke arah positif sumber tegangan sedangkan *hole* yang dihasilkan mengalir ke arah negatif sumber tegangan sehingga arus akan mengalir di dalam rangkaian. Besarnya pasangan *electron* ataupun *hole* yang dihasilkan tergantung dari besarnya intensitas cahaya yang diserap oleh fotodiode.



Gambar 23. Kurva tanggapan frekuensi sensor fotodiode (sumber: <https://elektronika-dasar.web.id/wp-content/uploads/2012/09/?MA>)

Fotodiode mempunyai resistansi yang rendah pada kondisi *forward* bias, kita dapat memanfaatkan resistansi fotodiode yang turun seiring dengan intensitas cahaya yang masuk.

Sifat dari fotodiode adalah:

1. Jika terkena cahaya maka resistansinya berkurang
2. Jika tidak terkena cahaya maka resistansinya meningkat.

Diode dipasang *reverse* karena pada saat diode dipasang *reverse*, maka arus tidak akan mengalir karena hambatan yang sangat besar sekali. Jadi bisa dikatakan diode dalam keadaan *open circuit* jika dianalogikan seperti sakelar. Namun pada saat cahaya masuk, hambatan yang besar tadi dapat berubah menjadi kecil karena arus mengalir, sehingga kondisi ini dapat digunakan sebagai *close circuit* jika dianalogikan seperti sakelar (sumber: <http://diary-mybustanoel.com/2012/04/photodiode.html>).

B. Kerangka Berfikir

Penelitian ini untuk mencari pengaruh perubahan konsentrasi larutan asam, larutan basa dan larutan garam terhadap intensitas cahaya keluaran fiber optik plastik. Sebagaimana kita ketahui bahwa serat optik selain banyak digunakan dalam bidang komunikasi dan informasi data juga dapat digunakan sebagai sensor besaran fisis. Sumber cahaya yang digunakan yaitu Laser He-Ne yang dilewatkan pada serat optik plastik tipe SH 4001-1.3. Prinsip kerja serat optik ini menggunakan prinsip pembiasan dan pemantulan yang berhubungan dengan konsentrasi larutan dan juga tidak lepas dari indeks bias bahan.

Pada penelitian ini, perubahan konsentrasi larutan berpengaruh terhadap indeks bias larutan tersebut. Bagian tengah jaket dikelupas dan dicelupkan ke dalam *beaker glass* yang sudah terisi larutan dan dibentuk model U. 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 dari jenis larutan asam, larutan basa dan larutan garam terhadap intensitas cahaya keluaran fiber optik yang diterima oleh *receiver* kemudian diukur oleh multimeter digital. Selain itu, penelitian ini juga dapat diperoleh informasi mengenai pengaruh perubahan nilai konsentrasi larutan asam, larutan basa dan larutan garam terhadap nilai indeks bias dari larutan tersebut. Perlakuan *cladding* pada fiber optik tersebut dapat memanfaatkan atenuasi yang terjadi di dalam fiber optik dan memanfaatkan cahaya yang lolos dari fiber optik. Pelemahan intensitas cahaya yang terjadi pada penelitian ini, diharapkan dapat dikembangkan sebagai sensor untuk mengetahui nilai konsentrasi larutan suatu larutan.

BAB III

METODE PENELITIAN

A. Waktu dan Tempat Penelitian

1. Waktu Penelitian

Penelitian tentang Pengaruh Konsentrasi dan Jenis Larutan Asam, Basa dan Garam Terhadap Sensitivitas Fiber Optik dilakukan pada bulan Desember 2016 sampai dengan April 2017.

2. Tempat Penelitian

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

B. Variabel Penelitian

Variabel-variabel yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

1. Variabel bebas : besar konsentrasi larutan, jenis bahan terlarut.
2. Variabel terikat : tegangan keluaran yang diterima oleh multi-meter digital.
3. Variabel kontrol : volume larutan yang diamati, tegangan sumber, intensitas keluaran dari laser Helium-Neon, lebar pengelupasan jaket fiber optik, panjang fiber optik, bentuk lekukan pada fiber optik.

C. Alat dan Bahan Penelitian

1. Bahan

- a. Kabel fiber optik plastik tipe SH-4001-1-3.

- b. Air digunakan sebagai pelarut.
- c. Alkohol 70%
- d. Garam dapur
- e. Asam oksalat
- f. NaOH

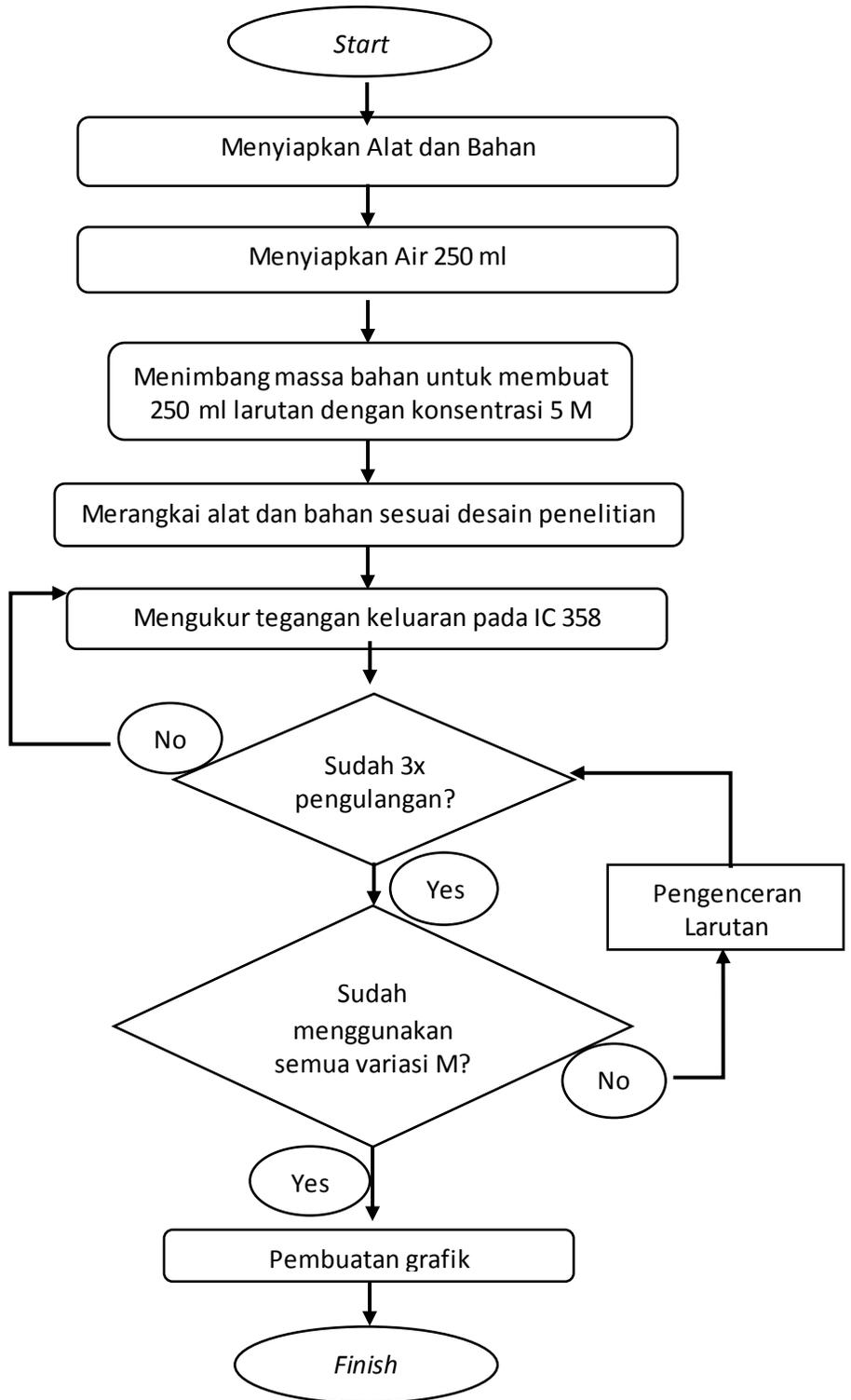
2. Alat

- a. Laser Helium-Neon yang digunakan sebagai sumber cahaya masukan fiber optik dengan daya keluaran 5 mW, tegangan keluaran 4.99 volt dan $\lambda = 632.8$ nm.
- b. IC 358, IC 7805, Resistor 10 k Ω , Photodiode digunakan sebagai detektor dalam rangkaian pengikut tegangan untuk mengetahui pelemahan intensitas cahaya yang terjadi di dalam FOP.
- c. Multimeter Digital digunakan sebagai alat ukur tegangan keluaran pada rangkaian.
- d. Timbangan Digital digunakan untuk menimbang massa bahan yang akan digunakan dalam penelitian.
- e. Gelas Ukur 250 ml digunakan untuk mengukur volume air yang akan digunakan.
- f. Gelas *Beaker* 1000 ml dan 2000 ml digunakan sebagai wadah larutan.
- g. Statip digunakan sebagai penyangga fiber optik.
- h. Refraktometer digunakan untuk mengukur indeks bias larutan.
- i. Gunting, amplas halus dan suntikan 60 ml.

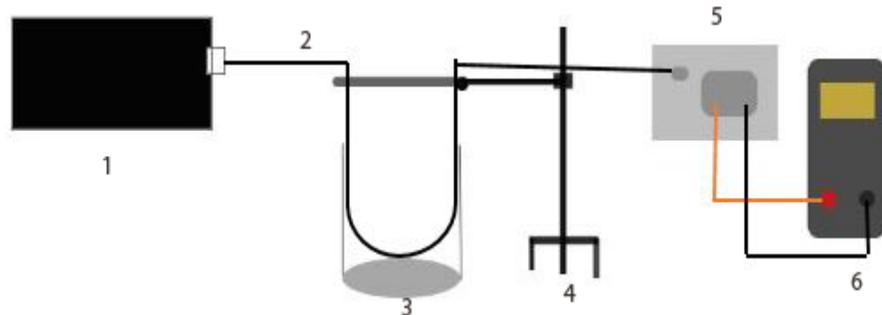
D. Desain Penelitian

Metode perancangan yang digunakan dalam menyusun penelitian ini meliputi:

1. Flow chart



2. Desain model sistem



Gambar 24. Desain model sistem

Keterangan:

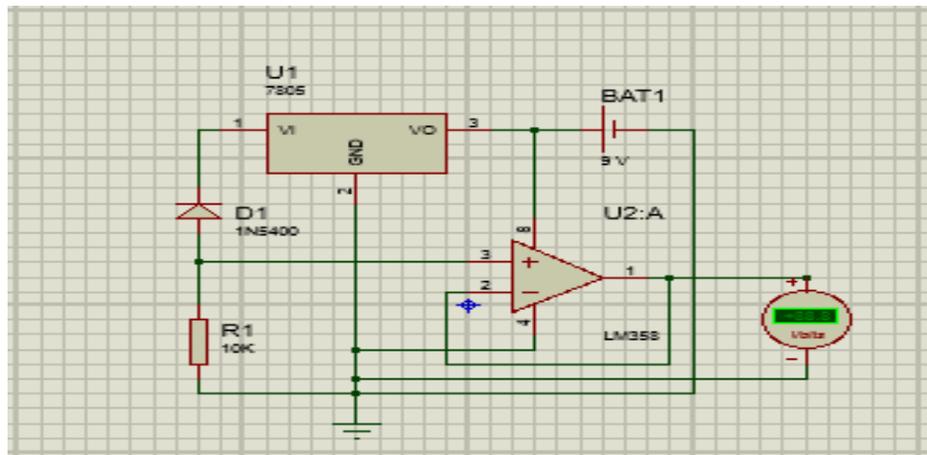
- 1) Laser Helium-Neon.
- 2) Fiber optik tipe SH-4001-1.3.
- 3) Gelas *beaker* 1000 ml.
- 4) Statip.
- 5) Rangkaian *receiver*.
- 6) Multimeter Digital.

3. Perancangan Perangkat Keras (*Hardware*)

Pada perancangan rangkaian *receiver*, dipilih fotodiode karena fotodiode adalah jenis diode yang berfungsi mendeteksi cahaya. Pemasangan fotodiode disusun seri dengan resistor dan dicatu dengan sumber tegangan DC. Pada sensor ini, fotodiode dan FOP dipasang sejajar. Cara kerja sensor ini yaitu ketika cahaya LED masuk fotodiode, kemudian sinyal diteruskan pada IC LM358. Keluaran dari fotodiode ini dikuatkan menggunakan IC LM358 yang dioperasikan sebagai penguat operasional tak membalik (*non inverting amplifier*). Rangkaian ini menggunakan IC regulator LM 7805, IC ini berfungsi untuk menstabilkan tegangan output tetap 5 volt DC, walaupun tegangan inputnya berubah-ubah atau tidak stabil.

4. Perancangan Perangkat Lunak (*Software*)

Perangkat lunak keseluruhan berfungsi untuk mengecek dan mengontrol seluruh sistem yang dirancang dalam pembuatan rangkaian pengikut tegangan. Perancangan perangkat lunak menggunakan Proteus untuk membuat *schematic*.



Gambar 26. Skema rangkaian pengikut tegangan

E. Prosedur Penelitian

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

1. Fiber optik yang digunakan adalah FOP tipe SH-4001-1-3 dengan panjang 100 cm.
2. Melakukan pengukuran diameter FOP dengan menggunakan micrometer sekrup.
3. Untuk fiber optik yang digunakan terlebih dahulu dilakukan pengelupasan jaket selebar 4 cm sehingga terlihat *cladding*.
4. Pengamplasan pada ujung FOP sehingga didapatkan ujung yang halus dan rata.
5. Fiber optik dipasang pada statip dan direkatkan pada gelas *beaker* ukuran 1000 ml dengan model sistem U.

6. Menimbang massa bahan yang akan digunakan sebagai objek penelitian.
7. Membuat larutan bahan dengan molaritas 5 M di gelas *beaker* ukuran 2000 ml untuk menghindari terjadinya pergeseran dan perubahan bentuk fiber optik pada saat proses pembuatan larutan.
8. Memasukkan larutan yang sudah dibuat ke dalam gelas *beaker* 1000 ml dengan volume yang sama sebesar 250 ml pada setiap molaritas.
9. Salah satu ujung FOP diatur sehingga cahaya laser Helium-Neon masuk secara optimal ke dalam fiber optik.
10. Ujung FOP lainnya diletakkan di depan fotodiode pada rangkaian pengikut tegangan untuk mengetahui besarnya tegangan keluaran pada FOP.
11. Pada rangkaian *receiver*, fotodiode ditutup oleh bahan yang tidak tembus cahaya untuk mengurangi masuknya cahaya luar ke dalam fotodiode.
12. Mengukur tegangan keluaran FOP yang diterima oleh rangkaian pengikut tegangan.
13. Mengulangi langkah 6 sampai dengan 12 untuk molaritas yang berbeda yaitu 0.5 M, 1 M, 1.5 M, 2 M, 2.5 M, 3 M, 3.5 M, 4 M dan 4.5 M.
14. Mengulangi langkah 6 sampai dengan 13 untuk bahan lainnya.

F. Penentuan Indeks Bias Medium Larutan

1. Menyiapkan refraktometer dan larutan yang akan diukur indeks biasnya.
2. Mengatur suhu ruangan sebesar 20 °C.
3. Mengkalibrasi refraktometer menggunakan alkohol.
4. Meneteskan satu hingga dua tetes larutan yang akan ditentukan nilai indeks biasnya pada tempat sampel refraktometer.

5. Menutup prisma yang telah ditetesi sampel dengan perlahan.
6. Mengarahkan refraktometer ke arah sumber cahaya polikromatis.
7. Melakukan pengukuran dengan meneropong melalui lensa refraktometer ke arah sumber cahaya.
8. Membaca skala yang terlihat pada refraktometer (dalam satuan brix).
9. Mengkonversi satuan brix ke dalam indeks bias menggunakan tabel konversi brix ke indeks bias.
10. Membersihkan refraktometer menggunakan alkohol dan mengulangi langkah 4-9 untuk molaritas yang berbeda.
11. Membersihkan refraktometer menggunakan alkohol dan mengulangi langkah 4-10 untuk larutan yang berbeda.

G. Teknik Analisis Data

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

1. Cahaya yang bertransmisi pada FOP menggunakan laser He-Ne dan output FOP diterima oleh *receiver*.
2. Intensitas cahaya keluaran yang diterima oleh fotodiode kemudian dikonversi menjadi tegangan, kemudian nilai tegangan diukur oleh multimeter digital dan dicatat setiap perubahan molaritas.
3. Percobaan diulangi pada jenis larutan yang berbeda.
4. Membuat grafik hubungan antara perubahan tegangan keluaran (volt) terhadap konsentrasi larutan dengan menggunakan *software* Origin.
5. Semua perhitungan dalam analisis data menggunakan *software* Microsoft Excel.
6. Menghitung nilai sensitivitas dan linearitas untuk setiap perlakuan pada FOP.

BAB IV

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Dalam penelitian ini jenis serat optik yang digunakan yaitu fiber optik plastik (FOP) tipe SH-4001-1.3. Pada bab ini akan diuraikan hasil penelitian sesuai dengan urutan tujuan penelitian yang terdapat pada bagian pendahuluan. Hasil penelitian ini kemudian dibahas dengan mengacu pada hasil analisis data yang telah diperoleh dan memberikan interpretasi terhadap kecenderungan grafik yang muncul setelah data dianalisis.

A. Hasil Penelitian

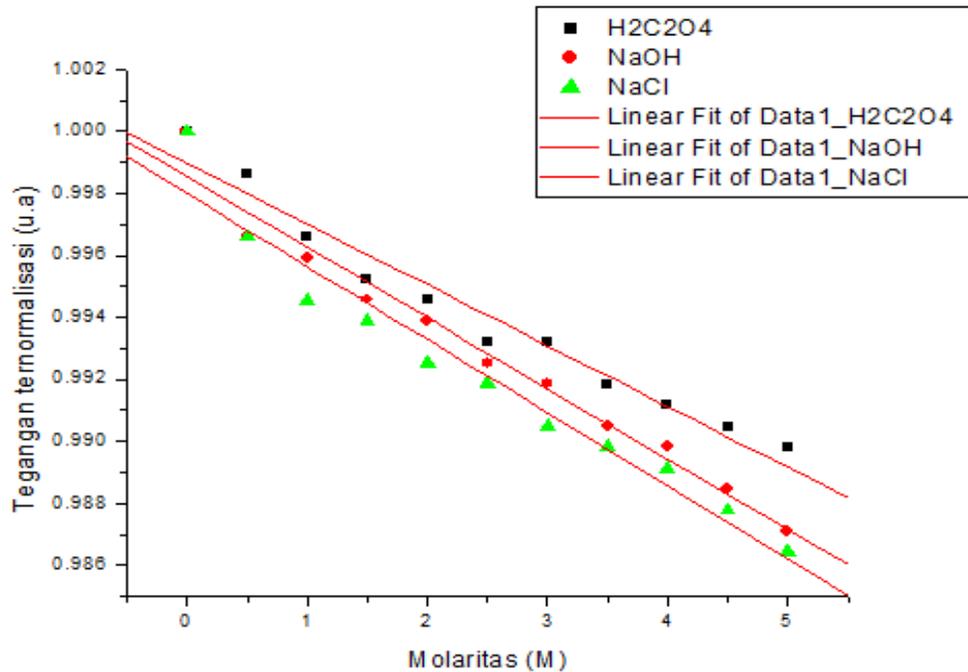
Setelah melakukan pengambilan data di laboratorium spektroskopi, dimana sumber cahaya yang digunakan adalah laser Helium-Neon dengan daya sebesar 5 mW dan panjang gelombang sebesar 632,8 nm yang ditransmisikan oleh FOP sehingga sinyal optik yang dihasilkan tersebut selanjutnya akan membawa informasi sampai ke *receiver*. *Receiver* yang digunakan yaitu fotodiode yang di pasang *reverse* pada rangkaian pengikut tegangan. Data hasil pengukuran tersebut berupa intensitas cahaya yang diterima oleh *receiver* yang kemudian dinyatakan dalam satuan volt. Alat ukur yang digunakan dalam penelitian yaitu multimeter digital.

Fiber optik yang digunakan adalah fiber optik plastik tipe SH-4001-1.3 yang terdiri dari *core*, *cladding* dan *buffer*. Bahan *core* yang digunakan adalah *Plymethyl-Methacrylate Resin* dengan diameter 980 μm dan memiliki indeks bias 1,49 serta bahan *cladding* yang digunakan adalah *Fluorinated Polymer* dengan diameter minimal 1000 μm dan memiliki indeks bias 1,41 (sumber: <http://www.i-fiberoptiks.com/fiber-detail.php?id=13>).

Variabel bebas dalam penelitian ini yaitu besar konsentrasi larutan dan jenis bahan terlarut. Bahan terlarut yang digunakan yaitu garam dapur (NaCl), asam oksalat ($\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$) dan natrium hidroksida (NaOH) dengan konsentrasi larutan

sebesar 0.5 M, 1 M, 1.5 M, 2 M, 2.5 M, 3 M, 3.5 M, 4 M, 4.5 M dan 5 M. Sedangkan variabel kontrol dalam penelitian ini yaitu volume larutan yang diamati, tegangan sumber dari *power supply*, intensitas keluaran dari laser Helium-Neon, lebar pengelupasan jaket fiber optik sepanjang 4 cm, fiber optik sepanjang 100 cm dan bentuk lekukan.

Berdasarkan hasil penelitian tersebut, maka diperoleh hasil penelitian seperti pada Gambar 26. Gambar tersebut menunjukkan grafik hubungan antara perubahan konsentrasi larutan dengan perbedaan bahan terlarut terhadap intensitas cahaya keluaran fiber optik yang dinyatakan dalam bentuk tegangan.



Gambar 26. Grafik Hubungan antara tegangan keluaran ternormalisasi (u.a) terhadap konsentrasi larutan asam oksalat ($H_2C_2O_4$), larutan natrium hidroksida (NaOH) dan larutan garam (NaCl).

Pada Gambar 26 diketahui bahwa ada perubahan intensitas cahaya keluaran pada fiber optik untuk setiap perlakuan dengan bahan terlarut yang berbeda. Hasil pengukuran yang diperoleh memiliki nilai gradien yang berbeda, dimana gradien

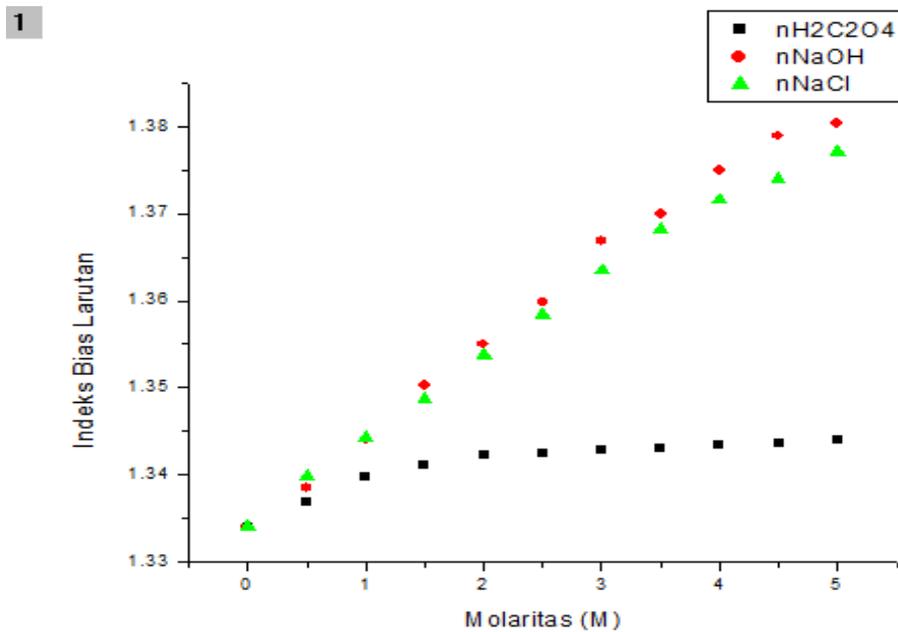
tersebut dapat mewakili sensitivitas fiber optik tersebut. Sensitivitas menunjukkan kepekaan sensor terhadap kuantitas yang diukur atau seberapa kecil sensor dapat mendeteksi perubahan besaran fisis pada sensor tersebut. Semakin besar perubahan keluaran dibandingkan unit perubahan masukan, maka semakin sensitif sensor tersebut.

Pada pengukuran awal, diperoleh nilai tegangan *transmitter* (laser Helium Neon) sebesar 4,99 V. Dari data yang telah diperoleh pada Lampiran 1, Lampiran 4 dan Lampiran 7 dapat diketahui bahwa intensitas cahaya mengalami pelemahan setelah ditransmisikan oleh fiber optik dengan perubahan konsentrasi larutan pada larutan asam, larutan basa maupun larutan garam. Nilai tegangan yang diperoleh kemudian dinormalisasi dengan tujuan untuk membandingkan nilai beberapa pengukuran yang dilakukan di lingkungan yang sama. Hal tersebut merupakan pendekatan matematis yang digunakan untuk meminimalkan pengulangan data. Normalisasi data dilakukan dengan cara membagi nilai tegangan yang diperoleh dengan nilai tegangan maksimum dari data hasil penelitian.

Perubahan nilai konsentrasi pada larutan asam oksalat ($H_2C_2O_4$), larutan natrium hidroksida (NaOH) dan larutan garam (NaCl) mengakibatkan perubahan nilai indeks bias larutan tersebut. Indeks bias pada masing-masing larutan diperoleh dengan pengukuran menggunakan *refractometer*. Hasil pengukuran yang diperoleh menggunakan alat ukur ini masih dalam satuan *degree brix*. Selanjutnya hasil pengukuran tersebut dikonversi ke dalam indeks bias menggunakan tabel indeks bias (Lampiran 11). Tabel 1 merupakan hasil perhitungan indeks bias pada masing-masing larutan:

Tabel 1. Indeks bias Larutan asam oksalat ($\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$), larutan natrium hidroksida (NaOH) dan larutan garam (NaCl)

Molaritas (M)	Indeks Bias		
	Larutan asam oksalat ($\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$)	Larutan natrium hidroksida (NaOH)	Larutan garam (NaCl)
0	1.3340	1.3340	1.3340
0.5	1.3368	1.3385	1.3398
1	1.3397	1.3441	1.3443
1.5	1.3411	1.3503	1.3487
2	1.3422	1.355	1.3537
2.5	1.3425	1.3598	1.3584
3	1.3428	1.3668	1.3635
3.5	1.3431	1.3699	1.3682
4	1.3434	1.3750	1.3716
4.5	1.3437	1.3789	1.3740
5	1.3440	1.3803	1.3771



Gambar 27. Grafik hubungan antara perubahan molaritas terhadap indeks bias larutan asam oksalat ($\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$), larutan natrium hidroksida (NaOH) dan larutan garam (NaCl)

B. Pembahasan

Pada penelitian ini mekanisme optik yang dilakukan pada FOP adalah dengan melakukan modulasi intensitas. Modulasi intensitas dilakukan dengan cara mengukur intensitas keluaran fiber optik dengan memodifikasi lingkungan di sekitar fiber optik dengan kupasan jaket sepanjang 4 cm yang dibentuk U dengan diameter (jarak antara *buffer* ke *buffer*) sebesar 9 cm. Penelitian sensor konsentrasi larutan berbasis FOP berbentuk U termasuk dalam klasifikasi sensor fiber optik intrinsik dimana FOP tersebut disamping sebagai pemandu cahaya sekaligus berperan sebagai proses pengindraan (*sensing*) konsentrasi larutan pada bagian FOP yang terkelupas jaketnya. Hasil penelitian ditunjukkan pada Gambar 27. Gambar tersebut menunjukkan intensitas cahaya keluaran FOP terhadap konsentrasi larutan untuk jenis dan nilai konsentrasi larutan yang berbeda. Interval waktu antara masing-masing pengukuran adalah 1 menit dengan pengamatan selama 1 menit.

Pada dasarnya penelitian ini mengukur besarnya intensitas cahaya keluaran FOP akibat adanya pemberian perlakuan berupa lekukan dan perubahan lingkungan di sekitar fiber optik. Berkurangnya intensitas cahaya pada fiber optik akibat perlakuan yang diberikan sesuai dengan karakteristik FOP yaitu serat optik akan mengalami pelemahan ketika mengalami pembengkokan atau pelapisan pada *cladding*.

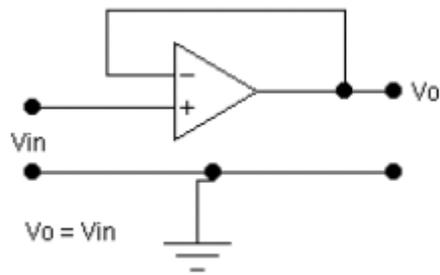
1. Perancangan Rangkaian Pengikut Tegangan

Pada rangkaian ini dipilih fotodioda karena fotodioda adalah jenis dioda yang berfungsi mendeteksi cahaya. Berbeda dengan diode biasa, komponen elektronika ini mengubah cahaya menjadi arus listrik. Cahaya yang dapat dideteksi oleh fotodioda ini mulai dari cahaya infra merah, cahaya tampak, ultra ungu sampai dengan sinar-X. Jika fotodioda terkena cahaya maka fotodioda bekerja seperti diode pada umumnya, tetapi jika tidak mendapat cahaya maka

photodiode berperan seperti resistor dengan nilai tahanan yang besar sehingga arus listrik tidak dapat mengalir sampai ke rangkaian pengikut tegangan (sumber: www.edukasi-elektronika.com).

Cara kerja rangkaian ini yaitu cahaya laser bertransmisi melalui fiber optik hingga akhirnya sampai diujung fiber optik kemudian diterima oleh photodiode. Pada saat cahaya masuk ke dalam photodiode hambatan photodiode berubah menjadi kecil sehingga arus yang mengalir pada photodiode menjadi besar dan menyebabkan V_{out} photodiode mendekati nol.

Tegangan sumber yang diberikan pada rangkaian ini sebesar 9 V. Pada rangkaian tersebut dipasang satu buah IC regulator 7805. IC ini berfungsi untuk menstabilkan tegangan *output* tetap 5 V DC, walaupun tegangan *input*nya berubah-ubah atau tidak stabil. Sehingga tegangan yang masuk ke dalam rangkaian sebesar 5 V.



Gambar 28. Untai pengikut tegangan

Sinyal dari photodiode tersebut kemudian diteruskan pada IC LM 358 yang dioperasikan sebagai penguat operasional tak membalik (*non inverting amplifier*). Dengan mengatur nilai variabel resistor, diperoleh besar penguatan tegangan sehingga dapat disesuaikan dengan besarnya tegangan yang diperlukan rangkaian pengikut tegangan. Rangkaian ini menggunakan resistor dengan nilai $10\text{k}\Omega$. Pada rangkaian tersebut, jalur input *inverting* dihubungkan ke jalur *output operasional amplifier* (op-amp) maka rangkaian tersebut akan memberikan kemampuan mengalirkan arus secara maksimal sesuai

kemampuan maksimal op-amp mengalirkan arus *output*. Dengan metode hubung singkat antara jalur *input inverting* dan jalur *output* op-amp maka diperoleh perhitungan matematis sebagai berikut :

Dengan $V_{in} = 4.99 V$ dan $V_{out} = 4.99 V$

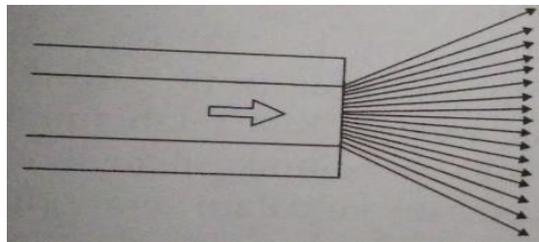
Maka,

$$Av = \frac{V_{out}}{V_{in}}$$
$$Av = \frac{4.99 V}{4.99 V}$$
$$Av = 1$$

Karena hasil penguatan tegangan 1 kali, maka besarnya tegangan *output* yang terukur dari IC LM 358 sama dengan tegangan *input* dari intensitas cahaya yang masuk ke *receiver*.

2. Perambatan Cahaya Pada Fiber Optik Plastik (FOP) dengan Diameter Lengkungan 9 cm

Dalam proses *sensing*, cahaya masuk ke dalam serat optik kemudian bertransmisi hingga ke ujung fiber dengan memanfaatkan prinsip pemantulan internal sempurna, dimana seberkas cahaya akan terus merambat di dalam serat optik apabila sudut datang dari cahaya tersebut lebih besar daripada sudut kritis antara *core* dan *cladding*.



Gambar 29. Jalur perambatan sinar pada fiber optik (Crisp dan Elliot, 2008: 35)

Pada kenyataannya, bentuk serat optik adalah silinder bulat dan bukannya persegi panjang dua dimensi seperti digambarkan di atas. Sehingga sinar datang

dalam gambar di atas adalah berbentuk kerucut dalam bentuk tiga dimensinya. Kerucut penerimaan ini merupakan kisaran nilai sudut datang untuk sebuah sinar serat optik yang masuk ke dalam serat optik, yang masih memungkinkannya untuk dapat merambat di dalam inti hingga mencapai *output*. Hal ini berarti, jika sebuah sinar masuk ke serat optik dengan sudut datang yang berada di luar kisaran nilai ini, maka sinar tersebut tidak akan keluar ujung serat optik atau akan hilang di tengah jalan. Perhitungan nilai sudut puncak kerucut penerimaan ini menggunakan persamaan *aperture numeric* (NA), dimana *aperture numeric* dari sebuah serat optik adalah parameter yang mengukur kemampuan serat optik untuk mengumpulkan atau memerangkap cahaya.

Untuk menghitung nilai NA maka dapat digunakan persamaan (11) sebagai berikut :

$$NA = \sqrt{(n_1^2 - n_2^2)}$$

$$NA = \sqrt{1,49^2 - 1,41^2}$$

$$NA = 0,48$$

Setelah didapatkan nilai *aperture numeric*, maka dapat diketahui nilai batas sudut penerimaan (θ_1) pada fiber optik yang memungkinkan cahaya masuk dan merambat di dalam inti fiber hingga mencapai *output* dengan persamaan sebagai berikut :

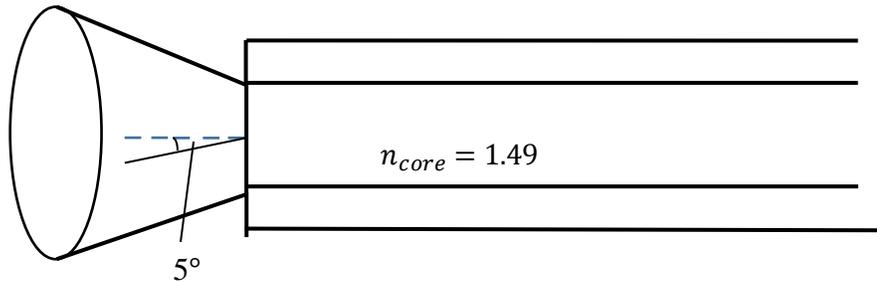
$$\theta_1 = \arcsin (NA)$$

$$\theta_1 = \arcsin(0,48)$$

$$\theta_1 = 28,79^\circ$$

Pemilihan sudut datang dengan nilai 5° dari udara ke *core* dilakukan agar cahaya dapat terpantul kembali ke dalam *core* saat serat optik berada pada

keadaan lurus dan pemantulan (*reflection*) dari lengkungan pertama dapat digunakan sebagai sudut datang untuk lengkungan selanjutnya.



Gambar 30. Sudut penerimaan

Kemudian untuk besarnya sudut datang (θ_2) cahaya yang masuk pada inti fiber optik dapat diperoleh dengan menggunakan persamaan hukum Snellius, dengan indeks bias udara bernilai 1 :

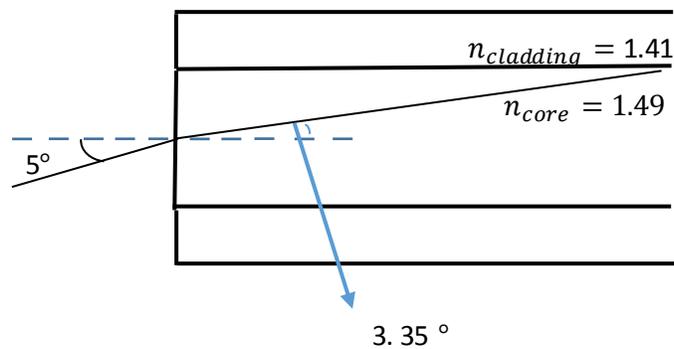
$$n_{udara} \sin \theta_1 = n_{inti} \sin \theta_2$$

$$n_0 \sin \theta_1 = n_1 \sin \theta_2$$

$$\theta_2 = \arcsin \left(\frac{n_0 \sin \theta_1}{n_2} \right)$$

$$\theta_2 = \arcsin \left(\frac{1 \sin 5^\circ}{1.49} \right)$$

$$\theta_2 = 3.35^\circ$$



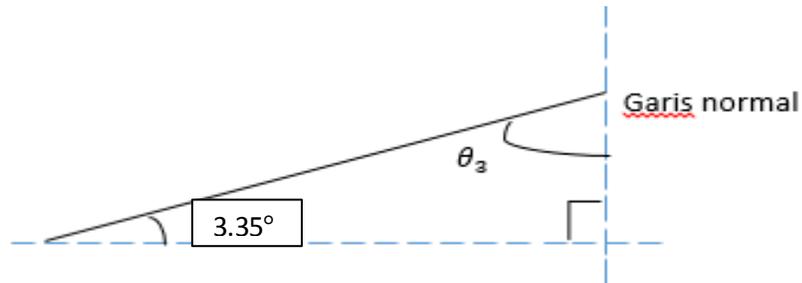
Gambar 31. Cahaya masuk ke inti

Gambar 31 menunjukkan bahwa cahaya laser akan memasuki inti dan terus bergerak hingga menuju perbatasan antara inti dan selubung. Garis sinar dan kedua garis normal membentuk sebuah bidang segitiga siku-siku. Sehingga besarnya sudut datang dalam bidang batas inti-selubung (θ_3) dapat diketahui dengan cara sebagai berikut:

$$\theta_3 = 180^\circ - 90^\circ - \theta_2$$

$$\theta_3 = 180^\circ - 90^\circ - 3.35^\circ$$

$$\theta_3 = 86.85^\circ$$



Gambar 32. Sudut datang di dalam bidang batas inti-selubung

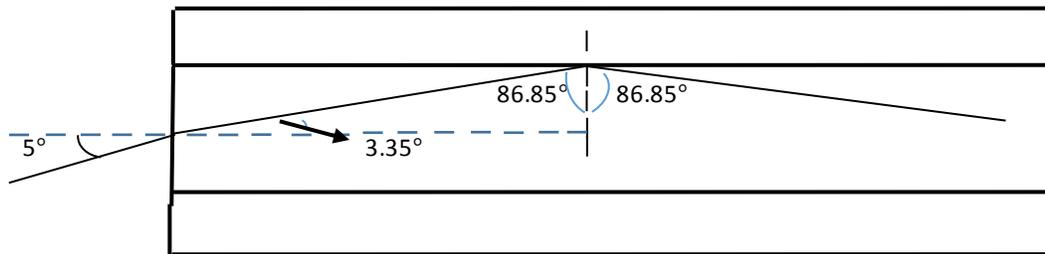
Pada saat fiber optik dalam keadaan lurus, maka garis normal akan tegak lurus pada bidang perbatasan. Setelah diketahui besar sudut datang dalam bidang batas inti-selubung (θ_3), maka selanjutnya adalah menentukan apakah sinar akan dipantulkan balik oleh perbatasan inti-selubung ataukah sinar tersebut dapat menembus ke dalam selubung dengan sudut datang sebesar 86.85° . Untuk dapat menentukannya, maka harus diketahui sudut kritis (θ_4) pada bidang perbatasan inti-selubung, yaitu dengan menggunakan persamaan :

$$\theta_4 = \arcsin \left(\frac{n_{selubung}}{n_{inti}} \right)$$

$$\theta_4 = \arcsin \left(\frac{1,41}{1,49} \right)$$

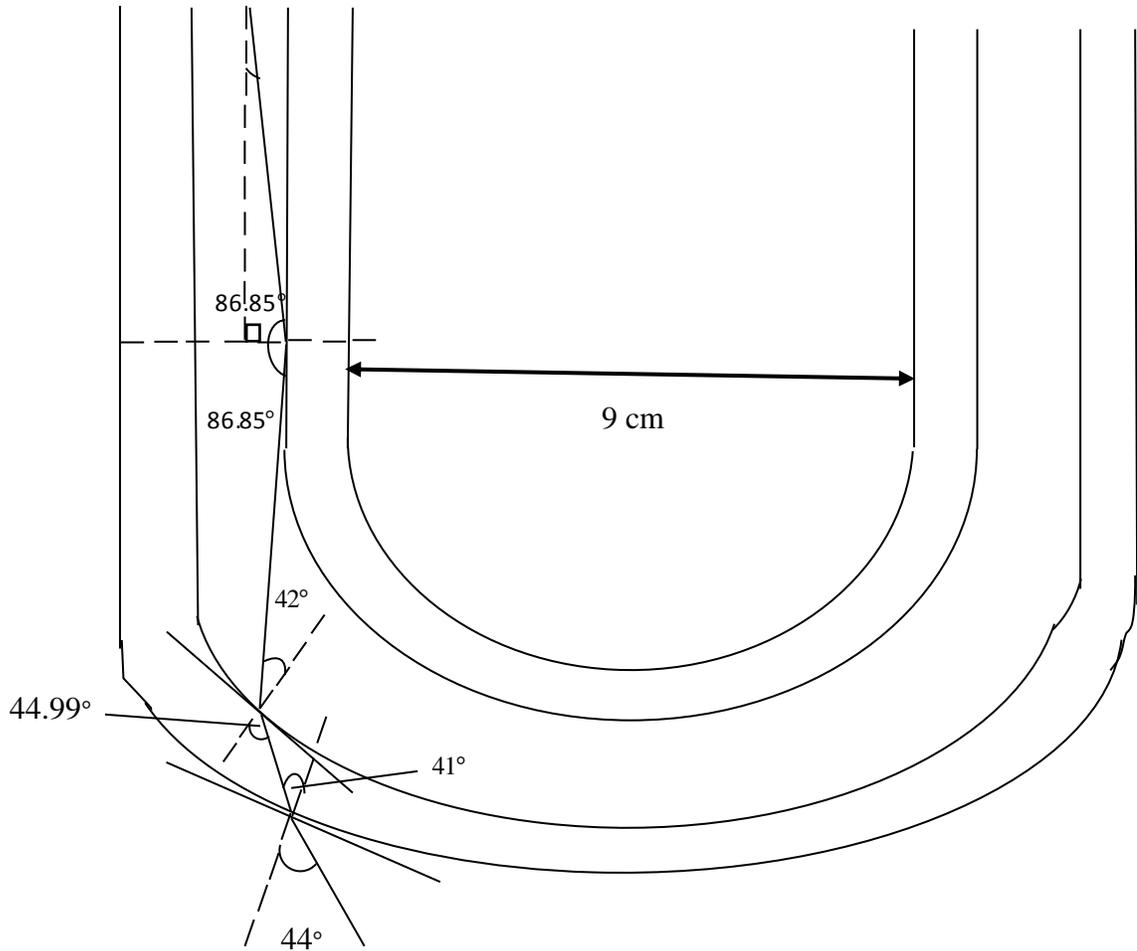
$$\theta_4 = 71,14^\circ$$

Dari hasil perhitungan tersebut, maka dapat disimpulkan bahwa sudut datang di dalam fiber optik lebih besar dari sudut kritis, sehingga cahaya akan dipantulkan kembali oleh bidang perbatasan inti-selubung ke dalam inti dengan nilai sudut pantul sama dengan nilai sudut datang, karena pada tahap ini terjadi proses pemantulan internal sempurna.



Gambar 33. Pemantulan cahaya dalam inti

Sudut datang (θ_3) sebesar 86.85° mengenai bidang lengkung berbentuk U. Lengkungan diasumsikan dengan bentuk setengah lingkaran dengan diameter 9 cm (jarak antara mantel ke mantel) seperti yang ditunjukkan pada Gambar 34.



Gambar 34. Perambatan cahaya pada bidang lengkung U dari inti ke selubung

Dalam membuat garis normal pada bidang batas inti-selubung, terlebih dahulu menggambar garis singgung dari sinar datang pada bidang batas tersebut, dan selanjutnya garis normal berada pada posisi tegak lurus terhadap garis singgung tersebut. Dari hal tersebut maka dapat diketahui nilai sudut datang pada bidang perbatasan inti-selubung θ_5 sebesar 42° .

Jika cahaya mengenai suatu bahan dengan indeks bias berbeda, maka akan terjadi dua hal, yaitu sebagian cahaya dipantulkan kembali ke medium pertama (inti) dan sebagian cahaya akan ditransmisikan ke medium selanjutnya (selubung). Pemantulan gelombang (refleksi) terjadi pada saat gelombang cahaya yang merambat di dalam inti sampai di bidang batas medium. Koefisien refleksi (R) adalah perbandingan intensitas cahaya yang dipantulkan dibandingkan intensitas cahaya yang datang pada bidang perbatasan. Nilai koefisien refleksi dipakai untuk mengetahui persentasi cahaya yang dipantulkan masuk ke dalam inti, kemudian cahaya hasil pemantulan tersebut mengalami perambatan kembali pada inti fiber optik dan sampai pada bidang perbatasan inti-selubung sehingga mengalami pemantulan dan pembiasan kembali, dan begitu seterusnya hingga cahaya sampai pada ujung fiber optik. Dalam proses analisis data, koefisien refleksi tersebut tidak dicari nilai kuantitatifnya pada ujung keluaran fiber optik, koefisien refleksi ini digunakan untuk mengindikasikan besarnya cahaya yang dapat dipantulkan oleh bidang batas medium.

$$R_{\perp} = \frac{(n_1 \cos \theta_5 - \sqrt{n_2^2 - n_1^2 \sin^2 \theta_5})^2}{(n_1 \cos \theta_5 + \sqrt{n_2^2 - n_1^2 \sin^2 \theta_5})^2}$$

$$R_{\perp} = \frac{(1.49 \cos 42^\circ - \sqrt{1.41^2 - 1.49^2 \sin^2 42^\circ})^2}{(1.49 \cos 42^\circ + \sqrt{1.41^2 - 1.49^2 \sin^2 42^\circ})^2}$$

$$R_{\perp} = 0.1234$$

$$R_{\perp} = 12.34 \%$$

Koefisien pemantulan komponen medan listrik tegak lurus bidang gambar R_{\perp} sebesar 12.34 %

$$R_{\parallel} = \frac{(n_2 \cos \theta_5 - n_1/n_2 \sqrt{n_2^2 - n_1^2 \sin^2 \theta_5})^2}{(n_2 \cos \theta_5 + n_1/n_2 \sqrt{n_2^2 - n_1^2 \sin^2 \theta_5})^2}$$

$$R_{\parallel} = \frac{(1.41 \cos 42^\circ - 1.49/1.41 \sqrt{1.41^2 - 1.49^2 \sin^2 42^\circ})^2}{(1.41 \cos 42^\circ + 1.49/1.41 \sqrt{1.41^2 - 1.49^2 \sin^2 42^\circ})^2}$$

$$R_{\parallel} = 0.0763$$

$$R_{\parallel} = 7.63 \%$$

Koefisien pemantulan komponen medan listrik sejajar bidang gambar R_{\parallel} sebesar 7.63 %

Untuk lengkungan dengan sudut penerimaan (udara ke inti) sebesar 5° , maka koefisien pemantulan komponen medan listrik tegak lurus bidang gambar (R_{\perp}) sebesar 12.34% dan sejajar bidang gambar (R_{\parallel}) sebesar 7.63%. Jika sudut datang inti ke selubung semakin kecil maka akan mengakibatkan koefisien pemantulan menjadi lebih kecil.

Karena sudut datang (42°) lebih kecil daripada sudut kritis inti-selubung (71.13°) maka cahaya akan dibiaskan ke selubung dengan sudut tertentu. Karena sudut datang inti-selubung sudah diketahui, maka dapat ditentukan nilai sudut bias dengan menggunakan hukum Snellius.

$$n_1 \sin \theta_5 = n_2 \sin \theta_6$$

$$\theta_6 = \arcsin\left(\frac{1.49 \sin 42^\circ}{1.41}\right)$$

$$\theta_6 = 44.99^\circ$$

Pada keadaan ini dilakukan perhitungan sudut kritis kembali antara selubung dengan larutan untuk mengetahui apakah cahaya yang menuju bidang batas antara selubung-larutan tersebut akan dipantulkan kembali ke dalam

selubung atau dibiaskan ke larutan. Dengan mengontrol volume larutan yang diamati di dalam gelas *beaker*, tegangan sumber dari *power supply*, intensitas keluaran dari laser Helium-Neon, lebar pengelupasan jaket sepanjang 4 cm, serat optik sepanjang 100 cm dan bentuk lekukan fiber optik berbentuk U maka perubahan nilai intensitas cahaya keluaran yang terukur pada saat penelitian dipengaruhi oleh keadaan lingkungan yang berbeda dengan jenis dan nilai konsentrasi yang berbeda. Hasil perhitungan nilai sudut kritis antara selubung dan larutan asam oksalat ($H_2C_2O_4$), larutan natrium hidroksida (NaOH) serta larutan garam (NaCl) secara berturut-turut dapat dilihat pada Tabel 2, Tabel 3 dan Tabel 4.

Cahaya yang mengenai bidang batas antara selubung dan air diukur dengan menggunakan busur sehingga dapat diketahui sudut datang cahaya (θ_7) pada bidang perbatasan tersebut sebesar 41° . Cahaya yang mengenai bidang batas antara selubung dan air memiliki pemantulan sebesar:

$$R_{\perp} = \frac{(n_2 \cos \theta_7 - \sqrt{n_3^2 - n_2^2 \sin^2 \theta_7})^2}{(n_2 \cos \theta_7 + \sqrt{n_3^2 - n_2^2 \sin^2 \theta_7})^2}$$

$$R_{\perp} = \frac{(1.41 \cos 41^\circ - \sqrt{1.3340^2 - 1.41^2 \sin^2 41^\circ})^2}{(1.49 \cos 42^\circ + \sqrt{1.3340^2 - 1.41^2 \sin^2 41^\circ})^2}$$

$$R_{\perp} = 0.1218$$

$$R_{\perp} = 12.18 \%$$

Koefisien pemantulan komponen medan listrik tegak lurus bidang gambar R_{\perp} sebesar 12.18 %

$$R_{\parallel} = \frac{(n_3 \cos \theta_7 - n_2/n_3 \sqrt{n_3^2 - n_2^2 \sin^2 \theta_7})^2}{(n_3 \cos \theta_7 + n_2/n_3 \sqrt{n_3^2 - n_2^2 \sin^2 \theta_7})^2}$$

$$R_{\parallel} = \frac{\left(1.3330 \cos 41^{\circ} - 1.41 / 1.3340 \sqrt{1.3340^2 - 1.41^2 \sin 41^{\circ}}\right)^2}{\left(1.3330 \cos 41^{\circ} + 1.41 / 1.3340 \sqrt{1.3340^2 - 1.41^2 \sin 41^{\circ}}\right)^2}$$

$$R_{\parallel} = 0.0714$$

$$R_{\parallel} = 7.14 \%$$

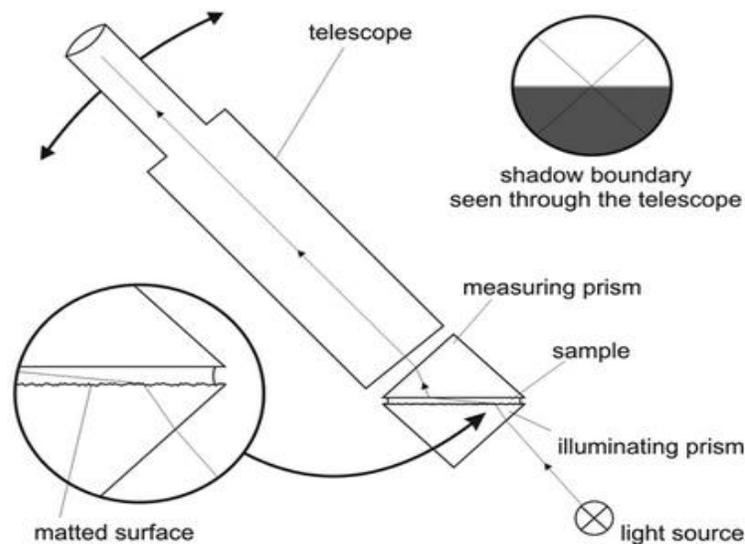
Koefisien pemantulan komponen medan listrik sejajar bidang gambar R_{\parallel} sebesar 7.14 %

Berdasarkan prinsip pemantulan dan pembiasan cahaya, jika sudut datang lebih kecil dari sudut kritis, maka cahaya tidak dipantulkan secara sempurna melainkan lebih banyak dibiaskan keluar dari inti serat optik. Sedangkan untuk sinar yang membentuk sudut datang lebih besar dari sudut kritis, cahaya akan dipantulkan kembali masuk ke dalam selubung seperti halnya prinsip pemantulan total.

3. Prinsip Kerja Refraktometer

Refraktometer merupakan alat ukur yang memanfaatkan fenomena pembiasan cahaya. Refraktometer mengukur indeks bias suatu zat yang merupakan karakteristik optiknya dan jumlah partikel terlarut di dalamnya. Indeks bias adalah rasio kecepatan cahaya di ruang hampa terhadap kecepatan cahaya dalam suatu zat ketika cahaya berpindah dari ruang hampa ke zat tersebut. Dalam pengukuran indeks bias larutan, peneliti menggunakan refraktometer tipe Atago 2340 HSR-500 yang dapat digunakan untuk berbagai aplikasi pengukuran Brix. Sebuah refraktometer Brix mengukur indeks bias larutan dalam sampel, mengubahnya menjadi konsentrasi gula dalam satuan persen berat (% Brix, juga dikenal sebagai derajat Brix) dan menampilkan hasilnya. Refraktometer dapat bekerja dengan menggunakan cahaya putih.

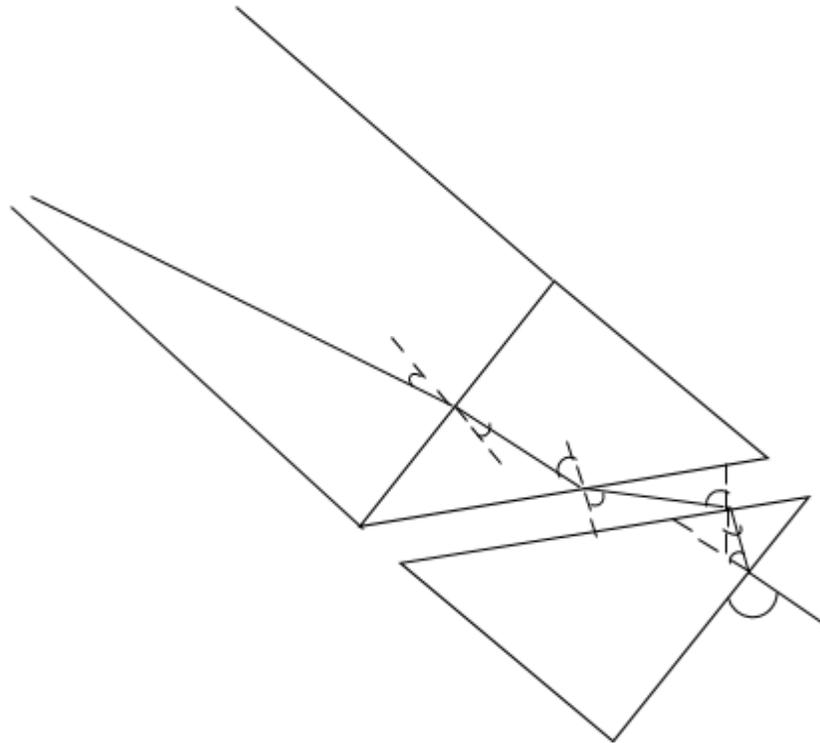
Prinsip kerja refraktometer didasarkan pada sudut kritis, dimana sudut kritis diantara dua medium yang menghasilkan sudut bias sama dengan 90° . Refraktometer ini terdiri dari dua buah prisma dimana sampel yang akan diukur indeks biasnya diletakkan diantara kedua prisma ini. Fungsi dari masing-masing prisma tersebut yaitu sebagai prisma pengukuran (*measuring prism*) atau sering juga disebut sebagai prisma pembias (*refracting*) dan yang lainnya sebagai prisma memperjelas (*illuminating*). Prisma pembiasan terbuat dari kaca dengan nilai indeks bias besar. Ketika sumber cahaya polikromatis dilewatkan pada *illuminating prism* yang memiliki permukaan bawah kasar, sehingga setiap titik di permukaan ini dapat dianggap menghasilkan cahaya yang bergerak ke segala arah,



Gambar 35. Prinsip kerja refraktometer (sumber: <http://www.refractometer.pl/Abbe-refractometer>)

Cahaya yang keluar dari *illuminating prism* kemudian akan menjadi sinar datang ke *refracting prism*. Cahaya yang memasuki *refracting prism* akan memiliki sudut bias yang lebih kecil. Dalam percobaan ini akan terlihat garis batas gelap dan terang yang terbentuk dari hasil pembiasan cahaya yang melalui dua buah prisma dan sampel yang akan diukur indeks biasnya. Semakin kecil

nilai indeks bias yang diukur maka sudut bias akan semakin besar karena adanya perbedaan besar indeks bias antara prisma dan sampel, sehingga daerah gelap akan semakin lebar. Sedangkan semakin besar nilai indeks bias yang diukur maka sudut bias akan semakin kecil karena semakin kecil perbedaan indeks bias antara prisma dan sampel, sehingga daerah gelap yang terbentuk akan semakin kecil. Pada Gambar 36 menunjukkan perambatan cahaya pada refraktometer. Penempatan dua prisma buah prisma yang disusun secara terbalik dan berdekatan dengan tujuan agar pembiasan sinar putih (polikromatik) yang digunakan sebagai sumber cahaya yang terdiri atas beberapa sinar warna yang memiliki panjang gelombang berbeda pada titik fokus yang berbeda dapat dihilangkan.



Gambar 36. Perambatan cahaya pada refraktometer

4. Proses Perambatan Cahaya Pada Fiber Optik Plastik (FOP) Ketika Melalui Zat Cair Pengganti Mantel (*Buffer*)

Dalam penelitian ini, perlakuan pada fiber optik plastik berupa penempatan fiber optik ke dalam suatu wadah yang berisi zat cair pengganti mantel (*buffer*) dengan fiber optik dibentuk model U. Zat cair tersebut berupa larutan asam oksalat ($\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$), larutan natrium hidroksida (NaOH) dan larutan garam (NaCl). Pengamatan dilakukan dengan menempatkan fiber optik di dalam gelas *beaker* dan kemudian dibentuk model U dan direkatkan pada samping kanan dan kiri dengan menggunakan perekat. Bagian tengah dari mantel fiber optik plastik yang dimasukkan ke dalam gelas *beaker* dikelupas sepanjang 4 cm. Pengamatan ini dilakukan dengan memvariasi nilai konsentrasi larutan dari jenis larutan asam oksalat ($\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$), larutan natrium hidroksida (NaOH) dan larutan garam (NaCl).

Proses perubahan nilai konsentrasi larutan dilakukan dengan cara pengenceran, yaitu dengan penambahan zat pelarut ke dalam zat terlarut. Zat pelarut yang dipakai dalam penelitian ini yaitu air kran lantai 2 Laboratorium Fisika. Sedangkan zat terlarut terdiri dari asam oksalat ($\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$), natrium hidroksida (NaOH) dan garam dapur (NaCl). Pada prinsipnya, variasi kemolaran ini digunakan sebagai pengganti mantel yang terkelupas. Semakin besar kemolaran semakin banyak pula zat terlarut di dalam pelarutnya. Untuk mengukur indeks bias larutan dengan konsentrasi 0 M hanya digunakan zat pelarut kemudian diukur nilai indeks biasnya dengan menggunakan *refractometer*. Selanjutnya untuk menentukan nilai konsentrasi larutan asam oksalat ($\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$), larutan natrium hidroksida (NaOH) dan larutan garam (NaCl) digunakan persamaan seperti pada persamaan (10) sebagai berikut:

$$M = \frac{G}{Mr} \cdot \frac{1000}{V(\text{mL})}$$

Untuk larutan asam oksalat ($\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$):

$$5 M = \frac{G}{90} \cdot \frac{1000}{250}$$

$$G = 112,5 \text{ gram}$$

Untuk larutan natrium hidroksida (NaOH):

$$5 M = \frac{G}{40} \cdot \frac{1000}{250}$$

$$G = 50 \text{ gram}$$

Untuk larutan garam (NaCl):

$$5 M = \frac{G}{58,5} \cdot \frac{1000}{250}$$

$$G = 73,125 \text{ gram}$$

Maka massa asam oksalat, natrium hidroksida dan garam yang dicampurkan ke dalam zat pelarut sebanyak 250 ml untuk membuat larutan dengan nilai konsentrasi 5 M secara berturut-turut yaitu 112,5 gram, 50 gram dan 73,125 gram. Hasil perhitungan penambahan volume zat pelarut ke dalam zat terlarut untuk mendapatkan nilai molaritas dari 4.5 M hingga 0.5 M dapat dilihat pada Lampiran 10.

Perubahan molaritas pada larutan asam oksalat ($\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$), larutan natrium hidroksida (NaOH) dan larutan garam (NaCl) mengakibatkan perubahan nilai indeks bias masing-masing larutan tersebut. Semakin besar nilai konsentrasi larutan maka akan semakin banyak zat terlarut yang ada di dalam pelarutnya, sehingga kerapatan mediumnya akan semakin besar. Ketika cahaya merambat di dalam suatu bahan yang jernih, kecepatannya akan turun sebesar suatu faktor yang ditentukan oleh karakteristik bahan yang dilaluinya. Bertambahnya kerapatan medium suatu bahan sehingga menyebabkan kecepatan cahaya yang merambat melalui medium tersebut menjadi semakin kecil sehingga nilai indeks bias bahan tersebut semakin besar. Pengukuran nilai indeks bias dilakukan di laboratorium Spektroskopi pada suhu 20°C dengan menggunakan *refractometer*. Nilai indeks bias yang terukur dapat dilihat pada Tabel 1. Nilai

tersebut menunjukkan bahwa semua larutan yang digunakan sebagai pengganti mantel memiliki nilai indeks bias yang lebih kecil dibandingkan dengan nilai indeks bias selubung dan inti fiber optik yang digunakan. Selubung dan inti memiliki indeks bias 1.41 dan 1.49.

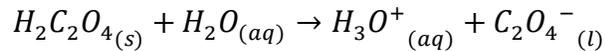
Komponen yang menjadi bahan pertimbangan dalam mendesain penelitian ini salah satunya yaitu rugi-rugi transmisi serat optik (*attenuation*). Besarnya penurunan sinyal tergantung pada gangguan maupun tambahan pada serat optik, salah satunya yaitu dengan lekukan dan penempatan fiber optik di dalam zat cair serta adanya pengelupasan mantel. Rugi-rugi pada serat optik merupakan pelemahan intensitas cahaya dari cahaya yang ditransmisikan mulai dari pemancar sampai pada *receiver*.

Perubahan konsentrasi larutan tersebut mengakibatkan turunnya intensitas cahaya yang ditangkap oleh *receiver* karena kenaikan atenuasi yang terdeteksi di ujung serat optik. Hal tersebut berpengaruh terhadap proses pemantulan internal sempurna. Namun, cahaya masih bisa diteruskan dan merambat hingga sampai ujung serat optik, sehingga intensitas cahaya ini mengalami perubahan setiap perlakuan fiber optik pada pemberian larutan asam, larutan basa maupun larutan garam. Hal ini terjadi karena ketika perubahan kondisi lingkungan di sekitar fiber optik pada daerah *sensing* digantikan oleh larutan asam, larutan basa, maupun larutan garam terjadi perubahan besaran optis yaitu indeks biasnya.

Indeks bias inti dan selubung fiber optik sangat berpengaruh pada nilai sudut kritis, maka untuk menghitung nilai sudut kritis dengan menggunakan Tabel 1. Tabel 2 merupakan nilai sudut kritis pada variasi jenis larutan. FOP pada tabel di bawah merupakan fiber optik plastik tanpa dimasukkan ke dalam larutan dan tanpa mengalami pengelupasan. Berikut merupakan macam-macam zat terlarut yang dipakai sebagai pengganti mantel:

a. Asam Oksalat ($H_2C_2O_4$)

Asam Oksalat tergolong salah satu jenis asam lemah. Asam oksalat paling sederhana ini biasa digambarkan dengan rumus $H_2C_2O_4 \rightarrow H_2^+ + C_2O_4^-$. Reaksi antara asam Oksalat dan air adalah sebagai berikut:



Hasil perhitungan sudut kritis pada daerah kupasan fiber optik yang dimasukkan ke dalam larutan asam oksalat dengan perubahan molaritas dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Nilai sudut kritis pada larutan asam oksalat ($H_2C_2O_4$).

Molaritas (M)	n inti	n selubung	n lingkungan	Sudut kritis inti-selubung (°)	Sudut kritis selubung-lingkungan (°)
0	1.49	1.41	1.3340	71.1395	71.1024
0.5	1.49	1.41	1.3368	71.1395	71.4569
1	1.49	1.41	1.3397	71.1395	71.8311
1.5	1.49	1.41	1.3411	71.1395	72.0145
2	1.49	1.41	1.3422	71.1395	72.1598
2.5	1.49	1.41	1.3425	71.1395	72.1996
3	1.49	1.41	1.3428	71.1395	72.2396
3.5	1.49	1.41	1.3431	71.1395	72.2796
4	1.49	1.41	1.3434	71.1395	72.3197
4.5	1.49	1.41	1.3437	71.1395	72.3599
5	1.49	1.41	1.3440	71.1395	72.4001

Berdasarkan nilai sudut kritis pada Tabel 2, maka sebagian cahaya akan dipantulkan masuk ke dalam selubung dan sebagian lainnya akan dibiaskan ke larutan, karena nilai sudut kritis selubung-lingkungan lebih besar dibandingkan dengan sudut datang cahaya pada daerah perbatasan selubung-lingkungan sehingga terjadi pelemahan intensitas cahaya yang diterima *receiver*. Dengan variabel kontrol yang telah ditetapkan maka perubahan nilai intensitas cahaya keluaran yang terukur pada saat penelitian

dipengaruhi oleh keadaan lingkungan yang berbeda dengan jenis dan nilai konsentrasi yang berbeda.

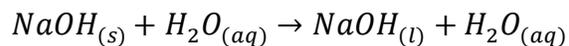
b. Natrium Hidroksida (NaOH)

Natrium hidroksida (NaOH) merupakan salah satu jenis basa kuat. Basa kuat sama halnya dengan asam kuat, dimana dalam larutannya dianggap terionisasi sempurna. Basa kuat akan mengakibatkan kesetimbangan air bergeser ke kiri karena adanya ion OH^- yang berasal dari basa yang terlarut tersebut. Natrium hidroksida sangat larut dalam air dan akan melepaskan panas ketika dilarutkan, karena pada proses pelarutannya dalam air bereaksi secara eksotermis. Sehingga pada saat pelarutan natrium hidroksida, larutan tersebut didiamkan selama beberapa menit menunggu hingga suhu larutan tersebut turun, sehingga tidak ada perbedaan suhu antara larutan natrium hidroksida dengan larutan lainnya yang akan menyebabkan adanya perlakuan tambahan pada larutan natrium hidroksida.

Natrium Hidroksida dapat dituliskan dengan reaksi:



Reaksi antara natrium hidroksida (NaOH) dan air adalah sebagai berikut:



Hasil perhitungan sudut kritis pada daerah kupasan fiber optik yang dimasukkan ke dalam larutan natrium hidroksida dengan perubahan molaritas dapat dilihat pada Tabel 3.

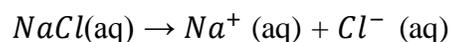
Tabel 3. Nilai sudut kritis pada larutan natrium hidroksida (NaOH).

Molaritas (M)	n inti	n selubung	n lingkungan	Sudut kritis inti-selubung (°)	Sudut kritis selubung-lingkungan (°)
0	1.49	1.41	1.3340	71.1395	71.1024
0.5	1.49	1.41	1.3368	71.1395	71.6754
1	1.49	1.41	1.3397	71.1395	72.4136
1.5	1.49	1.41	1.3411	71.1395	73.2675
2	1.49	1.41	1.3422	71.1395	73.9442
2.5	1.49	1.41	1.3425	71.1395	74.6652
3	1.49	1.41	1.3428	71.1395	75.7805
3.5	1.49	1.41	1.3431	71.1395	76.3027
4	1.49	1.41	1.3434	71.1395	77.2072
4.5	1.49	1.41	1.3437	71.1395	77.9448
5	1.49	1.41	1.3440	71.1395	78.2193

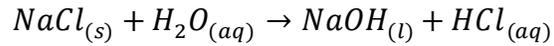
Berdasarkan nilai sudut kritis pada Tabel 3, maka sebagian cahaya akan dipantulkan masuk ke dalam selubung dan sebagian lainnya akan dibiaskan ke larutan, karena nilai sudut kritis selubung-lingkungan lebih besar dibandingkan dengan sudut datang cahaya pada daerah perbatasan selubung-lingkungan, sehingga terjadi pelemahan intensitas cahaya yang diterima *receiver*. Dengan variabel kontrol yang telah ditetapkan maka perubahan nilai intensitas cahaya keluaran yang terukur pada saat penelitian dipengaruhi oleh keadaan lingkungan yang berbeda dengan jenis dan nilai konsentrasi yang berbeda.

c. Garam (NaCl)

Garam merupakan suatu senyawa ion, yang terdiri dari kation logam dan anion sisa asam. Di dalam air NaCl terdapat sebagai ion – ion yang terpisah. Berdasarkan persamaan reaksi:



Reaksi antara natrium klorida dan air adalah sebagai berikut:



Hasil perhitungan sudut kritis pada daerah kupasan fiber optik yang dimasukkan ke dalam larutan garam dengan perubahan molaritas dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Nilai sudut kritis pada larutan garam (NaCl)

Molaritas (M)	n inti	n selubung	n lingkungan	Sudut kritis inti-selubung (°)	Sudut kritis selubung-lingkungan (°)
0	1.49	1.41	1.3340	71.1395	71.1024
0.5	1.49	1.41	1.3368	71.1395	71.8442
1	1.49	1.41	1.3397	71.1395	72.4405
1.5	1.49	1.41	1.3411	71.1395	73.0432
2	1.49	1.41	1.3422	71.1395	73.7543
2.5	1.49	1.41	1.3425	71.1395	74.4516
3	1.49	1.41	1.3428	71.1395	75.2445
3.5	1.49	1.41	1.3431	71.1395	76.0140
4	1.49	1.41	1.3434	71.1395	76.5975
4.5	1.49	1.41	1.3437	71.1395	77.0249
5	1.49	1.41	1.3440	71.1395	77.5985

Berdasarkan nilai sudut kritis pada Tabel 4, maka sebagian cahaya akan dipantulkan masuk ke dalam selubung dan sebagian lainnya akan dibiaskan ke larutan, karena nilai sudut kritis selubung-lingkungan lebih besar dibandingkan dengan sudut datang cahaya pada daerah perbatasan selubung-lingkungan, sehingga terjadi pelemahan intensitas cahaya yang diterima *receiver*. Dengan variabel kontrol yang telah ditetapkan maka perubahan nilai intensitas cahaya keluaran yang terukur pada saat penelitian dipengaruhi oleh keadaan lingkungan yang berbeda dengan jenis dan nilai konsentrasi yang berbeda.

Besarnya intensitas cahaya laser He-Ne yang diterima fotodiode sebagai *receiver* yaitu sebesar 4.99 volt. Data hasil penelitian ini dapat dilihat pada Lampiran 1, Lampiran 4 dan Lampiran 7. Pelemahan terbesar terjadi ketika

nilai konsentrasi larutan sebesar 5 M dengan pelemahan sebesar 0.13 V sampai 0.15 V. Sedangkan pelemahan terkecil terjadi ketika nilai konsentrasi larutan sebesar 0 M dengan pelemahan sebesar 0.08 V. Nilai pelemahan yang terukur untuk perubahan nilai konsentrasi pada masing-masing larutan juga tidak jauh berbeda. Besarnya pelemahan setiap penambahan nilai konsentrasi larutan yaitu sekitar 0.01 V dengan pelemahan terbesar terjadi pada larutan garam (NaCl).

Pelemahan intensitas cahaya yang terjadi pada peristiwa lengkungan disebabkan karena *macrobend* (lekukan skala makro); jika fiber optik ditekuk maka dapat memunculkan pelemahan daya. Jika FOP berada pada keadaan lurus maka garis normal selalu mengarah tegak lurus terhadap bidang perbatasan inti-selubung. Namun jika FOP ditekuk, maka garis normal akan berubah arah mengikuti perubahan inti. Akibatnya sudut datang cahaya kini menjadi kurang dari sudut kritis dan mengakibatkan cahaya dapat keluar menembus inti dan keluar dari fiber optik. Perubahan intensitas cahaya yang diterima oleh *receiver* sesuai dengan konsentrasi larutan yang berubah-ubah.

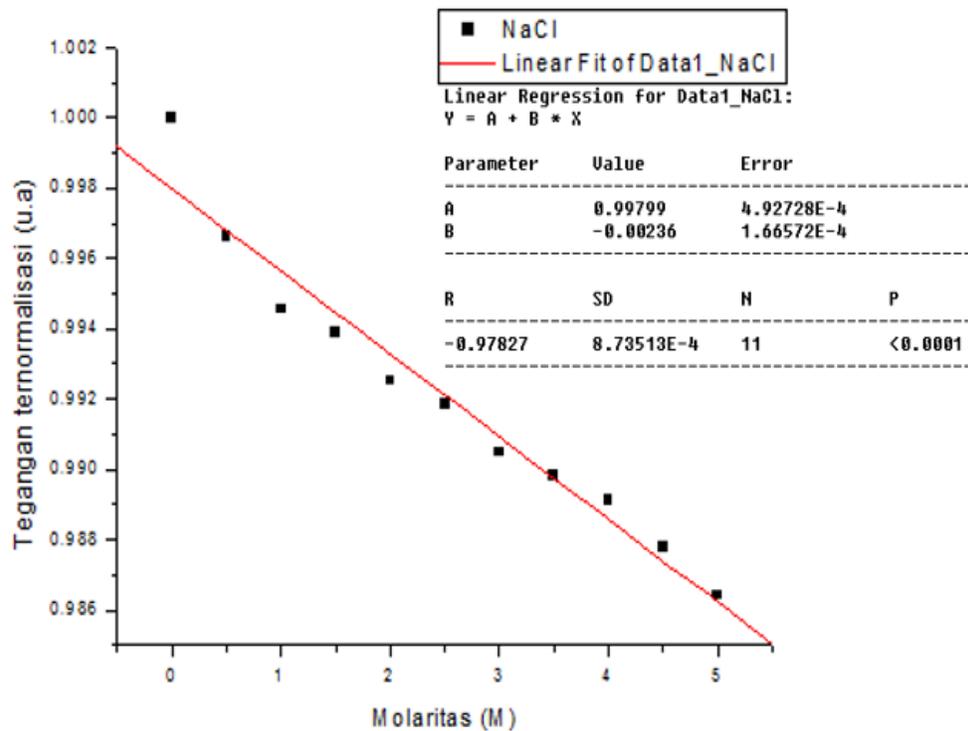
Pengelupasan jaket fiber optik juga akan mengakibatkan terjadinya pelemahan. Hal ini disebabkan karena fiber optik kehilangan fungsi utama dari jaket. Jaket berfungsi untuk melindungi fiber optik dari munculnya retakan-retakan awal pada permukaannya, sebuah lapisan plastik yang sangat lembut ditambahkan di bagian luar. Lapisan pembungkus tambahan ini disebut sebagai *buffer primer* (terkadang juga *coating* atau *buffer* saja), dan penggunaannya untuk memberikan perlindungan mekanis. Meskipun bagian ini tidak terlibat dalam proses transmisi cahaya di dalam fiber optik, namun dengan adanya perlakuan pada fiber optik dengan membentuk fiber optik menjadi berbentuk U, maka tidak dapat dipungkiri bahwa akan terjadi retakan akibat perlakuan tersebut. Dengan adanya pengelupasan jaket, maka tidak ada bagian yang akan

meminimalisir terjadinya retakan dalam fiber optik sehingga mengakibatkan pelemahan.

5. Sensitivitas dan Linearitas Sensor Fiber Optik Plastik (FOP) Ketika Melalui Zat Cair Pengganti Mantel (*Buffer*).

Dalam penelitian ini, perlakuan pada fiber optik plastik berupa penempatan fiber optik ke dalam suatu wadah yang berisi zat cair pengganti mantel (*buffer*) dengan fiber optik dibentuk model U menghasilkan tegangan keluaran yang berbeda setiap perubahan konsentrasi larutan, namun memiliki nilai yang mendekati untuk setiap konsentrasi larutan yang sama. Sensitivitas akan menunjukkan seberapa jauh kepekaan sensor terhadap kuantitas yang diukur. Sensitivitas merupakan perubahan pada output untuk setiap perubahan input terkecil. Untuk elemen linier, penentuan sensitivitas merupakan gradient ($\Delta y/\Delta x$). Nilai gradient (B) diperoleh dari *linear fit* data dengan menggunakan *software* Origin seperti yang terlihat pada Gambar 26. Tanda negatif pada gradien menunjukkan bahwa intensitas cahaya mengalami pelemahan. Semakin besar nilai gradien suatu grafik maka semakin besar pula pelemahan yang terjadi.

Nilai sensitivitas dapat dilihat dari hasil *pemfittingan* pada grafik menggunakan Origin seperti yang terlihat pada Gambar 26. Dari hasil tersebut, dapat terlihat bahwa fiber optik lebih sensitif ketika dimasukkan ke dalam larutan garam.



Gambar 37. Grafik hubungan antara tegangan keluaran ternormalisasi (u.a) terhadap konsentrasi larutan garam (NaCl)

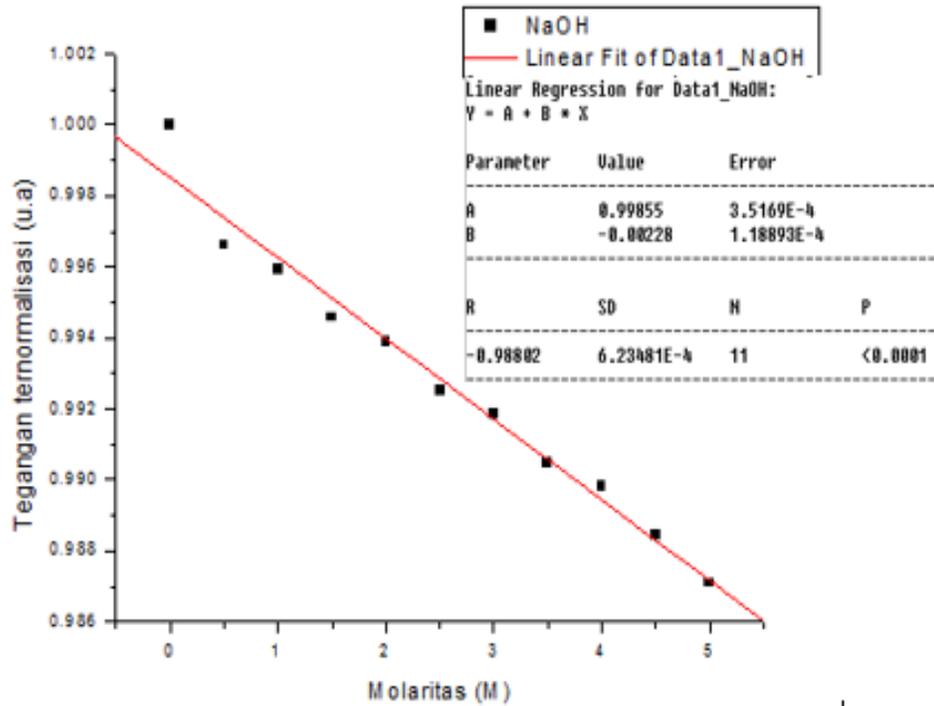
Dari beberapa perlakuan pada fiber optik, perlakuan menggunakan larutan garam memiliki sensitivitas yang lebih besar daripada larutan yang lain.

Tabel 5. Sensitivitas untuk setiap perlakuan fiber optik plastik.

Jenis Perlakuan	Sensitivitas (volt/M)	Urutan Sensitivitas
Larutan Asam (H ₂ C ₂ O ₄)	-0.0019 ± 0.0001	3
Larutan Basa (NaOH)	-0.0023 ± 0.0001	2
Larutan Garam (NaCl)	-0.0024 ± 0.0002	1

Ada banyak sensor yang menghasilkan sinyal keluaran yang berubah secara kontinu sebagai tanggapan terhadap masukan yang berubah secara kontinu, begitu pula dengan sensor fiber optik plastik (FOP) ketika melalui zat cair pengganti mantel (*buffer*). Uji linearitas bertujuan untuk mengetahui

apakah dua variabel mempunyai hubungan yang linear atau tidak. Linearitas ditentukan dalam persamaan garis lurus.



Gambar 38. Grafik hubungan antara tegangan keluaran ternormalisasi (u.a) terhadap konsentrasi larutan natrium hidroksida (NaOH)

Gambar 38 merupakan grafik hubungan antara tegangan keluaran ternormalisasi (u.a) terhadap konsentrasi larutan natrium hidroksida (NaOH) sebagai pengganti selubung dimana larutan natrium hidroksida memiliki nilai linearitas yang paling besar. Tabel 6 menunjukkan nilai linearitas untuk setiap perlakuan pada fiber optik dengan nilai mendekati harga 1. Jika linearitas (R) bernilai 1 artinya titik data berimpit dengan garis lurus.

Tabel 6. Linearitas untuk setiap perlakuan fiber optik plastik.

Jenis Perlakuan	Linearitas
Larutan Asam ($H_2C_2O_4$)	0.98231
Larutan Basa (NaOH)	0.98802
Larutan Garam (NaCl)	0.97827

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Setelah melakukan penelitian ini, maka dapat disimpulkan bahwa:

1. Lekukan pada FOP dapat mempengaruhi intensitas cahaya keluaran FOP karena sudut datang pada bidang batas inti-selubung lebih kecil dari sudut kritis sehingga ada cahaya yang dibiaskan menuju selubung.
2. Pemberian larutan dengan variasi perubahan konsentrasi larutan pada fiber optik plastik mempengaruhi intensitas keluaran cahaya. Semakin besar konsentrasi larutan, maka pelemahan intensitas cahaya keluaran FOP semakin besar. Sebaliknya semakin kecil konsentrasi larutan, maka pelemahan intensitas cahaya keluaran FOP semakin kecil, dengan selisih nilai atenuasi untuk setiap perubahan konsentrasi larutan 0.5 M rata-rata sebesar 0.003 V sampai 0.01 V.
3. Pemberian zat cair berupa larutan asam oksalat ($\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$), larutan natrium hidroksida (NaOH) dan larutan garam (NaCl) menimbulkan pengaruh pada *output* FOP karena adanya perbedaan pemantulan pada bahan pelapis, dengan menghasilkan perubahan intensitas cahaya keluaran FOP yang mendekati antar setiap larutan dengan selisih tegangan antara 0 V sampai 0.01 V pada setiap nilai konsentrasi yang sama.
4. Perubahan konsentrasi larutan pada larutan asam oksalat ($\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$), larutan natrium hidroksida (NaOH) dan larutan garam (NaCl) mengakibatkan perubahan nilai indeks bias. Semakin besar konsentrasi larutan akan semakin besar pula indeks biasnya karena larutan tersebut akan semakin rapat.

5. Sensitivitas terbaik terdapat pada larutan garam (NaCl) dengan nilai 0.0024 ± 0.0002 V/M dan linearitas terbaik terdapat pada larutan natrium hidroksida (NaOH) dengan nilai 0.98802 sebagai pengganti jaket.

B. Saran

Beberapa hal yang perlu diperhatikan dalam pengambilan data antara lain :

1. Pengelupasan mantel fiber optik harus dilakukan dengan hati-hati agar tidak merusak bagian selubung dan inti sehingga dapat mempengaruhi transmisi cahaya.
2. Bagian fiber optik yang terkelupas harus diperhatikan kebersihannya agar tidak ada larutan yang menempel pada fiber optik ketika digunakan untuk percobaan larutan selanjutnya.
3. Diperlukan *five angle adjuster* agar laser bisa tepat masuk ke dalam fiber optik karena sudut penerimaan fiber optik yang sangat kecil.
4. Pemindahan larutan dalam proses perubahan molaritas, maupun pergantian jenis larutan harus dilakukan dengan hati-hati dan memperhatikan letak fiber optik agar tidak sampai tergeser sehingga akan mengakibatkan perubahan posisi fiber tersebut.
5. Proses pengukuran dilakukan menggunakan CRO agar sinyal yang diterima dapat terlihat lebih jelas.

DAFTAR PUSTAKA

- Allard, Frederick C. *Fiber Optiks Handbook For Engineers And Scientists 560p.* (1990). 6995 (ISBN 0-07-001013-7). Mc.Graw.
- Andre, M.,dkk (2006). *Modeling of Bend Losses in Single Mode Optical Fiber.* Swedia: Lulea University of Technology.
- Anuradha De. (2005). *Optikal Fibre and Laser Principle and Applications.* New Delhi: New Age International Ltd.
- Arrue, Jon. et. al. (2013). *A Temperature Sensor Based on A Polymer Optikal Fibr Macro-Bend.* Diakses pada <http://www.ncbi.nlm.nih.gov>. Pada tanggal 11 Mei 2017, Jam 19.50.
- Catur E,W., & Kusworo Adi. (2002). *Perancangan dan Realisasi Transceiver-Receiver dengan Medium Serat Optik Untuk Trransmisi Data.* Jurnal Penelitian dan Evaluasi. ISSN:1410-9662. Hlm.1-4.
- Clayton, George & Winder, Steve. (2005). *Operational Amplifiers.* Jakarta: Erlangga
- Crisp,John & Elliot, Barry. (2006). *Serat Opik : Sebuah Pengantar.* (Alih Bahasa: Soni Astranto,S.Si). Jakarta: Penerbir Erlangga.
- Gaikwad, Parikshit. (2003). *Chemically Deposited Optikal Fiber Humidity Sensor.* Thesis. Mississippi State University.
- Ghatak, Ajoy., & K Tygarajan. (1998). *An Introduction to Fiber Optiks.* Inggris:Cambridge University Press.
- Heaton, A. (1996). *An Introduction to Industrial Chemistry 3rd edition.* New York: Blackie.
- Hecht. Jeff. (2002). *Understanding Fiber Optiks.*4th.ed. Published by Prentce-Hall,Inc.

Keiser, Gerd. (1991). *Optikal Fiber Communication 2nd Edition*. New Delhi: Mc Graw-Hill

Kirk R, E & Othmer, D.F., (1996). *Encyclopedia of Chemical Technology. Vol.17. 4th*. Ed. New York: John Wiley&Sons Inc.

Maddu, Akhiruddin. (2008). Gelombang *EVANESCENT* dalam Serat Optik. Jakarta:Universitas Indonesia

Millman & Halkias. (1997). *Electronic Devices And Circuits*. New York: Mc.Graw Hill

Montero, D.S & V'Aquez,C. (2012). Polymer Optik Fiber Intensity-Based Sensor for Liquid- Level Measurements in Volumetric Flasks for Industrial Application Journal Sensor. (618136). Hlm.1-7

Prinsip kerja refraktometer. Diakses dari <http://www.refractometer.pl/Abbe-refractometer>. Pada tanggal 14 November 2017, jam 21.20 WIB.

Spesifikasi Fotodiode. Diakses dari <http://diary-mybustanoel.com/2012/04/photodiode.html>. Pada tanggal 10 Mei 2017, jam 20.15 WIB.

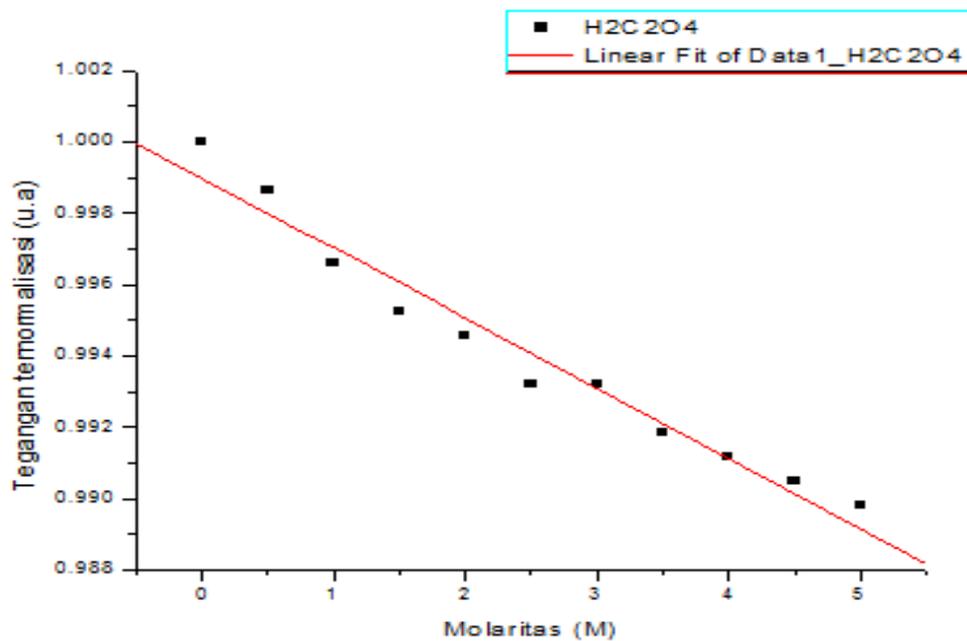
Spesifikasi Polymer Optik Fiber Mitsubishi Rayon SH-4001-1-3. Diakses dari <http://fiberoptiks.com/fiber-detail.php?id=11>. Pada tanggal 10 Mei 2017, jam 20.16 WIB.

Zubia, J & Aiestaran, P. (2007). *Lateral polishing of bends in plastics optikal fibers applied to a multipoint liquid-level measurement sensor*. Diakses dari <http://elsevier.com/locate/sna>. Pada tanggal 11 Mei 2017, Jam 19.45 WIB.

LAMPIRAN

Lampiran 1. Tabel data hasil pengukuran tegangan keluaran pada larutan Asam Oksalat ($\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$)

Molaritas (M)	Perc 1 (Volt)	Perc 2 (Volt)	Perc 3 (Volt)	V rata-rata (Volt)	Indeks Bias
0	4.91	4.91	4.9	4.90667	1.334
0.5	4.9	4.91	4.89	4.9	1.3368
1	4.89	4.9	4.88	4.89	1.3397
1.5	4.88	4.89	4.88	4.88333	1.3411
2	4.88	4.89	4.87	4.88	1.3422
2.5	4.87	4.88	4.87	4.87333	1.3425
3	4.87	4.88	4.87	4.87333	1.3428
3.5	4.87	4.87	4.86	4.86667	1.3431
4	4.86	4.87	4.86	4.86333	1.3434
4.5	4.86	4.86	4.86	4.86	1.3437
5	4.86	4.86	4.85	4.85667	1.344



Lampiran 2. Grafik hubungan antara konsentrasi larutan (M) terhadap tegangan keluaran ternormalisasi (u.a) pada larutan Asam Oksalat ($\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$)

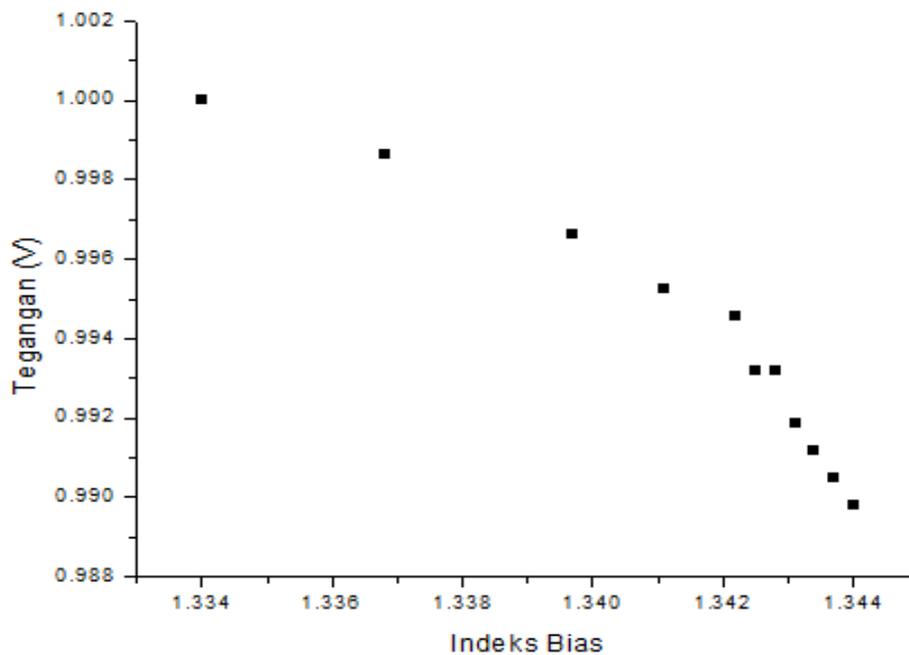
Linear Regression for Data1_H2C2O4:

$$Y = A + B * X$$

Parameter	Value	Error
A	0.99898	3.69207E-4
B	-0.00196	1.24815E-4

R	SD	N	P
-0.98231	6.54534E-4	11	<0.0001

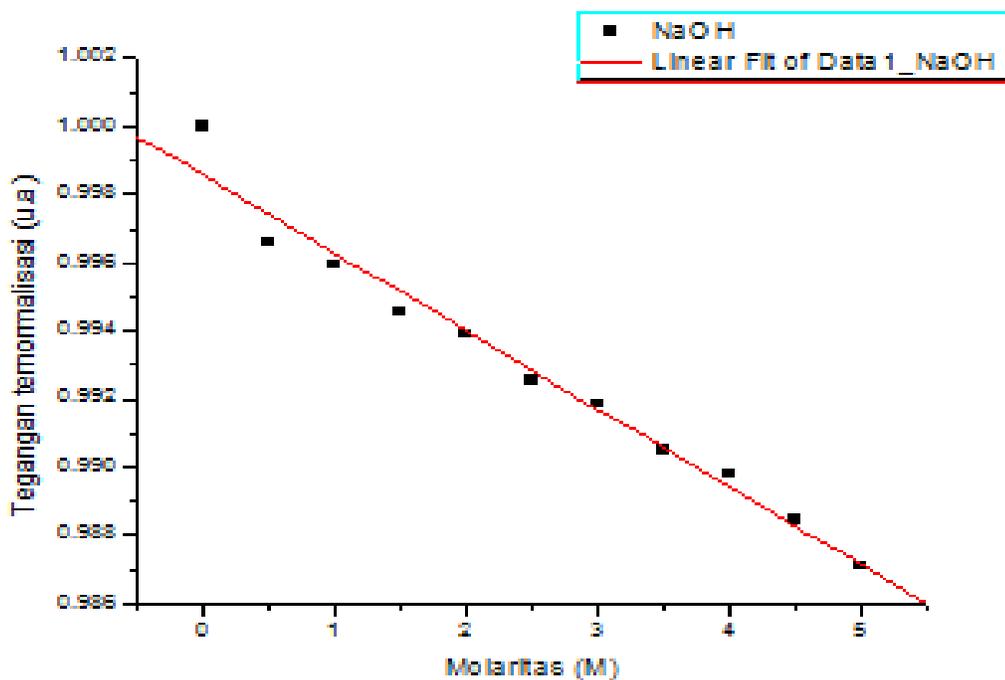
1



Lampiran 3. Grafik hubungan antara indeks bias terhadap tegangan keluaran ternormalisasi (u.a) pada larutan Asam Oksalat ($H_2C_2O_4$)

Lampiran 4. Tabel data hasil pengukuran tegangan keluaran pada larutan Natrium Hidroksida (NaOH)

Molaritas	Perc 1 (Volt)	Perc 2 (Volt)	Perc 3 (Volt)	V rata-rata (Volt)	Indeks Bias
0	4.91	4.91	4.91	4.91	1.334
0.5	4.9	4.89	4.89	4.893333333	1.3385
1	4.9	4.89	4.88	4.89	1.3441
1.5	4.89	4.88	4.88	4.883333333	1.3503
2	4.89	4.88	4.87	4.88	1.355
2.5	4.88	4.87	4.87	4.873333333	1.3598
3	4.87	4.87	4.87	4.87	1.3668
3.5	4.87	4.86	4.86	4.863333333	1.3699
4	4.86	4.86	4.86	4.86	1.375
4.5	4.86	4.85	4.85	4.853333333	1.3789
5	4.85	4.85	4.84	4.846666667	1.3803



Lampiran 5. Grafik hubungan antara konsentrasi larutan (M) terhadap tegangan keluaran ternormalisasi (u.a) pada larutan Natrium Hidroksida (NaOH)

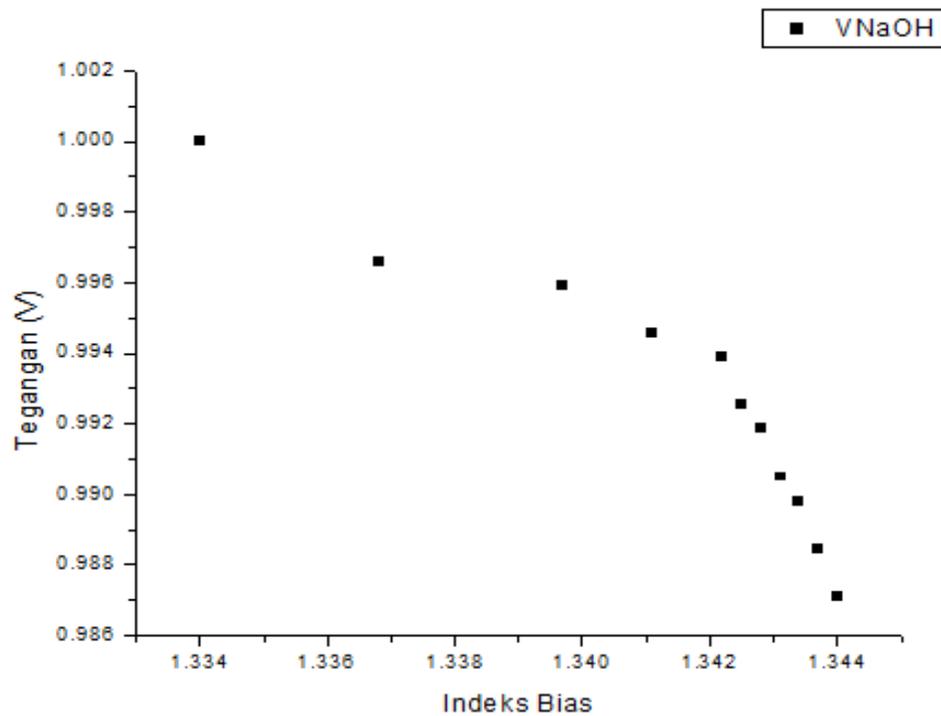
Linear Regression for Data1_NaOH:

$$Y = A + B * X$$

Parameter	Value	Error
A	0.99855	3.5169E-4
B	-0.00228	1.18893E-4

R	SD	N	P
-0.98802	6.23481E-4	11	<0.0001

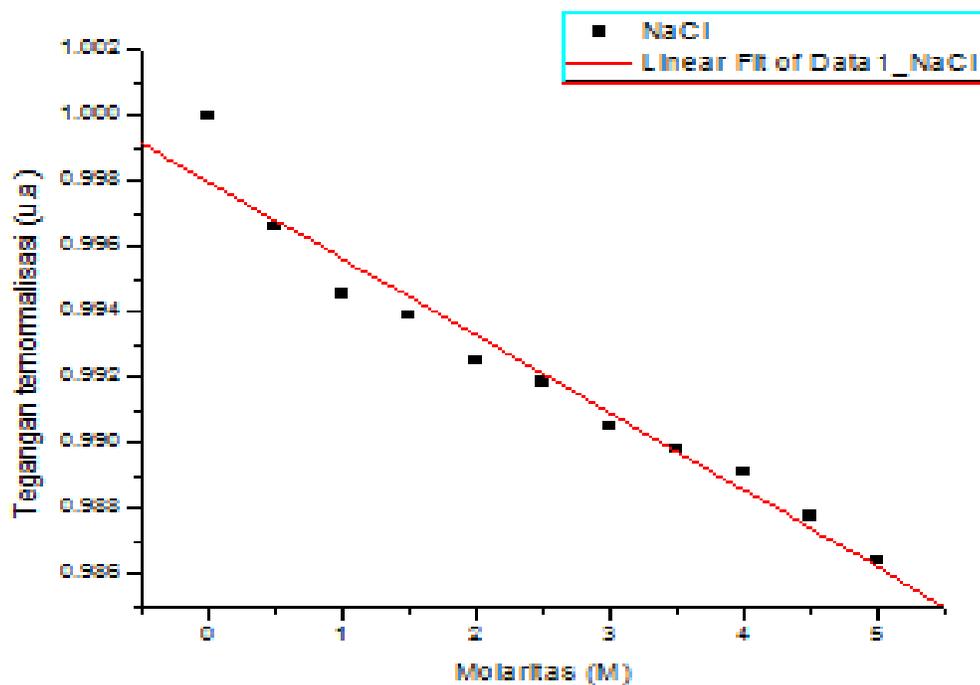
1



Lampiran 6. Grafik hubungan antara konsentrasi larutan (M) terhadap tegangan keluaran ternormalisasi (u.a) pada larutan Natrium Hidroksida (NaOH)

Lampiran 7. Tabel data hasil pengukuran tegangan keluaran pada larutan Garam (NaCl)

Molaritas	Perc 1 (Volt)	Perc 2 (Volt)	Perc 3 (Volt)	V rata-rata (Volt)	Indeks Bias
0	4.91	4.91	4.91	4.91	1.334
0.5	4.9	4.89	4.89	4.893333333	1.3398
1	4.89	4.88	4.88	4.883333333	1.3443
1.5	4.88	4.88	4.88	4.88	1.3487
2	4.87	4.87	4.88	4.873333333	1.3537
2.5	4.87	4.87	4.87	4.87	1.3584
3	4.86	4.86	4.87	4.863333333	1.3635
3.5	4.86	4.86	4.86	4.86	1.3682
4	4.86	4.86	4.85	4.856666667	1.3716
4.5	4.85	4.85	4.85	4.85	1.374
5	4.84	4.85	4.84	4.843333333	1.3771



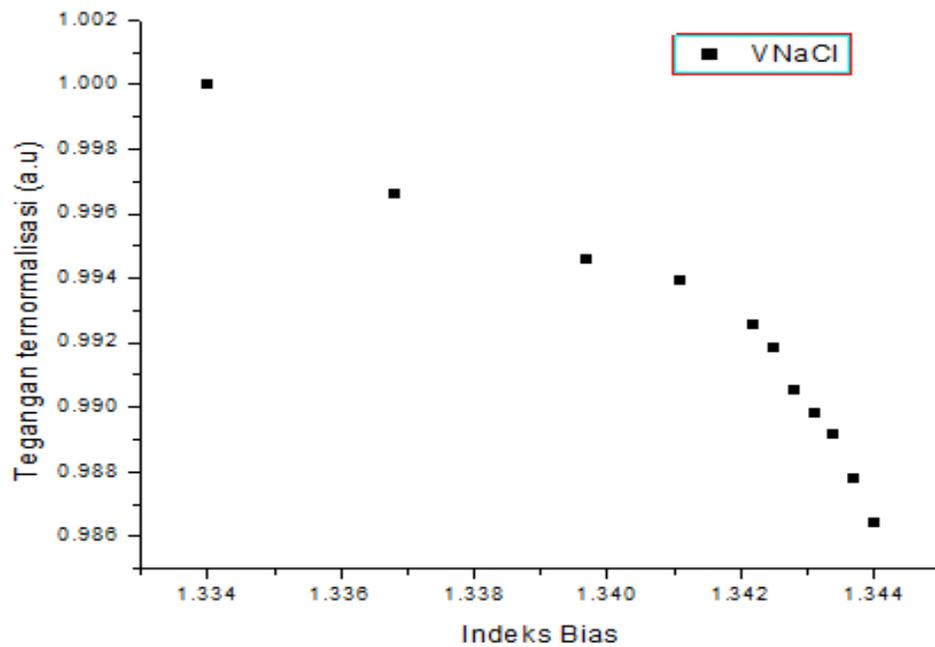
Lampiran 8. Grafik hubungan antara konsentrasi larutan (M) terhadap tegangan keluaran ternormalisasi (u.a) pada larutan Garam (NaCl)

Linear Regression for Data1_NaCl:
 $Y = A + B * X$

Parameter	Value	Error
A	0.99799	4.92728E-4
B	-0.00236	1.66572E-4

R	SD	N	P
-0.97827	8.73513E-4	11	<0.0001

1



Lampiran 9. Grafik hubungan antara indeks bias terhadap tegangan keluaran ternormalisasi (u.a) pada larutan Garam (NaCl)

Lampiran 10. Tabel data hasil perhitungan penambahan volume zat pelarut ke dalam zat terlarut

Molaritas (M)	Volume Zat Pelarut (ml)		
	Asam Oksalat	Natrium Hidroksida	Garam
0	250	250	250
0.5	2500	2500	2500
1	1250	1250	1250
1.5	833.3	833.3	833.3
2	625	625	625
2.5	500	500	500
3	416.7	416.7	416.7
3.5	357.1	357.1	357.1
4	312.5	312.5	312.5
4.5	277.8	277.8	277.8
5	250	250	250



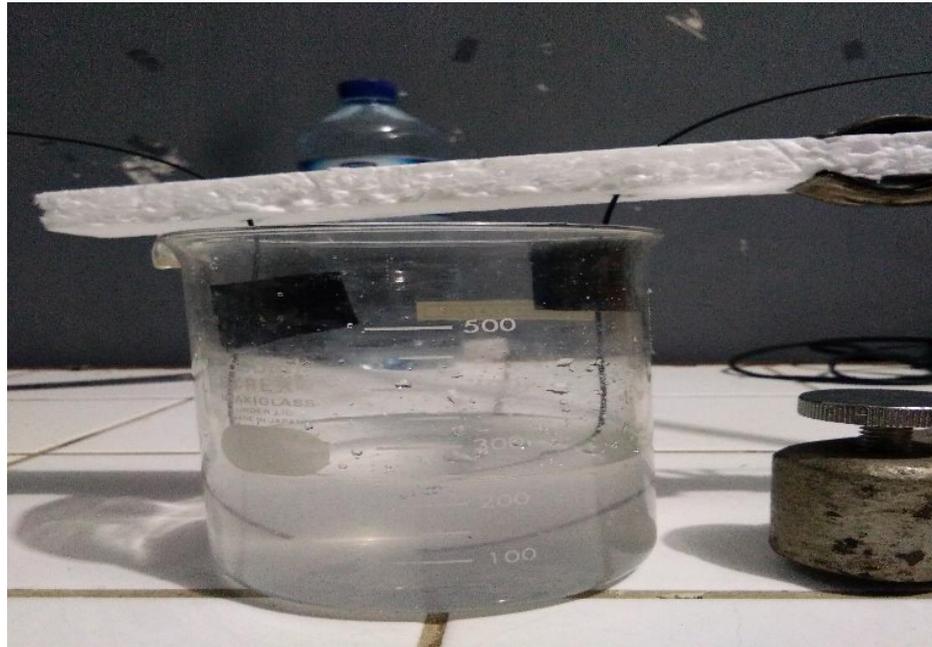
Lampiran 11. Gambar rangkaian penelitian



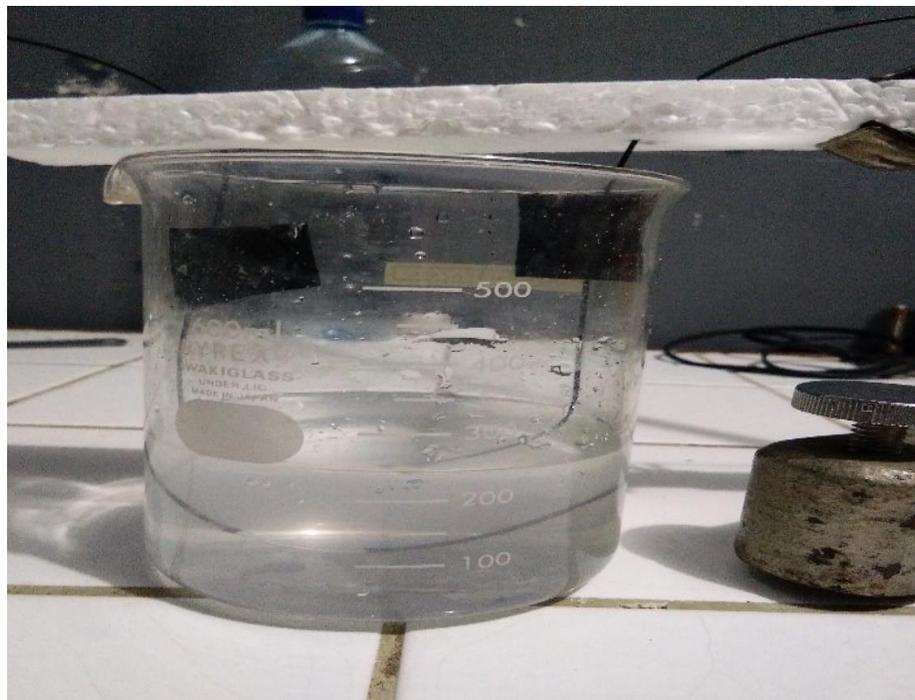
Lampiran 12. Gambar penelitian pengukuran tegangan pada konsentrasi 0 M



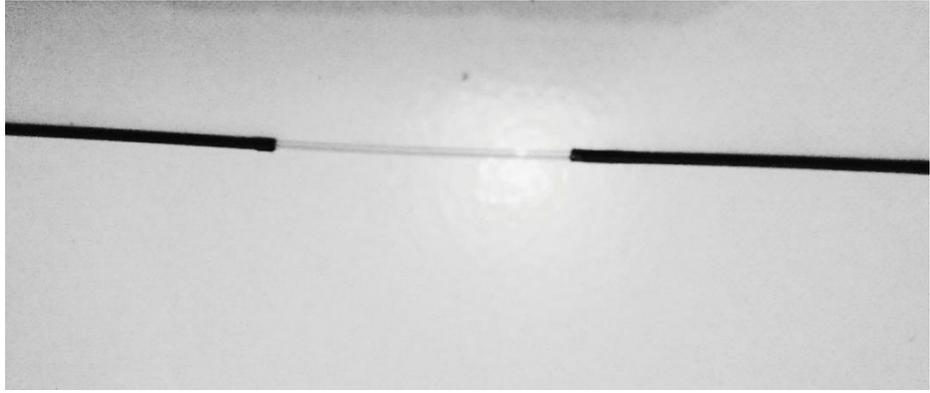
Lampiran 13. Gambar penelitian pengukuran tegangan pada larutan Asam Oksalat ($\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$)



Lampiran 14. Gambar penelitian pengukuran tegangan pada larutan Natrium Hidroksida (NaOH)



Lampiran 15. Gambar penelitian pengukuran tegangan pada larutan Garam (NaCl)



Lampiran 16. Gambar fiber optik dengan lebar pengelupasan mantel 4cm