

**PENGARUH VARIASI JUMLAH LINTASAN YANG DIBENTUK
MELINGKAR TERHADAP KARAKTERISTIK KELUARAN SERAT OPTIK
SEBAGAI SENSOR PENGUKUR MASSA**

SKRIPSI

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



Oleh :

Nuraeni Puji Winahyu

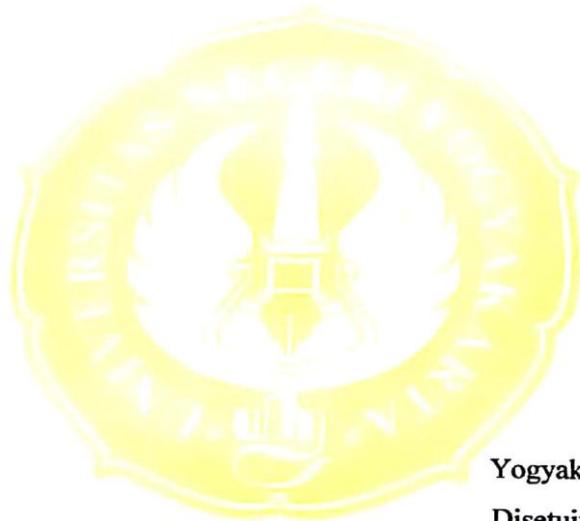
13306141011

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

2017

PERSETUJUAN

Skripsi yang berjudul “PENGARUH JUMLAH LINTASAN BERBENTUK MELINGKAR TERHADAP KARAKTERISTIK KELUARAN SERAT OPTIK SEBAGAI SENSOR PENGUKUR MASSA” yang disusun oleh Nuraeni Puji Winahyu, NIM 13306141011 ini telah disetujui oleh pembimbing untuk diujikan.



Yogyakarta, 31 Juli 2017

Disetujui,

Dosen Pembimbing

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

SURAT PERNYATAAN

Yang betandatangani di bawah ini :

Nama : Nuraeni Puji Winahyu
NIM : 13306141011
Jurusan : Pendidikan Fisika
Program Studi : Fisika
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Judul Skripsi : Pengaruh Variasi Jumlah Lintasan Yang Dibentuk Melingkar Terhadap Karakteristik Keluaran Serat Optik Sebagai Sensor Pengukur Massa.

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

Yogyakarta, 25 September 2017

Yang menyatakan



Nuraeni Puji Winahyu
13306141011

HALAMAN PENGESAHAN

Tugas Akhir Skripsi

Pengaruh Variasi Jumlah Lintasan Yang Dibentuk Melingkar Terhadap Karakteristik Keluaran Serat Optik Sebagai Sensor Pengukur Massa

Disusun Oleh:

Nuraeni Puji Winahyu

NIM 13306141011

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

Yogyakarta

Pada tanggal 5 Oktober 2017

DEWAN PENGUJI

Nama / Jabatan	Tanda Tangan	Tanggal
<u>Dr. Heru Kuswanto</u> / Ketua Penguji NIP. 19611112 198702 1 001		21-11-2017
<u>Dr. Restu Widiatmono</u> / Sekretaris Penguji NIP. 19720522 199802 1 001		20-11-2017
<u>Nur Kadarisman, M.Si</u> / Penguji Utama NIP. 19640205 199101 1 001		21-11-2017

Yogyakarta, 24 November 2017

Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

Dekan,



Dr. Hartono

NIP. 19620329 198702 1 002

PERSEMBAHAN

Karya ilmiah ini saya persembahkan kepada

1. Allah SWT yang telah memberikan saya rahmat berupa kesehatan baik jasmani dan rohani kepada saya, menuntun hati dan pikiran saya sehingga dalam melakukan penelitian ini diberikan kelancaran, kesabaran dan kemudahan.
2. Kedua orang tua saya yang tiada henti dan sabar memberikan dukungan berupa doa dan semangat.
3. Dosen pembimbing Dr. Heru Kuswanto, M.Si yang selalu meluangkan waktu untuk membimbing, dengan segala keterbatasan saya beliau sabar menuntun saya dan memberikan ilmu yang bermanfaat.
4. Seluruh dosen Fisika UNY yang telah memberikan saya ilmu dan pengalaman, semoga ilmu yang saya dapatkan, kelak bermanfaat untuk kehidupan saya dimasa yang akan datang.

**PENGARUH VARIASI JUMLAH LINTASAN YANG DIBENTUK
MELINGKAR TERHADAP KARAKTERISTIK KELUARAN SERAT OPTIK
SEBAGAI SENSOR PENGUKUR MASSA**

**Oleh :
Nuraeni Puji Winahyu
13306141011**

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh jumlah lintasan serat optik yang dibentuk melingkar terhadap intensitas cahaya keluaran, dalam upaya untuk membuat sensor serat optik pengukur massa. Pelemahan daya pada serat optik dapat dimanfaatkan sebagai sensor. Salah satu penyebab terjadinya pelemahan daya pada serat optik adalah karena bending. Karakteristik sensor yang dikaji adalah sensitivitas dan linearitas sensor terhadap perubahan massa beban. Penelitian juga dilakukan untuk melihat karakteristik pada serat optik yang dikelupas sebagian *buffer*-nya dan yang tidak dikelupas.

Serat optik yang digunakan adalah Polymer Optical Fiber (POF) tipe SH-4001-1.3 dengan indeks bias core sebesar 1,49 dan indeks bias *cladding* sebesar 1,41. Jumlah lingkaran serat optik divariasikan dengan jumlah satu lingkaran, dua lingkaran dan tiga lingkaran. Sumber cahaya yang digunakan pada penelitian ini adalah laser He-Ne dengan daya maksimum 5 mW dan panjang gelombang sebesar 632,8 nm. Laser He-Ne memancarkan cahaya melalui POF yang kemudian diterima oleh fotodiode yang dihubungkan dengan rangkaian pengikut tegangan. Tegangan terukur dari setiap pelemahan sinyal laser yang disebabkan oleh variasi perubahan massa, kemudian di plot linier untuk mengetahui sensitivitas dan linearitasnya.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa serat optik yang dibentuk satu lingkaran tidak menghasilkan respon linier yang baik. Respon lebih baik diperoleh jika serat optik dibentuk menjadi dua lingkaran atau lebih. Sensor yang dikelupas bagian *buffer*-nya menghasilkan sensitivitas yang lebih baik, tetapi linearitas terbaik diperoleh pada serat optik yang tidak dikelupas *buffer*-nya. Pelemahan daya terbesar terjadi pada serat optik yang dikelupas *buffer*-nya dan dibentuk tiga lingkaran sehingga diperoleh sensitivitas sebesar $(34 \pm 2) \cdot 10^{-6}$ volt/gram. Sedangkan linearitas terbaik sebesar 0.98588 terjadi pada serat optik yang dibentuk tiga lingkaran tanpa dikelupas *buffer*-nya.

Kata kunci : serat optik, Polymer Optical Fiber (POF), rugi-rugi serat optik, pembengkokan (bending)

THE EFFECT OF NUMBER OF CIRCULAR SHAPED PATHS VARIATION TO OPTICAL FIBER OUTPUT CHARACTERISTIC AS A MASS MEASURING SENSOR

By:

**Nuraeni Puji Winahyu
13306141011**

ABSTRACT

The goal of this research is to discover the effect of number of circular shaped optical fiber paths to output of light intensity, in effort of making a mass measuring sensor based on optical fiber. The attenuation of power on optical fiber could be harnessed as a sensor. One of the cause of power attenuation on optical fiber is due to bending factor. The characteristic of sensor which studied is the sensor sensitivity and linearity to the change of load mass. This research is also done to observe the characteristic in optical fiber whose buffer is partially removed and not removed.

Optical fiber which used is Polymer Optical Fiber (POF) SH-4001-1.3 type with core refractive index of 1.49 and cladding refractive index of 1.41. The number of optical fiber circle is varied into one circle, two circles, and three circles. The source of light which used in this research is He-Ne laser with maximum power of 5 mW and wavelength of 632.8 nm. He-Ne laser emits light through POF which then received by photodiode connected to voltage follower circuit. Measured voltage from every attenuated laser signal which caused by the variation of load mass, then it's linearly plotted to get the information about its sensitivity and linearity.

The result of this research shows that one circle shaped optical fiber did not yield a good linear response. The better response was obtained if the optical fiber shaped into two circles or more. The sensor whose buffer was removed yielding better sensitivity, yet the best linearity was obtained on optical fiber whose buffer wasn't removed. The biggest power attenuation happened on the optical fiber whose buffer was removed and shaped into three circles so that we could obtain the sensitivity of $(34 \pm 2) 10^{-6}$ volt/gram. Whereas the best linearity of 0.98588 happened on optical fiber which shaped into 3 circles without removing its buffer.

Keywords: optical fiber, Polymer Optical Fiber (POF), optical fiber losses, bending

KATA PENGANTAR

Assalamualaikum wr.wb.

Alhamdulillahirabbil'alamin, segala puji syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa atas limpahan rahmat dan karunia-Nya yang telah diberikkan sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir Skripsi yang berjudul "PENGARUH VARIASI JUMLAH LINTASAN YANG DIBENTUK MELINGKAR TERHADAP KARAKTERISTIK KELUARAN SERAT OPTIK SEBAGAI SENSOR PENGUKUR MASSA". 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.

DAFTAR ISI

	Halaman
Halaman Judul	i
Halaman Persetujuan	ii
Halaman Surat Pernyataan	iii
Halaman Pengesahan	iv
Halaman Persembahan	v
Abstrak	vi
Kata Pengantar	viii
Daftar Isi	x
Daftar Tabel	xiii
Daftar Gambar	xiv
Daftar Lampiran	xvi
BAB I PENDAHULUAN	1
A. Latar Belakang	1
B. Identifikasi Masalah	5
C. Batasan Masalah	5
D. Rumusan Masalah	6
E. Tujuan Penelitian.....	6
F. Manfaat Penelitian.....	7
BAB II KAJIAN PUSTAKA	8
A. Deskripsi Teori	8

1. Struktur dan Macam-Macam Serat Optik	8
a. Struktur Serat Optik	8
2. Jenis-Jenis Serat Optik	9
a. Serat Optik <i>Single Mode Fiber (SMF) Step Index</i>	10
b. Serat Optik <i>Multi Mode Fiber</i>	10
1) <i>Graded-Index Multimode</i>	11
2) <i>Step-Index Multimode</i>	12
3. Karakteristik Transmisi pada Serat Optik	13
a. Numerical Aperture	13
b. Sudut Penerimaan Serat Optik	14
c. Sudut Kritis.....	17
d. Pelemahan Daya pada Serat Optik	18
1) Absorbs.....	19
2) Hamburan Rayleigh.....	19
3) Pemantulan Fresnel.....	20
4) Rugi-Rugi Pembengkokan.....	21
a. <i>Macro Bending</i> atau Pembengkokan Makro	21
b. <i>Micro Bending</i> atau Pembengkokan Mikro.....	23
4. Sensor	22
a. Linearitas	24
b. Sensitivitas	24
5. Prinsip dan Tipe Sensor Optik	25
6. Pemantulan Cahaya	26
a. Pemantulan Biasa	26
b. Pemantulan Baur	26
c. Hukum Pemantulan Cahaya	25
d. Rangkaian Pengikut Tegangan	27
a. <i>Operational Amplifier (Op-Amp)</i>	27
b. <i>Voltage Follower</i> (Pengikut Tegangan)	31

c. IC LM358	32
d. Fotodiode	34
e. IC <i>Voltage Regulator</i>	36
B. Kerangka Berfikir.....	
.....	37
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	40
A. Waktu dan Tempat Penelitian	40
B. Obyek Penelitian	40
C. Variabel Penelitian	40
1. Variabel Bebas	40
2. Variabel Terikat	40
3. Variabel Kontrol	40
D. Desain Penelitian.....	41
1. <i>Setup</i>	41
1) 1 Lintasan	41
2) 2 Lintasan	41
3) 3 Lintasan	42
4) Rangkaian Pengikut Tegangan (<i>Receiver</i>)	42
2. <i>Flow Chart</i>	43
E. Alat dan Bahan Penelitian	44
1. Bahan.....	44
2. Alat	46
F. Prosedur Penelitian	46
G. Teknis Analisis Data	47
BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN.....	48
A. Karakteristik Perambatan Cahaya pada Serat Optik Plastik Tipe SH-4001-1.3	48

B. Hasil Pengukuran massa Beban Terhadap Jumlah Lingkaran Serat Optik yang dibentuk Satu Lingkaran	49
C. Hasil Pengukuran massa Beban Terhadap Jumlah Lingkaran Serat Optik yang dibentuk Dua Lingkaran	52
D. Hasil Pengukuran massa Beban Terhadap Jumlah Lingkaran Serat Optik yang dibentuk Tiga Lingkaran	55
E. Sensitivitas dan Linearitas Ketika Serat Optik dibentuk Melingkar	61
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	66
A. Kesimpulan	66
B. Saran	66
DAFTAR PUSTAKA	68
LAMPIRAN	70

DAFTAR TABEL

Tabel 1. Sensitivitas untuk setiap perlakuan fiber optik plastik	63
Tabel 3. Linearitas untuk setiap keadaan serat optik	65

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Penekanan Serat Optik Untuk Pembengkokan <i>Three Bending</i>	3
Gambar 2. Skema Bagian Penyusun Serat Optik	8
Gambar 3. Serat Optik <i>Single Mode Fiber (SMF) Step Index</i>	10
Gambar 4. Serat Optik <i>Multimode Fiber Step Index</i>	11
Gambar 5. Perambatan Cahaya Pada Serat Optik <i>Graded-Index Multimode</i>	12
Gambar 6. Perambatan Cahaya Pada Serat Optik <i>Step-Index Multimode</i>	13
Gambar 7. Sudut Dimana Sinar Dapat Diterima Oleh Serat Optik.....	14
Gambar 8. Sudut Penerimaan Serat Optik	15
Gambar 9. Pemantulan Dinding Serat Optik.....	16
Gambar 10. Sudut Datang Dalam Bidang Batas <i>Core-Cladding</i>	16
Gambar 11. Peristiwa Rugi-Rugi Akibat Pembengkokan Makro	22
Gambar 12. Peristiwa Rugi-Rugi Akibat Pembengkokan Mikro.....	24
Gambar 13. Skema System Sensor Serat Optik	26
Gambar 14. Pemantulan Cahaya	27
Gambar 15. Simbol Op-Amp	28
Gambar 16. Input Tunggal	30
Gambar 17. <i>Voltage Follower</i>	31
Gambar 18. Pemasangan Voltage Follower Untuk Mencegah Tegangan Drop ...	32
Gambar 19. Konfigurasi Pin LM358	33
Gambar 20. Panjang Gelombang Yang Dihasilkan Oleh Badan Fotodioda	35

Gambar 21. Struktur Dioda.....	34
Gambar 22. Regulator Tegangan Pada Power Supply	36
Gambar 23.1. Desain Penelitian Fiber Optik Yang Dibentuk Satu Lingkaran	41
Gambar 23.2. Desain Penelitian Fiber Optik Yang Dibentuk Dua Lingkaran	41
Gambar 23.3. Desain Penelitian Fiber Optik Yang Dibentuk Tiga Lingkaran	42
Gambar 23.4 Rangkaian Pengikut Tegangan	42
Gambar 24. Hubungan Perubahan Massa Terhadap Tegangan Yang Dinorma- Lisasi Pada Fiber Optik Yang Dibentuk Satu Lingkaran	50
Gambar 25. Hubungan Perubahan Massa Terhadap Tegangan Yang Dinorma- Lisasi Pada Fiber Optik Yang Dibentuk Dua Lingkaran	53
Gambar 26. Hubungan Perubahan Massa Terhadap Tegangan Yang Dinorma- Lisasi Pada Fiber Optik Yang Dibentuk 3 Lingkaran.....	56
Gambar 27. Grafik Hubungan Antara Tegangan Keluaran Yang Telah Dinorma- Lisasi Terhadap Perubahan Massa Pada Serat Optik Yang Dikupas Dan Dibentuk Tiga Lingkaran Dengan <i>Fitting Linear</i>	62
Gambar 29. Grafik Hubungan Antara Tegangan Keluaran Yang Telah Dinorma- Lisasi Terhadap Perubahan Massa Pada Serat Optik Yang Tidak Di- kupas Dan Dibentuk Tiga Linier Dengan <i>Fitting Linier</i>	64

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Tabel data hasil pengukuran tegangan pada fiber optik yang dibentuk satu lingkaran tanpa pengupasan mantel.....	69
Lampiran 2. Grafik hubungan massa (gram) terhadap tegangan keluaran fiber optik berbentuk 1 lingkaran tanpa pengupasan mantel.....	71
Lampiran 3. Tabel data hasil pengukuran tegangan pada fiber optik yang dibentuk dua lingkaran tanpa pengupasan mantel	72
Lampiran 4. Grafik hubungan massa (gram) terhadap tegangan keluaran fiber optik berbentuk 2 lingkaran tanpa pengupasan mantel.....	73
Lampiran 5. Tabel data hasil pengukuran tegangan pada fiber optik yang dibentuk tiga lingkaran tanpa pengupasan mantel	74
Lampiran 6. Grafik hubungan massa (gram) terhadap tegangan keluaran fiber optik berbentuk 3 lingkaran tanpa pengupasan mantel.....	75
Lampiran 7. Tabel data hasil pengukuran tegangan pada fiber optik yang dibentuk satu lingkaran dengan pengupasan mantel.....	76
Lampiran 8. Grafik hubungan massa (gram) terhadap tegangan keluaran fiber optik berbentuk 1 lingkaran dengan pengupasan mantel	77
Lampiran 9. Tabel data hasil pengukuran tegangan pada fiber optik yang dibentuk dua lingkaran dengan pengupasan mantel	78

Lampiran 10. Grafik hubungan massa (gram) terhadap tegangan keluaran fiber optik berbentuk 2 lingkaran dengan pengupasan mantel	79
Lampiran 11. Tabel data hasil pengukuran tegangan pada fiber optik yang dibentuk tiga lingkaran dengan pengupasan mantel	80
Lampiran 12. Grafik hubungan massa (gram) terhadap tegangan keluaran fiber optik berbentuk 3 lingkaran dengan pengupasan mantel	81
Lampiran 13. Gambar rangkaian penelitian fiber optik dibentuk 1 lingkaran.....	82
Lampiran 14. Gambar rangkaian penelitian fiber optik dibentuk 2 lingkaran.....	82
Lampiran 15. Gambar rangkaian penelitian fiber optik dibentuk 3 lingkara.....	83
Lampiran 16. Struktur Serat Optik Tipe SH-4001-1.3.....	84
Lampiran 17. Performa Serat Optik Tipe SH-4001-1.3	85

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang Masalah

Kebutuhan transmisi data yang besar pada jarak yang sangat jauh telah meningkat seiring dengan kemajuan teknologi. Media transmisi untuk mentransfer data dalam jumlah yang besar memerlukan keakuratan data dalam hal tersebut. Serat optik memiliki keunggulan yang lebih dibandingkan dengan media transmisi yang lain menjadi sarana utama untuk memenuhi permintaan tersebut. Keunggulan serat optik sebagai media transmisi mampu meningkatkan pelayanan sistem komunikasi data, seperti peningkatan jumlah kanal yang tersedia, kemampuan mentransfer data dengan kecepatan mbps, terjaminnya kerahasiaan data yang dikirimkan sehingga pembicaraan tidak dapat disadap, tidak terganggu oleh gelombang elektromagnetik, petir atau cuaca (Govind, 2002).

Serat optik merupakan sebuah kabel yang terbuat dengan bahan yang sangat jernih dan transparan yang digunakan untuk mentransmisikan gelombang cahaya. Kilatan-kilatan cahaya yang berubah-ubah merambat didalam serat optik dan di ujung penerima dikonversikan kembali menjadi sinyal listrik yang merupakan replika sinyal aslinya. Kabel-kabel serat optik kini membawa sebagian besar trafik panggilan telepon yang meninggalkan Amerika Serikat, sedangkan di Inggris lebih dari 95% trafik telepon dibawa oleh serat optik. Di seluruh dunia, sistem transmisi serat optik melewati sekitar 85% dari seluruh trafik telekomunikasi (Crisp, 2006).

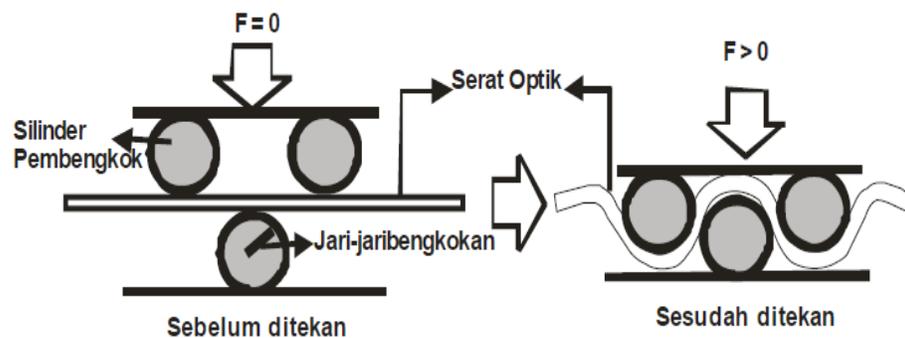
Hal yang berpengaruh pada transmisi sinyal serat optik adalah karakteristik bahan serat optik tersebut. Hal ini karena pemantulan dan pembiasan sinyal di dalam serat optik tergantung pada indeks bias bahan yang

digunakan dalam serat optik tersebut. Selain karakteristik bahan, pelemahan daya optik menjadi masalah tersendiri dalam penyaluran sinyal. Diantara bentuk pelemahan yang sering terjadi ketika proses instalasi kabel/konstruksi kabel adalah pembengkokan/*bending*. Tidak semua pembengkokan menyebabkan terjadinya pelemahan. Serat optik mengalami pelemahan sinyal ketika dibengkokkan pada jari-jari tertentu. Sinyal yang melemah ditengah perjalanan menuju *receiver* menyebabkan penurunan kualitas sinyal yang diterima oleh konsumen ketika menggunakan jasa. Dalam penerapan lain, serat optik juga dapat digunakan sebagai sensor. Penerapan ini memanfaatkan fakta terjadinya kenaikan pelemahan didalam serat optik yang dibengkokkan. Sinyal gelombang elektromagnetik dibangkitkan dari sumber yang biasanya berupa laser dilewatkan melalui serat optik menuju *receiver*. Gangguan berupa pembengkokan yang terjadi di tengah perjalanannya menuju *receiver* menyebabkan kenaikan pelemahan daya. Pemanfaatan serat optik sebagai sensor memiliki banyak kelebihan dibandingkan dengan sensor elektrik yang telah dimanfaatkan selama ini. Beberapa kelebihan dari sensor serat optik adalah ringan, memiliki diameter kecil, tahan terhadap interferensi elektromagnetik, dapat digunakan pada lingkungan yang kurang ramah seperti diletakkan pada tegangan dan suhu yang tinggi, sensitivitasnya tinggi Selain itu serat optik juga tidak mudah berkorosi, mempunyai bahan isolasi elektrik, dan tidak memicu terjadinya ledakan atau kebakaran akibat dari loncatan elektron seperti halnya pada sensor elektrik (Malla, 2008).

Terdapat beberapa teknik untuk mengukur beban yang sekarang digunakan ini yaitu piezoelektrik, lempeng kapasitif, hidrolik dan pelat beban yang dibengkokkan, akan tetapi metode tersebut memiliki beberapa kelemahan yaitu mudah korosi, jangkauan kecepatan kecil, mudah mengalami gangguan elektromagnetik, akurasi rendah, pembuatan dan instalasi yang sulit, ukuran besar dan harga tinggi. Perkembangan teknologi sensor serat optik yang memiliki keuntungan diantaranya sensitivitas tinggi, tahan

terhadap gangguan elektromagnetik, suhu tinggi dan korosi dibandingkan dengan sensor sebelumnya dapat menjadi alternatif untuk mengukur beban. Sensor serat optik yang didasarkan pada prinsip kerugian daya optik yang disebabkan oleh pembengkokan mikro (*microbending*) juga memiliki bentuk padat yang baik, struktur sederhana, biaya rendah dan lainnya. Dengan demikian studi sensor serat optik dengan mikrobending adalah sangat penting (Xinguo, 2010).

Seiring dengan perkembangannya, teknologi sensor serat optik telah menjadi bagian utama dari teknologi yang berkaitan dengan optoelektronika dan industri komunikasi serat optik. Penelitian mengenai pembengkokan serat optik telah dilakukan oleh Suryadi Hendi dan Siti Muti'ah (2009). Untuk mengetahui karakteristik pelemahan daya bila serat optik *multimode step index* dibengkokkan dengan model *three bending* (tiga bengkokan). Variasi jari-jari bengkokannya adalah 0,30 cm, 0,25 cm, 0,20 cm, dan 0,15 cm. Pembengkokan dilakukan dengan cara memberikan tekanan pada serat optik yang diletakkan di antara dua plat silinder pembengkok seperti Gambar 1.



Gambar 1. Penekanan serat optik untuk pembengkokan *three bending* (Hendi, 2009)

Penelitian yang dilakukan oleh Siti Muti'ah (2009) menggunakan serat optik polimer dengan bengkokan berupa lilitan. Penelitian ini dilakukan

dengan melilitkan serat optik polimer pada silinder lentur (busa), kemudian diberi

tekanan dengan menggunakan mikrometer sekrup. Variasi jari-jari silinder yaitu 0,5 cm, 0,6 cm, 0,7 cm, 0,8 cm, 0,9 cm, dan 1,0 cm. Kedua penelitian ini menunjukkan bahwa besarnya nilai pelemahan daya pada serat optik meningkat seiring dengan bertambahnya pergeseran yang dikenakan pada serat optik. Semakin besar jari-jari bengkokan menimbulkan pelemahan daya yang lebih kecil.

Pada penelitian ini juga mempelajari karakteristik pelemahan daya serat optik khususnya pelemahan karena pembengkokan dan pengupasan *buffer*. Penelitian ini meneliti pengaruh jumlah lintasan dan perubahan massa terhadap besarnya intensitas cahaya yang diterima oleh *receiver*. Lintasan yang dimaksud yaitu membentuk serat optik menjadi lingkaran. Lingkaran ini juga divariasikan dengan menambah jumlah lingkarannya. Karena semakin banyak jumlah lingkaran atau jumlah lekukan maka pelemahan yang diperoleh juga semakin besar, hal ini disebabkan karena garis normal serat optik semakin bergeser.

Pada penelitian ini memberikan variasi pengelupasan *coating/buffer* pada serat optik. Pengelupasan *buffer* bertujuan untuk mendapatkan serat optik yang lebih peka karena pengaruh lekukan dan pemberian massa beban. Fungsi dari *buffer* itu sendiri yaitu untuk melindungi serat optik dari kerusakan mekanis. Penelitian ini juga melibatkan pemberian massa beban di atas serat optik, karena tujuan awal dari penelitian ini adalah memanfaatkan pelemahan yang terjadi sebagai sensor pengukur massa. Penambahan massa akan menyebabkan lingkaran pada serat optik semakin kecil dan pipih. Ketika pembengkokan semakin kecil maka pelemahan akan semakin meningkat. Sumber cahaya yang digunakan dalam penelitian ini adalah laser Helium-Neon dengan daya maksimum sebesar 5 mW dan panjang gelombang 632,8 nm yang merambat pada *Polymer Optik Fiber (POF)*, sedangkan intensitas

cahaya laser yang telah dihubungkan dengan serat optik akan dideteksi dengan menggunakan rangkaian pengikut tegangan yang dihubungkan dengan multimeter digital. Sensitivitas pada penelitian ini akan menunjukkan seberapa peka sensor terhadap kuantitas yang diukur. Sensitivitas juga sering dinyatakan dengan bilangan yang menunjukkan perubahan keluaran dibandingkan unit perubahan masukan. Linearitas sensor juga mempengaruhi sensitivitas dari sensor.

B. Identifikasi Masalah

Berdasarkan latar belakang masalah yang diuraikan diatas maka dalam pengembangan serat optik sebagai sensor massa diidentifikasi beberapa permasalahan sebagai berikut :

1. Penambahan jumlah lingkaran dapat melemahkan intensitas cahaya keluaran serat optik yang diterima oleh *receiver*.
2. Pemberian massa beban dapat mengurangi intensitas cahaya keluaran serat optik (POF).
3. Pengelupasan *buffer* dapat melemahkan intensitas cahaya keluaran serat optik (POF).

C. Batasan Masalah

Mengingat luasnya masalah yang terdapat dalam penelitian ini, maka penelitian ini di fokuskan dan dibatasi pada penggunaan serat optik tipe SH-4001-1-1.3, pengaruh jumlah lintasan dengan bentuk lintasan berupa lingkaran dan pengelupasan *buffer* pada serat optik. Dalam penelitian ini diberikan variasi jumlah lingkaran yaitu satu lingkaran, dua lingkaran, dan tiga lingkaran. Tujuan pemberian variasi jumlah lintasan berupa lingkaran ini untuk mengetahui apakah semakin banyak lingkaran yang dibentuk akan menghasilkan pelemahan intensitas cahaya yang lebih banyak atau tidak. Karena seharusnya semakin banyak bengkokan maka pelamahan juga akan

semakin besar. Selain bentuk lintasan dan pengelupasan *buffer*, serat optik juga diberikan tekanan dengan jangkauan massa beban sebesar 1 kg. Laser Helium-Neon digunakan sebagai sumber cahaya dengan daya keluaran 5 mW pada $\lambda = 632,8$ nm, sedangkan sebagai alat pengukur tegangan keluaran digunakan rangkaian pengikut tegangan yang dihubungkan dengan multimeter digital.

D. Rumusan Masalah

Rumusan masalah dalam penelitian ini yaitu :

1. Bagaimana pengaruh jumlah lingkaran pada POF terhadap intensitas cahaya yang diterima oleh rangkaian pengikut tegangan saat diberikan perubahan massa?
2. Bagaimana pengaruh pengelupasan *buffer* terhadap intensitas cahaya yang diterima oleh *receiver*?
3. Berapa sensitivitas terbaik POF?
4. Bagaimana linearitas POF?

E. Tujuan Penelitian

Tujuan pada penelitian ini adalah :

1. Mengetahui pengaruh jumlah lintasan dan perubahan massa beban terhadap intensitas cahaya POF berbentuk lingkaran.
2. Mengetahui pengaruh pengelupasan *buffer* terhadap intensitas cahaya POF.
3. Mengetahui sensitivitas terbaik pada sensor pengukur massa POF berbentuk lingkaran.
4. Mengetahui linearitas terbaik pada sensor pengukur massa POF berbentuk lingkaran.

F. Manfaat Penelitian

Dalam penelitian ini diharapkan :

1. Dapat memberikan informasi bagaimana sensitivitas dan linearitas sensor pengukur massa berbasis POF.
2. Dapat mengaplikasikan POF dibidang sensor.
3. Sebagai acuan atau referensi untuk melakukan penelitian selanjutnya pada bidang yang sama.

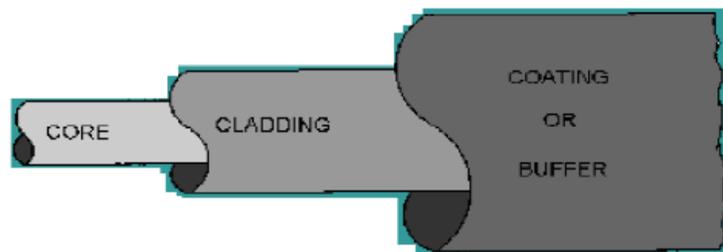
BAB II KAJIAN PUSTAKA

A. Deskripsi Teori

1. Struktur dan Macam-Macam Serat Optik

a. Struktur Serat Optik

Serat optik adalah pandu gelombang dielektrik atau media transmisi gelombang cahaya yang terbuat dari bahan *silica* atau plastik berbentuk silinder. Serat optik terdiri dari bagian inti (*core*) yang dikelilingi oleh bagian yang disebut selubung (*cladding*). Bagian *core* memiliki fungsi untuk menentukan cahaya yang merambat dari satu ujung ke ujung yang lain. Sedangkan bagian *cladding* berfungsi sebagai cermin untuk memantulkan cahaya agar dapat merambat ke ujung lainnya. Bagian terluar dari serat optik disebut *buffer* (*coating/buffer*) yang berfungsi sebagai pelindung. Bagian inti (*core*) merupakan jalur utama pemandu gelombang cahaya yang mempunyai indeks bias terbesar n_1 . Sedangkan bagian *cladding* mempunyai indeks bias n_2 yang nilainya sedikit lebih rendah dibandingkan n_1 (Keiser, 1991).



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

- 1) Bagian yang paling utama dinamakan inti (*core*). Gelombang cahaya yang dikirim akan merambat dan mempunyai indeks bias lebih besar dari lapisan kedua. Inti (*core*) mempunyai diameter yang bervariasi antara (50-400) μm tergantung jenis serat optiknya.
- 2) Bagian kedua dinamakan lapisan selimut atau selubung (*cladding*). Bagian ini mengelilingi bagian inti dan mempunyai indeks bias lebih kecil dibanding dengan bagian inti.
- 3) Bagian ketiga yaitu *buffer* (*coating/buffer*). Bagian ini merupakan pelindung lapisan inti dan selimut yang terbuat dari bahan plastik elastik (Keiser, 1991).

Terdapat serat optik yang terbuat dari bahan plastik. Serat optik ini adalah jenis serat optik yang terbuat dari jenis plastik *polymethyl-methacrylate* resin dengan indeks bias inti sebesar 1,49 sedangkan indeks bias *cladding* sebesar 1,41. Untuk diameter inti serat optik jenis ini yaitu 920-1040 *micrometer*. Serat optik plastik kurang banyak digunakan sebagai media transmisi jarak jauh karena memiliki pelemahan yang besar. Serat optik plastik banyak dikembangkan sebagai sensor karena mudah diubah-ubah dan diberi perlakuan seperti mengubah-ubah bentuknya.

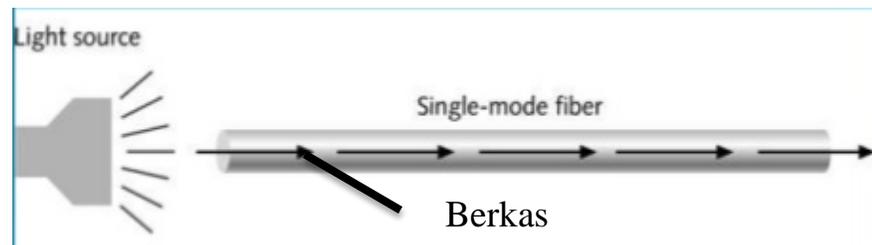
Perbedaan serat optik kaca dan plastik adalah serat optik kaca terbuat dari kaca dan tingkat kejernihannya melebihi kejernihan serat optik plastik. Serat optik kaca tidak cocok digunakan sebagai sensor karena terlalu rapuh dan ukurannya yang kecil sehingga sulit untuk diberi perlakuan (Ahmad Mulia Rambe, 2003: 4).

2. Jenis-Jenis Serat Optik

Jenis-jenis serat optik ada 3, yaitu *single mode Serat* (SMF) *Step index*, *Multi Mode Serat* (MMF) *Step index*, *Multi Mode Serat* (MMF) *Graded index*.

a. Serat Optik *Single Mode Fiber (SMF) Step Index*

Mempunyai inti yang kecil (berdiameter 0.00035 inch atau 9 micron) dan berfungsi mengirimkan sinar laser dengan panjang gelombang 1300-1550 nm (Saleh, 1991).

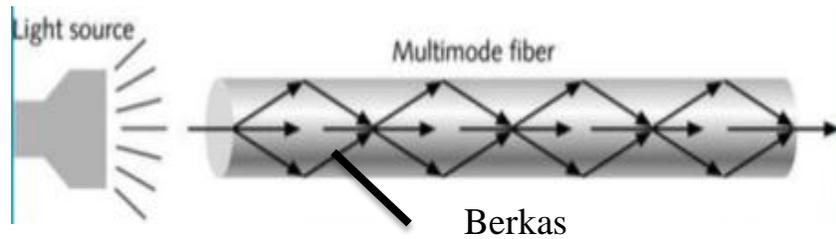


Gambar 3. Serat Optik *Single Mode Fiber (SMF) Step Index* (Saleh, 1991)

Jenis serat optik yang memiliki serat tunggal dengan diameter antara 8,3 – 10 mikron yang mempunyai transmisi satu mode. Dengan garis tengah (diameter) sempit, SMF hanya dapat menyebarkan antara 1310 – 1550 nano meter. SMF dapat mentransmisikan sinyal diatas rata-rata dan 50 kali lipat jarak dibandingkan *multimode*. SMF memiliki *core* yang lebih kecil dibandingkan *multimode*. *Core* yang kecil dan gelombang cahaya tunggal dapat mengurangi distorsi yang diakibatkan adanya berkas cahaya yang bertumpuk, penyediaan sedikit sinyal pelemahan dan kecepatan transmisi yang tinggi. SMF memiliki ciri-ciri diameter core lebih kecil dibandingkan diameter *cladding* dan dapat digunakan untuk transmisi jarak jauh mencapai 120 km.

b. Serat Optik *Multi Mode Fiber*

Mempunyai inti yang lebih besar (berdiameter 0,0025 inch atau 62,5 micron) dan berfungsi mengirimkan sinar laser dengan panjang gelombang 850-1300 nanometer (Saleh, 1991).



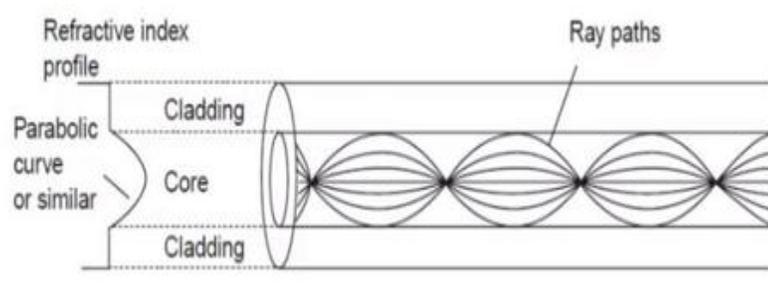
Gambar 4. Serat Optik *Multi Mode Fiber Step Index* (Saleh,1991).

Serat Optik *Multi Mode Fiber Step Index* memiliki dua tipe yang berbeda, yaitu :

1) *Graded-Index Multimode*

Berisi sebuah *core* dimana refraksi indeks mengurangi secara perlahan-lahan dari poros pusat ke luar *cladding*. Refraksi indeks tertinggi membuat cahaya bergerak lebih pelan pada porosnya dibandingkan cahaya yang lebih dekat dengan *cladding*. Alur yang dipendekkan dan kecepatan yang tinggi memungkinkan cahaya di bagian luar untuk sampai ke penerima pada waktu yang sama secara perlahan tetapi cahaya lurus langsung melalui inti *core*. Hasilnya sinyal digital mengalami distorsi yang sedikit. *Graded index multimode* memiliki ciri-ciri sebagai berikut (Jasenek, 2006) :

- a) Diameter *core*-nya antara 30 mm – 60 mm sedangkan diameter *cladding*-nya 100 mm – 150 mm.
- b) Merupakan penggabungan serat *single mode* dan serat *multimode step index*.
- c) Biasanya digunakan pada transmisi informasi jarak menengah seperti pada LAN, dimana jarak transmisinya 10 – 20 km (Jasenek, 2006) .

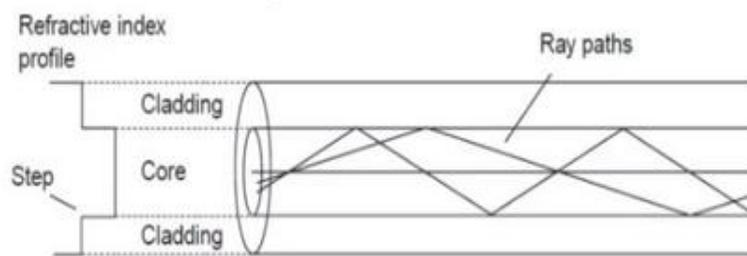


Gambar 5. Perambatan cahaya pada serat optik *graded-index multimode* (Josef Jasenek, 2006)

2) *Step-Index Multimode*

Berisi sebuah *core* besar dengan diameter lebih dari 100 mikron. Hasilnya, beberapa cahaya membuat sinyal digital melewati rute utama (*direct route*), sedangkan yang lainnya berliku-liku (*zig zag*) ketika sinar tersebut memantul ke *cladding*. Kebutuhan untuk meninggalkan jarak antar sinyal untuk mencegah penumpukan cahaya pada batas *bandwidth* adalah jumlah informasi yang dapat dikirim ke titik penerima. Sebagai konsekuensinya, serat optik tipe ini lebih cocok untuk jarak yang pendek/singkat. Memiliki ciri-cirinya sebagai berikut (Jasenek, 2006) :

- a) Ukuran intinya berkisar 50 mm – 125 mm dengan diameter *cladding* 125 mm – 500 mm.
- b) Diameter *core* yang besar digunakan agar penyambungan kabel lebih mudah.
- c) Hanya baik digunakan untuk data atau informasi dengan kecepatan rendah dan untuk jarak yang relatif dekat.



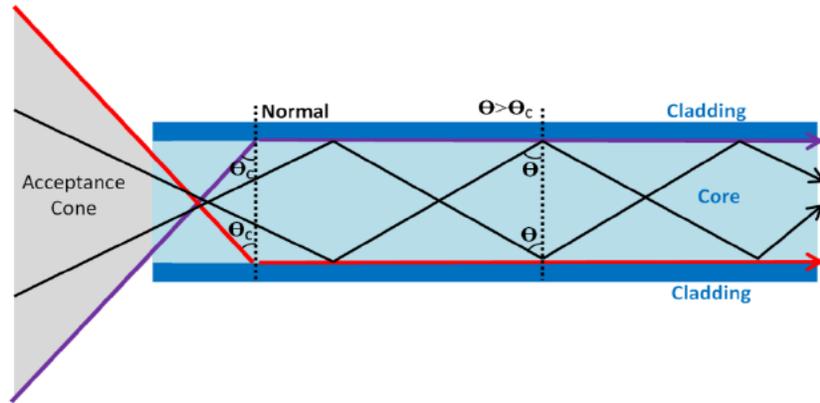
Gambar 6. Perambatan cahaya pada serat optik *step-index multimode* (Jasenek, 2006)

3. Karakteristik Transmisi pada Serat Optik

a. *Numerical Aperture*

Sinar cahaya yang masuk kedalam *core* serat optik membentuk sudut datang tertentu terhadap poros serat optik. Sudut yang menuju kearah permukaan serat optik (indeks bias udara = 1), tidak semua akan diteruskan. Gambar 3. akan menunjukkan adanya sudut dimana sinar diterima oleh serat optik yang disebut dengan *Numerical Aperture*.

Sinar tidak akan dapat melewati serat optik jika datang dengan sudut lebih besar dari sudut maksimal (Θ_{\max}). Sinar ini dapat masuk ke serat optik tetapi tidak dapat melewati serat optik karena sinar telah diserap oleh *cladding*. Sedangkan semua sinar dengan sudut datang kurang dari Θ_{\max} dapat masuk dan melewati serat optik, sinar ini akan mengalami pemantulan internal sempurna yang menyebabkan sinar tetap berada dalam serat optik (Hartono, 2010 : 16).



Gambar 7. Sudut dimana sinar dapat diterima oleh serat optik (Keiser, 2000)

Besarnya NA ditentukan dengan persamaan berikut :

$$NA = n \sin \theta_{max} = \sqrt{n_1^2 - n_2^2} \quad (1)$$

Dimana, n = indeks bias udara = 1

n_1 = indeks bias *core* = 1,49

n_2 = indeks bias *cladding* = 1,41

Semakin besar nilai NA menandai semakin tinggi efisiensi dari sumber optik dalam mengkoping sinar-sinar ke dalam serat optik (Mitschke, 2009:18-19).

Mengacu pada persamaan (1), NA pada serat optik tipe SH.4001-1.3 sebesar :

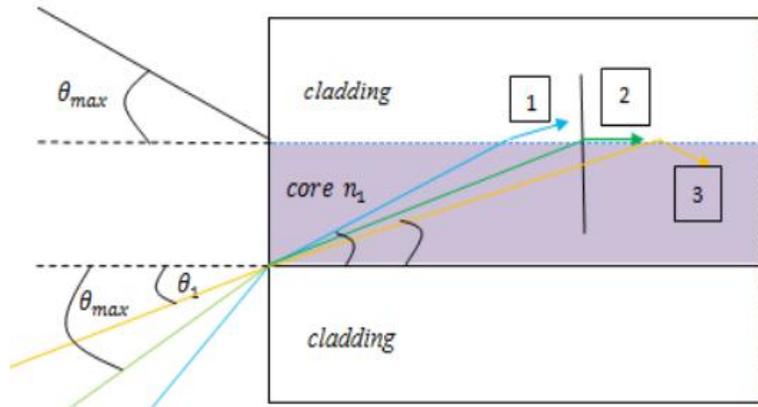
$$NA = \sqrt{1.49^2 - 1.41^2}$$

$$NA = 0,48167$$

b. Sudut Penerimaan Serat Optik

Selain harus mengetahui nilai NA , yang perlu diketahui dalam berhasilnya perambatan cahaya pada POF adalah sudut penerimaan. Sudut penerimaan ini dapat beraneka macam

tergantung kepada karakteristik indeks bias inti dan selubung serat optik.



Gambar 8. Sudut Penerimaan serat optik (Horson, 2010)

Untuk mengetahuinya, maka dapat dihitung nilai batas sudut penerimaan pada serat optik yang memungkinkan cahaya dapat masuk dan merambat didalam inti dari serat optik sehingga mendapatkan keluaran berupa tegangan, dengan persamaan (2) (Hartono, 2010) :

$$(\theta_1) = \text{arc sin } NA \quad (2)$$

$$(\theta_1) = \text{arc sin}(0.48167)$$

$$(\theta_1) = 28.79412^\circ$$

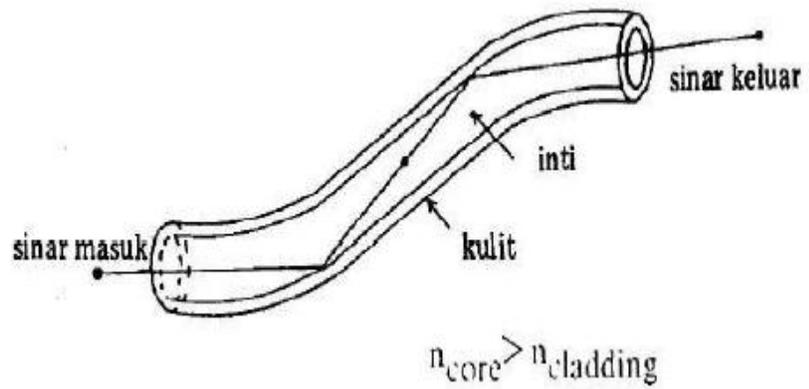
Dimana θ_1 merupakan sudut penerimaan serat optik.

Kemudian untuk memperoleh sudut datang cahaya yang masuk pada *core*, digunakan persamaan dari hukum Snellius sebagai berikut :

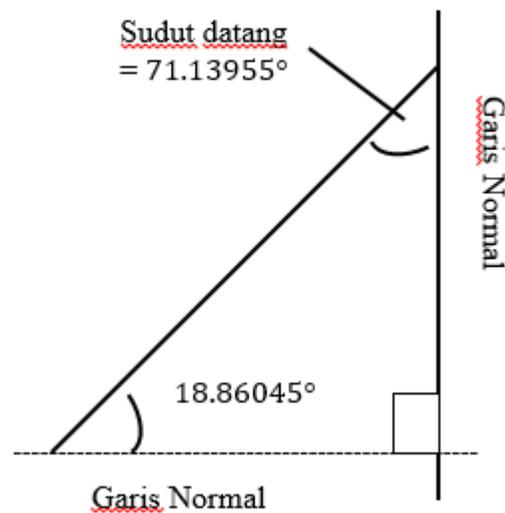
$$n_1 \sin \theta_1 = n_2 \sin \theta_2 \quad (3)$$

$$1 \sin 28.79412^\circ = 1.49 \sin \theta_2$$

$$\theta_2 = 18.86045^\circ$$



Gambar 9. Pemantulan Dinding Serat Optik (Hartono, 2010)



Gambar 10. Sudut Datang dalam Bidang Batas *Core-Cladding*

Ketika serat optik dalam keadaan lurus maka posisi garis normal tegak lurus pada bidang perbatasan. Gambar 10. menunjukkan bahwa antara garis normal lama dan garis normal

baru membentuk sebuah segitiga siku-siku yang selanjutnya digunakan untuk mengetahui nilai sudut datang didalam inti (θ_3). Jumlah nilai ketiga sudut didalam sebuah segitiga adalah 180° , maka nilai dari sudut datang didalam inti (θ_3) adalah 71.13955° .

Nilai tersebut diperoleh dengan menggunakan persamaan (4).

$$(\theta_3) = 180^\circ - 90^\circ - \theta_2 \qquad \theta_3 = \text{sudut datang} \qquad (4)$$

$$\theta_3 = 180^\circ - 90^\circ - 18.86045^\circ$$

$$\theta_3 = 71.13955^\circ$$

c. Sudut Kritis

Sudut perambatan sinar cahaya akan bertambah jika sinar memasuki sebuah bahan dengan indeks bias yang lebih kecil. Jika sudut datang sinar (di dalam bahan pertama) menuju bidang perbatasan terus diperbesar, akan tercapai suatu titik dimana sudut bias menjadi 90° dan sinar akan merambat sejajar dengan bidang perbatasan di dalam bahan kedua. Sudut datang yang menyebabkan terjadinya hal ini disebut sebagai sudut kritis.

Sudut kritis dapat dihitung dengan mengambil nilai sudut bias sebesar 90° dan memasukkannya ke dalam persamaan hukum Snellius :

$$n_1 \sin \theta_1 = n_2 \sin 90^\circ \qquad (5)$$

Karena nilai $\sin 90^\circ$ adalah 1, maka dapat disusun kembali persamaan diatas untuk mendapatkan \sin dan kemudian nilai

sudut (yang dalam kasus ini adalah sudut kritis yang dibicarakan)

$$\theta_c = \text{arc sin} \frac{n_2}{n_1} \quad (6)$$

Maka pada penelitian ini, dapat diperoleh nilai sudut kritisnya yaitu :

$$\theta_c = \text{arc sin} \frac{1.41}{1.49}$$

$$\theta_c = 71.13954^\circ$$

Dimana θ_c merupakan sudut kritis

d. Pelemahan Daya pada Serat Optik

Pada umumnya penggunaan media transmisi yang menggunakan suatu medium perantara seperti melalui kabel ataupun tanpa kabel memiliki kelemahan yang dapat mempengaruhi penurunan daya dari sistem yang dirancang. Sehingga ada beberapa aspek penting yang menjadi bahan pertimbangan dalam merancang suatu sistem jaringan. Salah satunya adalah penggunaan serat optik sebagai media transmisi tertentu yang dikenal dengan istilah pelemahan daya (Crisp, 2002).

Pelemahan daya transmisi pada serat optik ini adalah salah satu karakteristik penting yang mana pengaruhnya menghasilkan penurunan daya dari sistem. Secara umum pelemahan daya dapat disebabkan oleh faktor internal seperti bahan penyusun dan kondisi serat optik tersebut ataupun karena faktor eksternal seperti gangguan maupun komponen tambahan pada sistem jaringan serat optik tersebut. Hal ini dapat dipertimbangkan dari pemasangan serta banyaknya

komponen-komponen pendukung yang dibutuhkan dalam perancangan jaringan seperti *connector*, *splice*, ataupun komponen-komponen pendukung lainnya yang disambungkan pada saluran transmisi. Beberapa hal yang menyebabkan terjadinya pelemahan daya adalah absorpsi, hamburan *Rayleigh*, pemantulan Fresnel, rugi-rugi pembengkokan, dispersi dan radiasi (Elliot, 2002).

1) Absorpsi

Zat pengotor (*impurity*) apapun yang masih tersisa didalam bahan inti akan menyerap sebagian dari energi cahaya yang membuat cahaya yang merambat didalam serat optik.

2) Hamburan Rayleigh

Pencaran Rayleigh (*Rayleigh scatter*) adalah efek terpancarnya cahaya akibat terjadinya perubahan kecil yang bersifat lokal pada indeks bias bahan *core* dan bahan *buffer*. Dikatakan bersifat lokal karena perubahan hanya terjadi di lokasi-lokasi tertentu saja didalam bahan, dan ukuran daerah yang terkena pengaruh perubahan ini sangat kecil.

Terdapat dua hal yang menyebabkan terjadinya fenomena ini, dan keduanya timbul di dalam proses manufaktur. Sebab pertama adalah terdapatnya ketidakmerataan didalam adonan bahan-bahan pembuat serat optik. Ketidakmerataan 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 (Crisp, 2006).

3) Pemantulan Fresnel

Ketika sinar cahaya menumbuk sebuah bintik perubahan indeks bias dan terpecah ke segala arah, komponen pemantulan yang merambat dengan sudut datang mendekati garis normal (90°) akan lewat begitu saja menembus bidang perbatasan. Akan tetapi tidak semua bagian dari cahaya yang datang dengan sudut mendekati garis normal akan menembus bidang perbatasan. Sebagian kecil dari cahaya itu akan terpantul balik di bidang perbatasan. Efek ini dapat menjadi masalah bagi cahaya yang meninggalkan ujung keluaran serat optik. Di titik ini, terjadi perubahan seketika dari indeks bias *core* ke indeks bias yang ada di luar serat optik. Efek yang sama juga terjadi pada arah yang berlawanan. Sebagian kecil dari cahaya yang datang dan hendak memasuki serat optik terpantul balik oleh bidang perbatasan udara-*core*.

Gambaran dari sebagian pantulan cahaya yang dikembalikan melalui *interface* dinyatakan dalam formula Fresnel yaitu pada Persamaan 7 (Crisp, 2006).

$$A_F = 10 \log(1 - K_F) \text{ dB} \quad (7)$$

Sedangkan besarnya koefisien pantulan Fresnel dirumuskan :

$$K_F = \left\{ \frac{n_1 - n_0}{n_1 + n_0} \right\}^2 \quad (8)$$

Dimana :

A_F : redaman pantulan Fresnel

K_F : koefisien redaman pantulan Fresnel

n_1 : indeks bias inti serat dari serat yang disambungkan

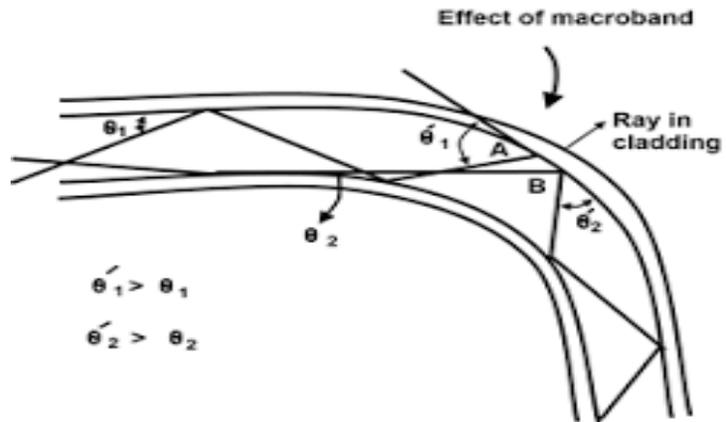
n_0 : indeks bias media perantara dari dua serat yang disambungkan

4) Rugi-Rugi Pembengkokan (*Bending*)

Bending yaitu pembengkokan serat optik yang menyebabkan cahaya yang merambat pada serat optik berbelok dari arah transmisi dan hilang. Sebagai contoh, pada serat optik yang mendapat tekanan cukup keras dapat menyebabkan ukuran diameter serat optik menjadi berbeda dari diameter semula, sehingga mempengaruhi sifat transmisi cahaya di dalamnya (Farrel, 2002). Pelemahan daya akibat pelengkungan serat optik dibedakan menjadi dua macam yaitu :

a. *Macro Bending* atau Pembengkokan Makro

Rugi-rugi *macroBending* terjadi ketika sinar atau cahaya melalui serat optik yang dilengkungkan dengan jari-jari lebih besar dibandingkan dengan diameter *core* serat optik sehingga menyebabkan rugi-rugi seperti terlihat dalam Gambar 11. (Keiser, 2000).



Gambar 11. Peristiwa rugi-rugi akibat pembengkokan makro (Andre, 2006)

Jari-jari kritis atau *critical radius* adalah jari-jari bengkokan mendekati pertambahan nilai rugi-rugi yang cepat. Jari-jari kritis pada *multi mode* sebagai (Farrel, 2002) :

$$R_c = \frac{3n_1^2\lambda}{4\pi[n_1^2 - n_2^2]^{\frac{3}{2}}} \quad (9)$$

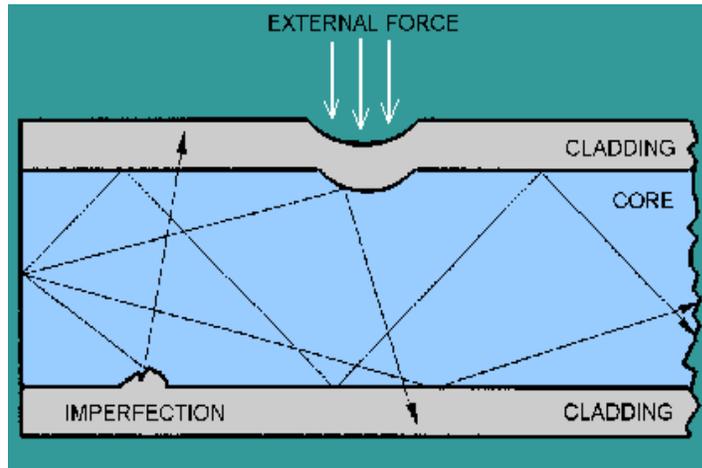
Besarnya nilai pelemahan daya dapat dipengaruhi oleh selisih indeks bias. Nilai *numerical aperture* yang besar akan menghasilkan nilai jari-jari kritis (R_c) dan nilai pelemahan yang kecil. Ketika dibengkokkan, serat optik mengalami stres. Stres ini mengakibatkan indeks bias bahan serat optik berubah menurut formulasi yang diperoleh secara eksperimen seperti pada Persamaan 10.

$$n' = n_{maksimal} e^{\left(\frac{x}{r}\right)} \approx n_{material} \left(1 + \frac{x}{r}\right) \quad (10)$$

Indeks bias serat stres karena pembengkokan (n') menderita distorsi dengan $x \ll R$, dimana R merupakan jari-jari pembengkokan dan x adalah posisi titik di dalam inti yang diukur dari sumbu serat optik dan bernilai antara $-r$ hingga $+r$ dengan r adalah jari-jari serat optik (Schermer, 2007).

b. *Micro Bending* atau Pembengkokan Mikro

Pembengkokan mikro pada prinsipnya menimbulkan efek yang sama dengan *macro bending*, 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 serat optik telanjang (serat optik yang hanya terdiri dari inti, *buffer* dan *buffer primer*). Permasalahan pembengkokan mikro pada umumnya timbul di dalam proses manufaktur. Penyebab yang biasa dijumpai adalah perbedaan laju pemuaihan dan penyusutan antara serat optik dan pelindung-pelindung luarnya (*buffer*). Peristiwa rugi-rugi serat optik akibat pembengkokan makro dapat di lihat pada Gambar 12. (Crisp, 2006).



Gambar 12. Peristiwa rugi-rugi akibat pembengkokan mikro (Crisp, 2006)

4. Sensor

Sensor adalah suatu peralatan yang berfungsi untuk mendeteksi gejala-gejala atau sinyal-sinyal yang berasal dari perubahan suatu energi, seperti : energi listrik, energi fisika, energi kimia, energi biologi, energi mekanik dan sebagainya. karakteristik sensor yang baik dan sesuai dinyatakan dalam parameter berikut (D Sharon dkk, 1982) :

a. Linearitas

Linearitas adalah indikator konsistensi pengukuran pada seluruh rentang pengukuran. Secara sederhana, linearitas memberi tahu kita seberapa baik pengukuran instrumen yang sesuai dengan kenyataan (Morris, 2001).

Nilai *ouput* suatu sistem linier dinyatakan sebagai berikut :

$$k = \frac{Ouput_{max} - Ouput_{min}}{Input_{max} - Input_{min}} \quad (11)$$

Dimana k adalah kemiringan garis lurus (Raifudin, 2013).

b. Sensitivitas

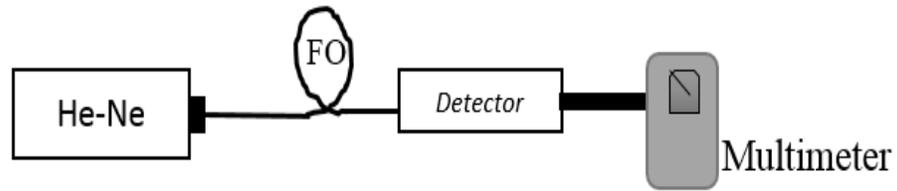
Sensitivitas adalah ukuran perubahan dalam keluaran instrumentasi yang terjadi ketika kuantitas yang diukur berubah dengan jumlah tertentu. Sensitivitas sering juga dinyatakan

dengan bilangan yang menunjukkan “perubahan keluaran dibandingkan unit perubahan masukan” (Morris, 2001).

Selain dua karakteristik diatas, karakteristik sensor yang lain yaitu : tanggapan waktu, akurasi, presisi, resolusi, kesalahan kalibrasi, histeresis, keluaran skala penuh, saturasi, *span*, impedansi keluaran, dan lain-lain (Fraden, 2004).

5. Prinsip dan Tipe Sensor Optik

Sensor serat optik adalah jenis sensor optik yang menggunakan serat optik dalam mekanisme penginderaan atau pendeteksian, baik sebagai komponen aktif sensor maupun sekedar sebagai pemandu gelombang saja. Sistem sensor optik dilengkapi dengan paling tidak tiga komponen utama, yaitu komponen optoelektronik, *link* optik dan probe. Komponen optoelektronika meliputi sumber cahaya, detektor optik dan pengolah sinyal. *Link* optik berupa gelombang serat optik yang berfungsi memandu cahaya ke atau dari bagian penginderaan. Sedangkan probe adalah bagian *sensing* atau *transducing*, baik pada bagian di dalam serat optik atau di luar serat optik, yang bertindak sebagai transduser dan berinteraksi langsung dengan obyek atau besaran yang diukur. Sensor serat optik didasarkan pada mekanisme modulasi gelombang cahaya dari suatu sumber seperti LED, laser dioda, 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). Skema sistem sensor serat optik dapat digambarkan sebagai berikut :



Gambar 13. Skema sistem sensor serat optik

6. Pemantulan Cahaya

Pemantulan cahaya terjadi jika suatu cahaya memantul pada suatu bidang atau jika mengenai suatu benda yang ada. Pemantulan cahaya ini dapat dibedakan menjadi dua yaitu :

a. Pemantulan Biasa

Pemantulan biasa adalah pemantulan dimana cahaya yang dipantulkan membentuk suatu pola yang teratur. Sinar-sinar sejajar yang datang pada permukaan cermin dipantulkan sebagai sinar-sinar sejajar pula. Akibatnya cermin dapat membentuk bayangan benda. Pemantulan semacam ini juga disebut pemantulan teratur (Gunawan, 2015).

b. Pemantulan Baur

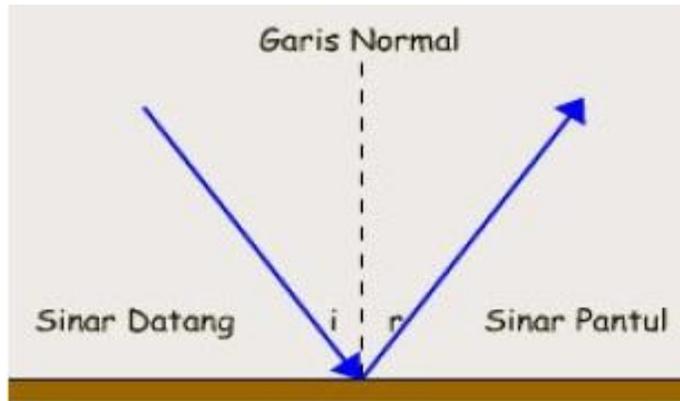
Pemantulan baur adalah pemantulan yang terjadi apabila cahaya mengenai permukaan yang tidak datar atau tidak rata sehingga pemantulan yang terjadi akan membaur dan tidak teratur (Gunawan, 2015).

c. Hukum Pemantulan Cahaya

Menurut Snellius, hukum pemantulan cahaya adalah sebagai berikut :

- 1) Sinar datang, garis normal dan sinar pantul terletak pada satu bidang datar.

2) Sudut datang (i) = sudut pantul (r)



Gambar 14. Pemantulan Cahaya (Gunawan, 2015).

Gambar 14. menunjukkan adanya sudut i yang merupakan sudut kritis yaitu sudut datang yang akan menyebabkan sudut bias menjadi 90° terhadap garis normal. Apabila sudut datang cahaya lebih besar dari sudut kritis maka cahaya tersebut akan dipantulkan. Sedangkan, jika sudut datang cahaya lebih kecil dari sudut kritis maka cahaya tersebut akan dibiaskan. Efek ini juga disebut sebagai pemantulan internal sempurna (Gunawan, 2015).

Pemantulan internal sempurna terjadi jika :

- 1) Sinar datang dari medium yang rapat ke medium kurang rapat dan sinar akan dibiaskan menjauhi garis normal.
- 2) Sudut i merupakan sudut kritis yaitu sudut datang yang akan menyebabkan sudut bias menjadi 90° terhadap garis normal.
- 3) Sudut datang lebih besar dari sudut kritis maka cahaya akan dipantulkan (Crisp dan Elliot, 2005).

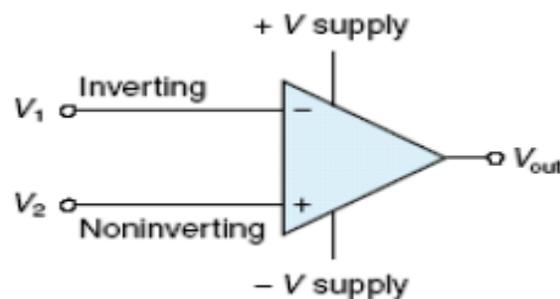
7. Rangkaian Pengikut Tegangan

a. Operational Amplifier (Op-Amp)

Operational Amplifier (Op-Amp) adalah penguat linier yang biasanya dikemas di dalam suatu IC (Integrated Circuit). Satu IC bisa berisi satu atau empat *Op-Amp* biasanya. Operational amplifier merupakan penguat analog yang cukup baik karena memiliki karakteristik sebagai berikut:

- 1) Memiliki gain open loop yang sangat tinggi : $A = 100.000$
- 2) Tahanan input yang sangat tinggi : $R_{in} > 1 \text{ M}$
- 3) Tahanan output yang sangat rendah : $R_{out} = (50 - 70) \text{ ohm}$

Karakteristik ini memudahkan perancangan misalnya kita dapat membuat penguat dengan gain open loop yang tinggi dan stabil antara 1 sampai 1000 atau lebih. Sedangkan keuntungan dari tahanan input yang sangat tinggi adalah Op-Amp menyita arus yang sangat kecil sehingga tidak membebani rangkaian yang dihubungkan ke input Op-Amp. Sedangkan tahanan output yang besar berarti Op-Amp dapat menggerakkan beban tanpa terbebani. Tapi Op-amp adalah penguat sinyal bukan penguat daya sehingga tidak dapat langsung dihubungkan ke beban dengan arus yang besar seperti loudspeaker atau motor secara langsung (Sendari S, 2001)



Gambar 15. Simbol Op-amp (Sendari S, 2001)

Gambar 15. memperlihatkan simbol dari Op-amp yang terdiri dari dua tegangan input (V_1 dan V_2) serta satu tegangan keluaran (V_{out}). Selain itu diperlihatkan juga dua daya masukan (V_{supply}). Pada Op-amp tidak ada *ground*. Tegangan output dapat berkisar sampai 80% dari tegangan input. Hampir semua Op-Amp adalah penguat diffrensial artinya keluaranya merupakan perkalian dari selisih tegangan masukan seperti yang dituliskan pada persamaan di bawah ini :

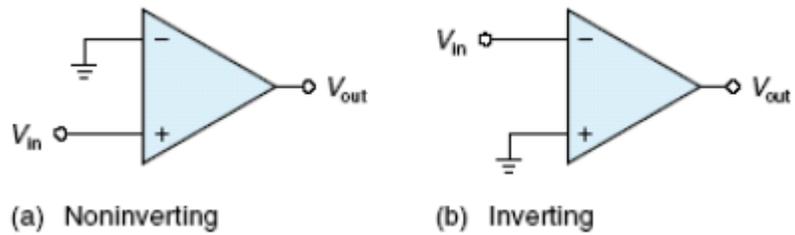
$$V_{out} = A (V_2 - V_1) \quad (12)$$

A adalah *gain open loop*

$V_1 =$ *inverting input*

$V_2 =$ *non inverting input*

Gain open loop adalah *gain* (penguat) dari Op-Amp sebelum dihubungkan dengan rangkaian tambahan besarnya sekitar 100.000 atau lebih. Sedangkan non inverting input adalah tegangan input yang sefasa dengan keluaran. Jika *non inverting input* positif maka keluaran akan menjadi positif. Sebaliknya terjadi pada *inverting input*. Tetapi secara serempak *input* dari Op-Amp hanya satu tegangan yaitu selisih dari V_1 dan V_2 pada persamaan tadi. Bisa juga memang kalau kita ingin memasang satu *input* saja pada Op-Amp, misalnya bila kita menginginkan *output* dari Op-Amp sefasa dengan *input* maka kita dapat menghubungkan *input non inverting* dengan tegangan *input* (V_{in}) dan *input non inverting* dengan *ground* (Gambar 16(a)). Jika ingin *output*-nya berlawanan fasa yaitu saat input negatif maka *output*nya positif maka dapat dilakukan cara pada Gambar 16(b).



(a) Noninverting

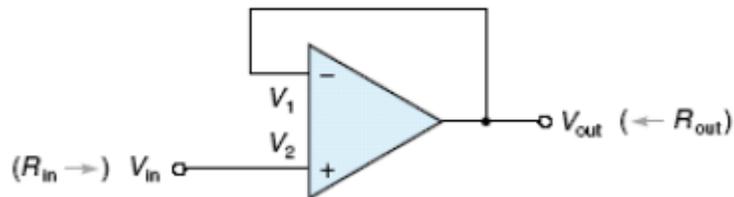
(b) Inverting

Gambar 16. Input Tunggal (Sendari S, 2001)

Banyak jenis Op-Amp yang ada dipasaran misalnya jenis *general purpose*, *wide bandwidth*, *low noise* dan frekuensi yang tinggi. Tapi untuk pengaturan biasanya penguat sinyal cukup menggunakan Op-Amp 741 (MC741) seperti yang diperlihatkan pada *datasheet* di gambar 16.a. Disamping pin untuk tegangan input dan tegangan output terdapat juga dua pin yang disebut *offset null*, kegunaan dari *offset nul* ini adalah seperti yang ditunjukkan pada gambar 16.b. adalah untuk mengatur tegangan output naik atau turun agar bias menghilangkan tegangan *offset* DC. Tegangan *offset* DC adalah tegangan kecil DC yang terjadi pada tegangan output saat selisih tegangan input nol. Seharusnya tegangan output juga nol, maka *offset null* ini digunakan untuk menolkan tegangan output. Jika melihat *datasheet* pada gambar 13. Tertulis *gain voltage* adalah 50-200 V/mV. Ini berarti bila input yang masuk 1 mV maka keluaran dari Op-Amp sebesar 50 V atau sebesar penguatan 50.000. Op-Amp 741 merupakan Op-Amp versi lama yang masih dipakai di laboratorium, sekarang ini sudah banyak tipe-tipe lain yang lebih canggih dan lebih baru misalnya LF355, LM308, LF411. LF411 memiliki tegangan input yang sangat tinggi dan tanpa tegangan offset (Sendari S, 2001).

b. *Voltage Follower* (Pengikut Tegangan)

Rangkaian pengikut tegangan berguna untuk meningkat arus tanpa mengubah tegangannya. Digunakan untuk mengubah sinyal berimpedansi tinggi (mudah terbebani) menjadi sinyal berimpedansi rendah (sukar terbebani) yang kokoh (*robust*). *Gain* tegangannya 1.



Gambar 17. Voltage Follower (Sendari S, 2001)

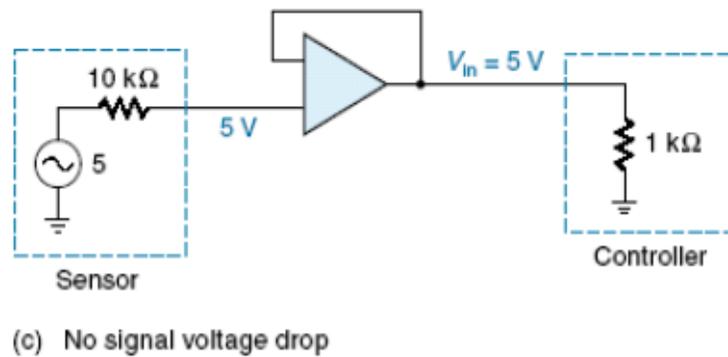
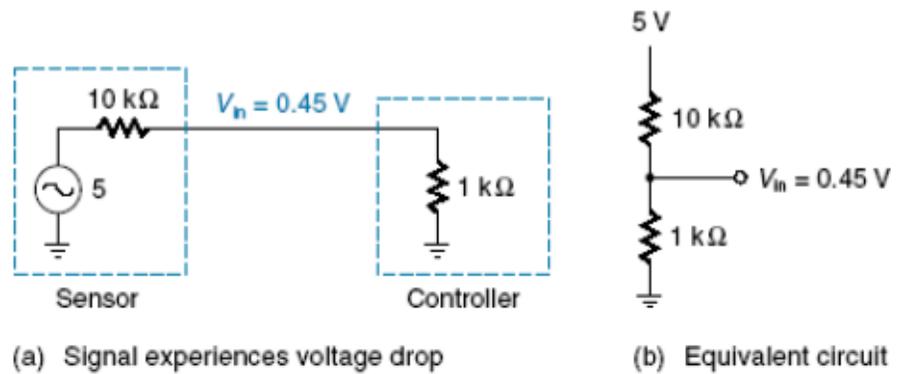
R_{in} adalah tahanan yang sangat besar dan R_{out} adalah tahanan yang sangat kecil. Kembali ke persamaan awal saat V_{out} sama dengan V_1 maka persamaan awal menjadi :

$V_{out} = A(V_2 - V_{out})$ sehingga bila V_{out} yang dicari maka persamaan menjadi

$$V_{out} = \frac{AV_2}{1+A} \approx V_2 \quad (13)$$

dengan V_2 adalah V_{in} jadi $V_{out} = V_{in}$.

Gambar 18.a. memperlihatkan sensor yang mengalami beban turun saat dihubungkan dengan pengatur (*controller*) sehingga tegangan yang diterima pengatur lebih rendah. Sedangkan Gambar 18.c. memperlihatkan pemasangan *voltage follower* yang menyebabkan tidak adanya pembebanan turun.



Gambar 18. Pemasangan voltage follower untuk mencegah tegangan drop (Sendari S, 2001)

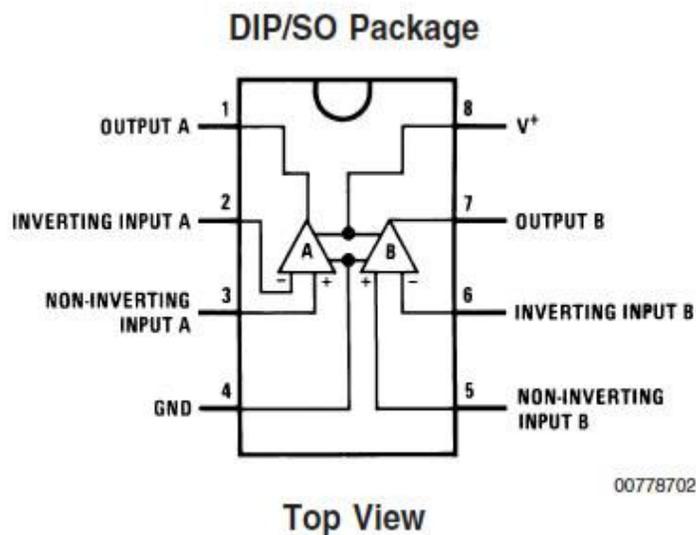
c. IC LM358

Penguat operasional IC LM358 adalah suatu rangkaian elektronika yang dikemas dalam bentuk rangkaian terpadu (IC). Perangkat ini sering di gunakan sebagai penguat sinyal-sinyal, baik yang linier maupun non linier terutama dalam sistem-sistem pengaturan dan pengendalian, instrumentasi, komputasi analog. Keuntungan dari pemakaian penguat operasional ini adalah karakteristiknya yang mendekati ideal sehingga dalam merancang rangkaian yang menggunakan penguat ini lebih mudah dan juga karena penguat ini bekerja pada tingkatan yang cukup dekat dengan karakteristik kerjanya.

Karakteristik utama sebuah penguat operasional yang ideal adalah :

- 1) Impedansi masukan yang tak terhingga
- 2) Impedansi keluaran sama dengan nol
- 3) Penguatan Loop terbuka tak terhingga

LM358 merupakan rangkaian terintegrasi yang memiliki dua penguat operasional. Terdiri dari 4 masukan, memiliki faktor penguatan yang besar dan frekuensi internal yang berubah-ubah, yang mana di desain secara spesifik untuk beroperasi dari sebuah power supply melalui sebuah range tegangan. IC ini memiliki spesifikasi sebagai berikut (Pramudijanto, 2006) :



Gambar 19. Konfigurasi Pin LM358 (S. Iwan, 2009)

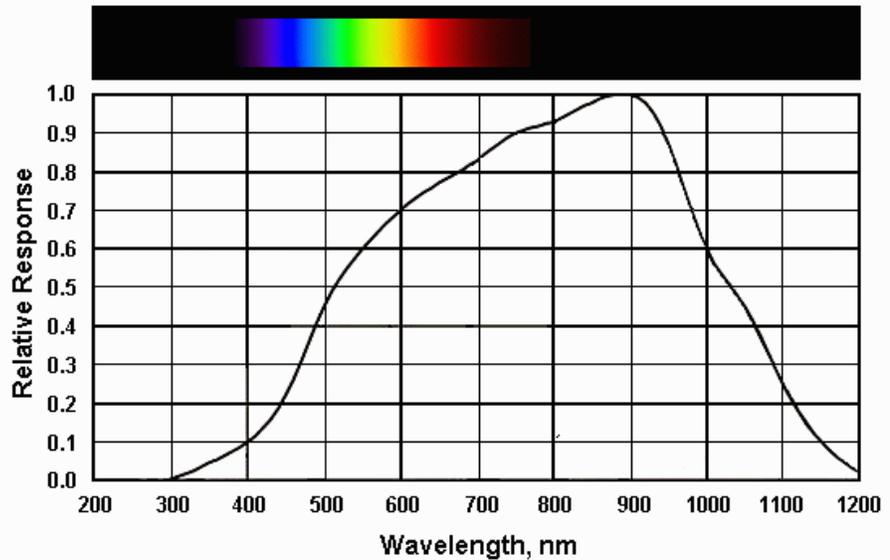
- 1) Frekuensi internal yang dapat di ubah untuk penguatannya.
- 2) Penguatan tegangan yang besar (100 dB).
- 3) Memiliki besar range tegangan antara 3V-32V.
- 4) Arus bias input rendah (20nA).
- 5) Arus offset input rendah (2nA).
- 6) Tegangan offset input rendah (2mV).
- 7) Tegangan output besar, berkisar 0 sampai ($V_{cc}-1,5V$).

d. Fotodioda

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

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

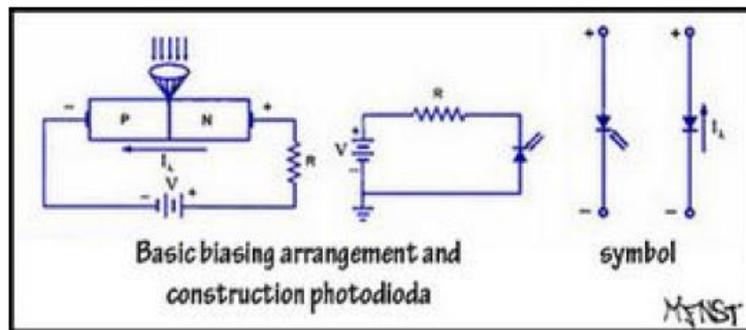
Karena fotodioda terbuat dari semikonduktor p-n *junction* maka cahaya yang diserap oleh fotodioda akan mengakibatkan terjadinya pergeseran foton yang akan menghasilkan pasangan elektron dan *hole* di kedua sisi dari sambungan. Ketika elektron itu akan mengalir ke arah positif sumber tegangan sedangkan *hole* yang dihasilkan mengalir ke arah negative sumber tegangan sehingga arus akan mengalir didalam rangkaian. Besarnya pasangan electron ataupun *hole* yang dihasilkan tergantung dari besarnya intensitas cahaya yang diserap oleh fotodioda (S. Iwan, 2009).



Typical Silicon Photodiode Spectral Response

Gambar 20. Panjang Gelombang yang Dihasilkan Oleh Badan Fotodiode (Pakpahan, 1985)

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



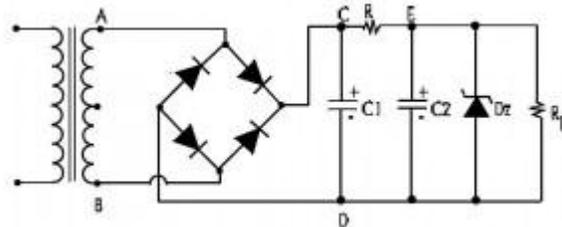
Gambar 21. Struktur Dioda (Pakpahan, 1985)

Sifat dari fotodiode adalah :

- a. Jika terkena cahaya maka resistansinya berkurang
- b. Jika tidak terkena cahaya maka resistansinya meningkat.

e. *IC Voltage Regulator* (Regulator Tegangan)

Regulator tregangan adalah bagian power supply yang berfungsi untuk memberikan stabilitas output pada suatu power supply. Output tegangan DC dari penyearah tanpa regulator mempunyai kecenderungan berubah harganya saat dioperasikan. Adanya perubahan pada masukan AC dan variasi beban merupakan penyebab utama terjadinya ketidakstabilan pada power supply. Pada sebagian peralatan elektronika, terjadinya perubahan catu daya akan berakibat cukup serius. Untuk mendapatkan pencatu daya yang stabil diperlukan regulator tegangan. Regulator tegangan untuk suatu power supply paling sederhana adalah menggunakan dioda zener (Pakpahan, 1985). Rangkaian dasar penggunaan dioda zener sebagai regulator tegangan dapat dilihat pada gambar rangkaian dibawah.



Gambar 22. Regulator Tegangan Pada Power Supply (Pakpahan, 1985)

Rangkaian pencatu daya (*power supply*) dengan regulator diode zener pada gambar rangkaian diatas, merupakan contoh sederhana cara pemasangan regulator tegangan dengan dioda zener. Diode zener dipasang paralel atau shunt dengan L dan R . Regulator ini hanya memerlukan sebuah diode zener terhubung seri dengan resistor RS . Perhatikan bahwa diode zener dipasang dalam posisi reverse bias. Dengan cara pemasangan ini, diode zener hanya akan berkonduksi saat

tegangan *reverse* bias mencapai tegangan *breakdown* dioda zener. Penyearah berupa rangkaian diode tipe jembatan (*bridge*) dengan proses penyaringan atau filter berupa filter-RC. Resistor seri pada rangkaian ini berfungsi ganda. Pertama, resistor ini menghubungkan C1 dan C2 sebagai rangkaian filter. Kedua, resistor ini berfungsi sebagai resistor seri untuk regulator tegangan (dioda zener). Diode zener yang dipasang dapat dengan sembarang dioda zener dengan tegangan *breakdown* misal dioda zener 9 volt. Tegangan output transformer harus lebih tinggi dari tegangan *breakdown* dioda zener, misalnya untuk penggunaan dioda zener 9 volt maka gunakan output transformer 12 volt. Tegangan *breakdown* dioda zener biasanya tertulis pada body dari dioda tersebut (Pakpahan, 1985).

B. Kerangka Berpikir

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh jumlah lintasan, pengaruh perubahan massa beban, dan pengaruh pengupasan mantel terhadap intensitas cahaya POF berbentuk lingkaran. Selain itu tujuan dari penelitian ini juga untuk mengetahui sensitivitas dan linieritas terbaik pada sensor pengukur massa POF berbentuk lingkaran.

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

Pelekukan pada POF (*macro bending*) dapat dimanfaatkan melalui dua cara, yaitu dengan memanfaatkan *atenuasi* yang terjadi didalam serat optik dan memanfaatkan cahaya yang lolos dari serat optik. Ketika serat optik

dilekukan, cahaya yang mengenai bidang perbatasan *core-cladding* akan membentuk sudut datang (Θ_{core}) tertentu. Karena sudah diketahui indeks bias *core* dan *cladding* dari serat optik, maka dapat ditentukan besar sudut kritis pada serat optik tersebut. Jika sudut datang yang mengenai bidang perbatasan *core-cladding* lebih kecil dari sudut kritis maka cahaya keluar dari *core* dan masuk kedalam *cladding*. Besar sudut pembiasan cahaya yang terjadi didalam *cladding* ditentukan dengan menggunakan hukum Snellius. Cahaya yang merambat didalam *cladding* dan akhirnya mengenai bidang perbatasan akan membentuk sudut datang ($\Theta_{cladding}$) tertentu. Selanjutnya nilai sudut kritis berubah karena medium tempat cahaya merambat tidak lagi *core-cladding*, melainkan *cladding-udara*.

Cahaya mengenai sebuah bahan maka akan terjadi dua hal, yaitu sebagian cahaya dipantulkan dan sebagian cahaya lagi akan dibiaskan kedalam medium berikutnya. Pemantulan pada suatu bahan dapat dihitung dengan menggunakan persamaan Fresnel.

Mengacu pada dasar-dasar diatas, pada penelitian ini untuk mendapatkan pelemahan daya yang diinginkan maka peneliti memberikan perlakuan dengan membengkokkan serat optik menjadi sebuah lingkaran. Selain membengkokkan serat optik, dalam penelitian ini juga memberikan massa beban diatas serat optik yang dibengkokkan tersebut. Dengan pemberian massa beban diatas serat optik maka diameter lingkaran dari serat optik itu sendiri akan semakin kecil (memipih) sehingga dapat menggeser garis normal. Sehingga seakan-akan sudut datang menjadi lebih kecil dari sudut kritisnya dan cahaya akan dibiaskan dari serat optik. Dalam membengkokkan serat optik, peneliti juga memberikan variasi jumlah lintasannya, yaitu dengan membentuk lingkaran dengan jumlah 1 lingkaran, 2 lingkaran dan 3 lingkaran. Jumlah lintasan ini dapat mempengaruhi keluaran intensitas cahaya yang diterima oleh *receiver*. Semakin banyak jumlah lintasannya maka akan semakin besar pula pelemahan daya yang dialami oleh

serat optik. Hal ini terjadi karena lekukan yang dialami serat optik semakin banyak.

Pelemahan daya pada penelitian ini dapat dilihat pada *receiver* yang telah disambungkan oleh multimeter digital. Multimeter digital ini akan dapat menunjukkan berapa besar tegangan yang dihasilkan oleh serat optik. Intensitas cahaya keluaran ini dapat dijadikan parameter karena alat pengukur intensitas cahaya belum dimiliki oleh laboratorium fisika UNY dan sulitnya mengukur intensitas cahaya. Sehingga intensitas cahaya yang masuk dari laser ke serat optik dikonversi menjadi tegangan oleh *receiver* untuk memudahkan pengukuran.

BAB III

METODE PENELITIAN

A. Waktu dan Tempat Penelitian

1. Waktu Penelitian

Penelitian tentang Pengaruh Variasi Jumlah Lintasan yang dibentuk Melingkar Terhadap Karakteristik Keluaran Serat Optik sebagai Sensor Pengukur Massa dilakukan pada bulan Desember 2016 sampai maret 2017.

2. Tempat Penelitian

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

B. Obyek Penelitian

Obyek dalam penelitian ini adalah kabel serat optik tipe SH-4001-1.3 dengan panjang satu meter yang *buffer* nya diberi perlakuan. Jumlah variasi lintasan serat optik nya yaitu satu lintasan, dua lintasan dan tiga lintasan berbentuk lingkaran berdiameter tetap 5 cm.

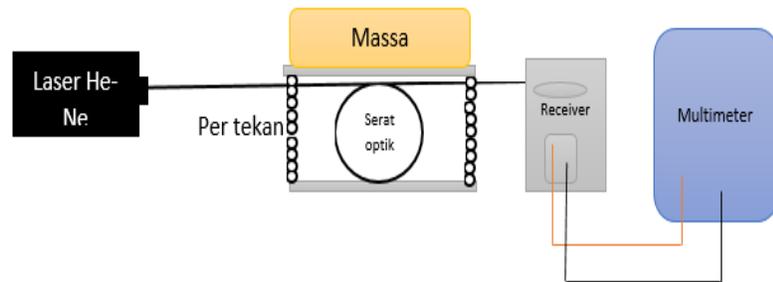
C. Variabel Penelitian

1. Variabel bebas : perubahan massa dan jumlah lingkaran.
2. Variabel terikat : intensitas cahaya keluaran dari laser He-Ne yang diterima oleh *receiver*
3. Variabel kontrol : Diameter lingkaran, dan jarak antar lingkaran.

D. Desain Penelitian

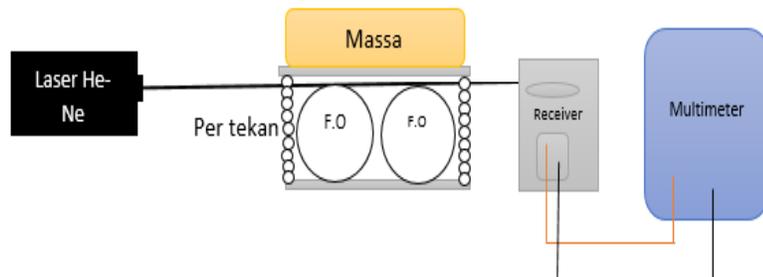
1. Setup

1) 1 lintasan



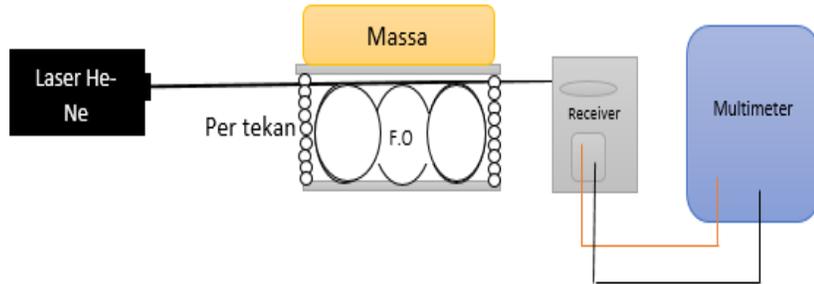
Gambar 23.1. Desain Penelitian Serat Optik yang dibentuk Satu Lingkaran

2) 2 lintasan



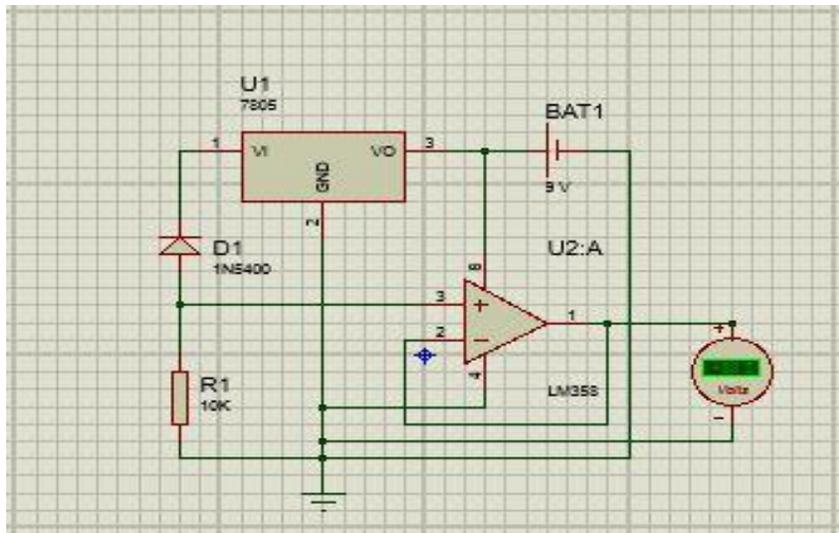
Gambar 23.2. Desain Penelitian Serat Optik yang dibentuk Dua Lingkaran

3) 3 lintasan



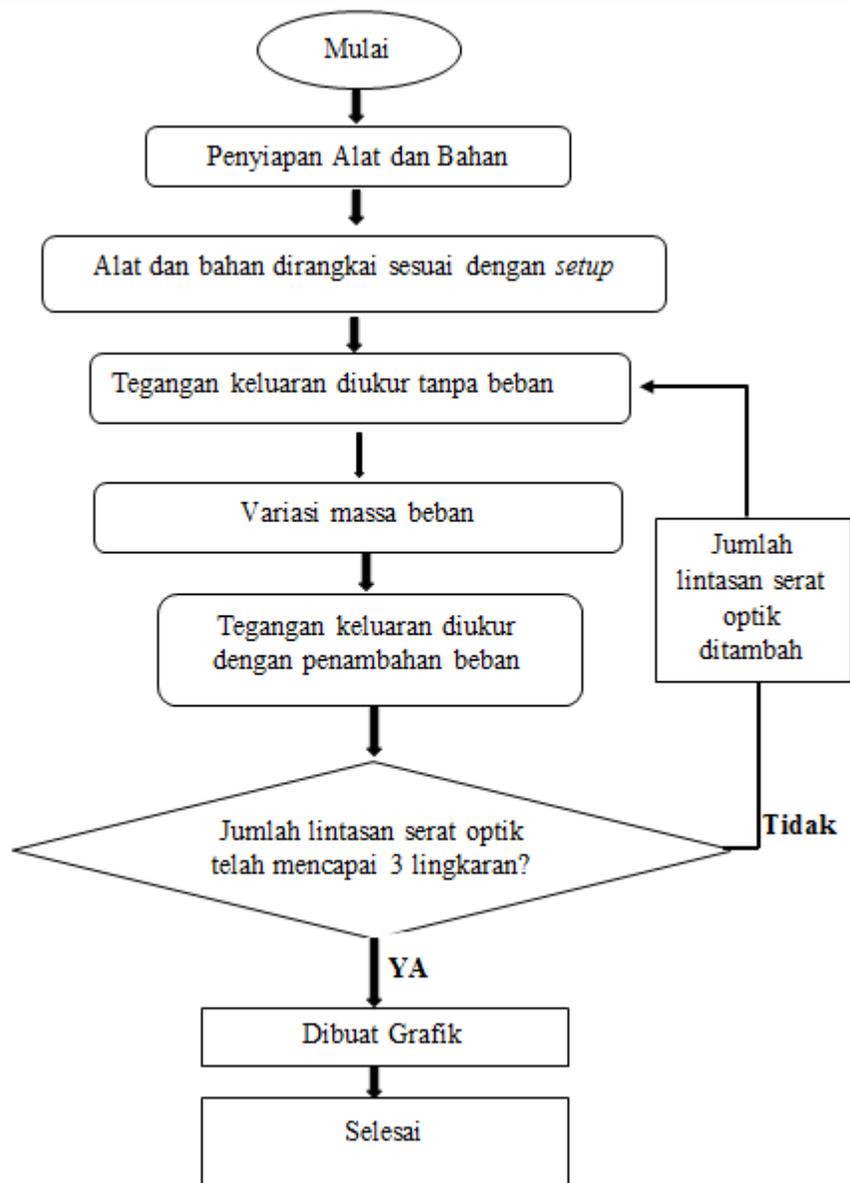
Gambar 23.3. Desain Penelitian Serat Optik yang dibentuk Tiga Lingkaran

4) Rangkaian Pengikut Tegangan (*Receiver*)



Gambar 23.4 Desain Rangkaian Pengikut Tegangan

2. Flow Chart



Sebelum memulai penelitian, peneliti menyiapkan alat dan bahan. Kemudian memulai untuk merangkai alat dan bahan sesuai dengan *setup*. Selanjutnya mengukur tegangan keluaran yang diterima oleh *receiver* baik Setelah diperoleh data tegangan keluaran tanpa pemberian massa beban, dilanjutkan menimbang pasir sebesar 50 gram sampai 1000 gram dengan kelipatan 50 gram setiap penambahan. Kemudian meletakkan pasir yang telah ditimbang diatas serat optik. Selanjutnya mencatat kembali hasil tegangan keluaran yang diterima oleh *receiver*. Langkah tersebut dilakukan dengan memvariasi perlakuan terhadap *buffer* dari serat optik, dimana *buffer* tersebut dibiarkan utuh dan sebagian dikelupas. Langkah selanjutnya yaitu mengulagi semua langkah dengan memvariasi jumlah lintasan serat optik dengan jumlah variasi 1 lingkaran, 2 lingkaran dan 3 lingkaran. Kemudian data yang diperoleh dibuat grafik.

E. Alat dan Bahan Penelitian

1. Bahan

a. Kabel serat optik tipe SH-4001-1.3

Kabel serat optik tipe ini memiliki *core* yang terbuat dari *Polymethyl-Methacrylate Resin*, untuk *cladding*-nya terbuat dari *Fluorinated Polymer*, sedangkan *buffer*-nya berwarna hitam yang terbuat dari *Polyethylene*. Pada penelitian ini, serat optik dibentuk melingkar dengan diameter tetap 5 cm. Karena dari spesifikasi pabrik, serat optik ini akan pecah ketika ditekuk dengan diameter lebih kecil dari 50 mm. Untuk spesifikasi lebih *detail* dari serat optik tipe SH-4001-1.3 telah terlampir.

b. Laser Helium-Neon

Laser yang digunakan yaitu laser He-Ne Shimadzu dengan daya maksimum 5mW dan panjang gelombang 632,8 nm. Berkas laser He-Ne mempunyai keistimewaan dibanding dengan sumber cahaya

konvensional, yaitu berkasnya kecil dan sangat terarah, monokromatik, koheren, dan kecerahannya tinggi. Komponen utama laser He-Ne adalah zat aktif, cermin-cermin *resonator*, dan pemompa energi. Bahan aktif yang digunakan adalah campuran gas Helium (He) dan Neon (Ne) dengan perbandingan 7 : 1. Zat aktif ini ditempatkan pada sebuah tabung dengan tekanan satu torr. Resonator terdiri dari dua buah cermin. Cermin pertama memiliki koefisien reflektivitas sampai 99,99% dan cermin kedua disebut dengan cermin keluaran adalah cermin penerus sebagian (*partially transmitting*) (Rohman, 2011).

Masalah utama dalam laser gas adalah bagaimana atom dapat dirangsang secara terpilih ke tingkat tertentu dalam jumlah yang cukup untuk mencapai pembalikan populasi. Pomompaan elektrik kedalam zat aktif akan menghasilkan populasi elektron tereksitasi yang cukup memadai. Atom He ternyata lebih siap merangsang oleh kejutan electron daripada atom Ne. Interaksi antara elektron-elektron yang dihasilkan atom-atom He yang elektron-elektronnya tereksitasi. Jika suatu atom He dalam keadaan metastabil membentur atom Ne akan naik ke tingkat 2s atau 3s dan atom He akan kembali ke keadaan dasar. Hal ini memungkinkan mekanisme populasi terpilih yang secara terus-menerus memberikan atom-atom Ne ke tingkat-tingkat 2s dan 3s dari atom-atom Ne yang memiliki umur sekitar 10^{-8} detik merupakan kondisi yang amat sesuai untuk terjadinya aksi laser . Dengan transisi-transisi energi yang mungkin seperti telah dijelaskan diatas aksi laser dari campuran atom-atom He dan Ne dapat menghasilkan keluaran laser dengan panjang gelombang 0,6328 μm ; 115 μm ; dan 3,29 μm (Rohman, 2011).

- c. Papan kayu yang digunakan sebagai penyangga serat optik dan beban
- d. Peer tekan digunakan sebagai penyangga papan kayu

- e. Sekrup
 - f. Lem kayu
 - g. Pasir digunakan sebagai beban
 - h. Wadah sebagai tempat pasir
2. Alat
- a. Rangkaian pengikut tegangan sebagai *receiver*.
 - b. Timbangan digital Scout Pro digunakan untuk menimbang pasir. Dapat mengukur hingga 2000 gram dengan ketelitian 0.1 gram.
 - c. Multimeter digital Sanwa CD800a. Jangkauan ukur untuk DCV 400mV-600V dengan ketelitian 0.1mV.

F. Prosedur Penelitian

Tahap selanjutnya pada penelitian ini adalah menyusun alat seperti pada desain alat penelitian, dengan prosedur sebagai berikut :

1. Tahap pertama adalah merangkai rangkaian pengikut tegangan seperti pada desain penelitian perangkat lunak.
2. Meyambungkan rangkaian pengikut tegangan dengan *power supply*.
3. Selanjutnya mengeset tegangan pada *power supply* sebesar 9 Volt.
4. Menghubungkan rangkaian pengikut tegangan dengan multimeter digital
5. Memotong serat optik sepanjang 1 meter, kemudian di amplas supaya permukaannya rata. Lalu membersihkan serat optik dengan tisu yang sudah dicelupkan pada alkohol.
6. Serat optik yang telah di potong dan dibersihkan, kemudian di bentuk lingkaran dengan diameter 5cm. Lingkaran serat optik tersebut di rekatkan atau di tempelkan diantara dua papan kayu.
7. Salah satu ujung serat optik disambungkan pada laser Helium-Neon dan satu ujung yang lain di sambungkan pada photodiode yang terdapat pada rangkaian pengikut tegangan.

8. Mengukur tegangan yang dihasilkan dengan melihat pada multimeter digital dan mencatat tegangan yang dihasilkan.
9. Menimbang pasir dengan timbangan digital.
10. Meletakkan pasir diatas papan kayu dengan massa 50 gram hingga 1000 gram dengan kelipatan 50 gram.
11. Mengukur tegangan yang dihasilkan oleh serat optik sebelum diberi beban dan setelah diberi beban, kemudian mencatatnya.
12. Pengukuran tegangan keluaran selanjutnya adalah dengan menambah jumlah lintasan berbentuk lingkaran yaitu 1 lintasan, 2 lintasan dan 3 lintasan dengan diameter tetap 5 cm.

G. Teknik Analisis Data

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

1. *Ouput* POF akan dideteksi menggunakan multimeter digital yang dihubungkan dengan rangkaian pengikut tegangan.
2. Intensitas cahaya keluaran yang diterima oleh multimeter digital yang dihubungkan dengan rangkaian pengikut tegangan dicatat setiap adanya penambahan massa.
3. Dengan informasi nilai indeks bias yang dimiliki *core* dan *cladding* dari serat optik, dapat digunakan untuk menghitung *Numerical Aperture* (NA), sudut penerimaan, sudut datang, dan sudut kritis serat optik.
4. Semua perhitungan dalam analisis data dengan menggunakan *Microsoft Excel*.
5. Membuat grafik hubungan antara massa (gram) dan tegangan keluaran (V) pada setiap variasi serat optik dengan menggunakan *Origin 6.1*.
6. Perhitungan nilai sensitivitas dan linearitas untuk setiap perlakuan pada POF.

BAB IV

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

A. Karakteristik Perambatan Cahaya Pada Serat Optik Plastik Tipe SH.4001-1.3

Proses perambatan cahaya dimulai dari menentukan nilai *numerical aperture* (*NA*). nilai *NA* dari sebuah serat optik berguna untuk mengetahui parameter yang mengukur kemampuan serat optik dalam mengumpulkan atau memerangkap cahaya. Nilai indeks bias *core* dan *cladding* dapat digunakan untuk mengetahui nilai *NA* seperti pada persamaan (1). Dari persamaan tersebut diperoleh nilai *NA* sebesar 0,48.

Karena sudut penerimaan juga mengindikasikan kisaran nilai sudut datang untuk sebuah cahaya yang masuk ke dalam serat optik, yang masih memungkinkan untuk dapat merambat di dalam inti hingga mencapai ujung *ouput*, maka seharusnya terdapat hubungan yang jelas antara *NA* dan sudut penerimaan. Karena sudut penerimaan ini mengukur dua hal yang pada dasarnya sama. Dari persamaan (2) maka dapat diperoleh nilai sudut penerimaan sebesar $28,8^\circ$.

Setelah sudut penerimaan diperoleh, maka dengan menggunakan persamaan (3) sudut datang pun dapat diperoleh. Sudut datang yang diperoleh sebesar $18,87^\circ$. Nilai sudut datang ini dapat memantulkan kembali cahaya ke dalam *core* (medium pertama) saat serat optik berada pada keadaan lurus dan pemantulan dari lengkung pertama dapat digunakan sebagai *input* untuk kelengkungan selanjutnya.

Selanjutnya adalah menentukan apakah cahaya dengan sudut datang sebesar $18,87^\circ$ akan dipantulkan kembali oleh bidang perbatasan *core-*

cladding, ataukah cahaya dapat menembus ke dalam *cladding*. Untuk dapat menentukannya, terlebih dahulu mengetahui nilai sudut kritis pada bidang perbatasan *core* dan *cladding*. Dengan menggunakan persamaan (6) maka diperoleh nilai sudut kritis sebesar $71,13954^\circ$. Karena sudut datang lebih besar daripada sudut kritis maka cahaya akan dipantulkan kembali oleh bidang perbatasan ke dalam medium pertama (*core*).

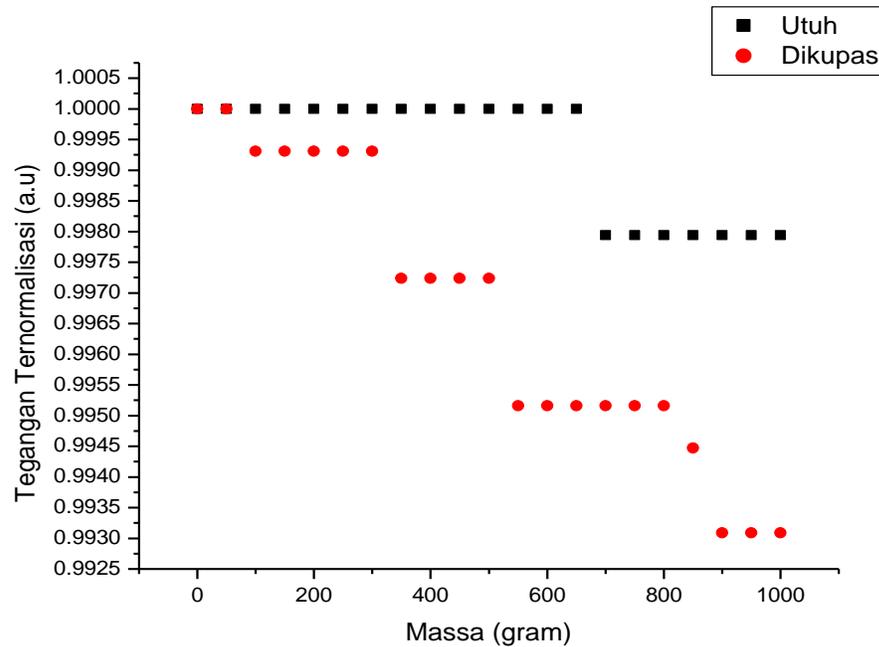
Pada bab ini akan diuraikan hasil penelitian sesuai dengan urutan tujuan penelitian yang terdapat pada bagian pendahuluan sebelumnya. Hasil penelitian ini kemudian dibahas dengan mengacu pada hasil analisis data yang telah diperoleh dan memberikan interpretasi terhadap kecenderungan grafik yang muncul setelah analisis.

Pada penelitian ini cahaya dari laser He-Ne ditransmisikan ke dalam serat optik yang keluarannya diterima oleh sebuah fotodiode. Fotodiode dihubungkan dengan rangkaian pengikut tegangan, sehingga perubahan intensitas cahaya laser dapat terbaca pada multimeter menjadi tegangan (volt). Pengukuran tegangan pada saat sistem belum diberikan beban massa adalah tegangan maksimum. Pada setiap pengukuran berikutnya, dimana sistem diberikan perubahan beban massa, hasil tegangan yang diperoleh dibagi dengan nilai tegangan maksimum, sehingga diperoleh tegangan ternormalisasi. Plot tegangan ternormalisasi menggunakan satuan *arbitrary unit (a.u.)*.

B. Hasil Pengukuran Massa Beban Terhadap Jumlah Lingkaran Serat Optik yang Dibentuk Satu Lingkaran

Pada sub bab ini akan dijelaskan hasil pengukuran serat optik yang dibentuk satu lingkaran dengan membiarkan *buffer* secara utuh dan mengelupas sebagian *buffer* nya .

Berdasarkan penelitian tersebut dapat diperoleh hasil sebagai berikut :



Gambar 24. Hubungan Perubahan Massa terhadap tegangan ternormalisasi pada serat optik yang dibentuk satu lingkaran

Gambar 24 menunjukkan adanya penurunan intensitas cahaya keluaran yang terdeteksi oleh *receiver* saat serat optik dibentuk satu lingkaran. Pada serat optik yang tidak dikelupas penurunan intensitas cahayanya sekitar (0 - 0,01) volt. Dari hasil pengukuran percobaan serat optik tanpa pengelupasan *buffer*, dihasilkan nilai tegangan keluaran yang cenderung konstan atau hampir tidak ada perubahan tegangan keluaran setiap diberikan perubahan massa dengan nilai rata-rata tegangan keluaran sebesar 4.8 volt. Hal ini dapat terjadi karena terdapatnya *buffer* pada serat optik yang berfungsi untuk melindungi serat optik dari retakan atau lekukan. Namun walaupun demikian lekukan ini akan bertambah kecil seiring dengan pemberian beban di atasnya dan mengakibatkan intensitas cahaya yang masuk ke inti dari serat optik berkurang sehingga menurunkan tegangan keluaran yang terbaca pada

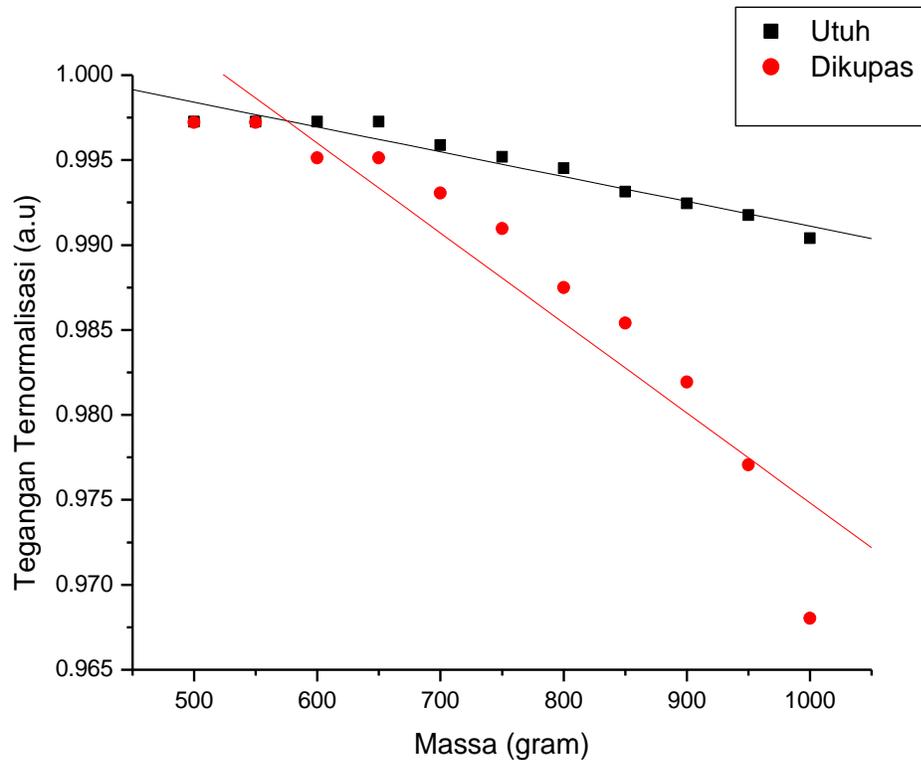
multimeter walaupun penurunan tegangan ini tidak begitu signifikan. Pada perlakuan serat optik tanpa pengelupasan *buffer* ketika diberikan massa beban hingga 700 gram tidak terjadi penurunan nilai tegangan. Nilai pelemahan tegangan langsung berubah ketika diberikan massa sebesar 750 gram dan selanjutnya kembali bernilai tetap. Pada perlakuan tersebut hampir tidak terjadi perubahan nilai intensitas cahaya keluaran ketika masukan berupa penambahan massa diberikan. Dapat diartikan bahwa dengan memberikan perlakuan ini sensor tidak dapat merespon perubahan yang diberikan.

Berbeda dengan perlakuan sebelumnya, pada percobaan ini dilakukan pengupasan *buffer* pada serat optik. Hal ini bertujuan untuk membandingkan nilai sensitivitas pada karakteristik keluaran serat optik jika *buffer* nya dibiarkan utuh dan dikelupas sebagian. Panjang pengelupasan pada percobaan ini sesuai dengan jumlah lingkaran yang dibentuk. Karena serat optik dibentuk satu lingkaran dengan diameter lingkaran sebesar 5 cm maka panjang pengelupasannya pun 5 cm. Selanjutnya mulai mengukur intensitas cahaya keluaran sebelum diberikan massa diatas serat optik, dan dilanjutkan dengan pengukuran setelah diberikan massa. *Ouput* yang dihasilkan dari percobaan ini terjadi penurunan atau pelemahan intensitas cahaya pada serat optik sekitar (0,01 - 0,03) volt. Grafik tersebut menunjukkan serat optik yang dikelupas bagian *buffer* nya mengalami pelemahan intensitas cahaya yang lebih banyak daripada serat optik yang tidak dikelupas *buffer* nya. Hal ini dikarenakan fungsi dari *buffer* yaitu untuk melindungi serat optik dari kerusakan mekanis. Ketika *buffer* dikelupas maka serat optik tidak dapat lagi menahan kerusakan tersebut akibat pembengkokan dan pemberian massa beban diatas serat optik. Pemberian massa diatas serat optik membuat diameter lingkaran menjadi semakin pipih dan mendekati pecahnya serat optik. Semakin kecil diameter pelekukan serat optik membuat pelemahan intensitas cahaya menjadi semakin besar. Dari grafik tersebut dapat diperoleh nilai linearitasnya, dimana serat optik dengan pengelupasan *buffer* memiliki

linearitas sebesar -0,97218. Sedangkan serat optik tanpa pengelupasan *buffer* memiliki linearitas sebesar -0,81742. Linier artinya titik-titik data menunjukkan pola garis lurus. Sedangkan pada data yang diperoleh tidak menunjukkan hal tersebut. Pada grafik hasil data yang diperoleh tidak menunjukkan respon yang linier. Dari Gambar 24 dapat disimpulkan bahwa membuat sensor dengan membentuk serat optik menjadi satu lingkaran dinilai tidak berhasil.

C. Hasil Pengukuran Massa Beban Terhadap Jumlah Lingkaran Serat Optik yang Dibentuk Dua Lingkaran

Percobaan yang kedua yaitu membentuk serat optik dengan jumlah dua lingkaran. Langkah percobaan yang dilakukan sama dengan percobaan pertama. Perbedaannya hanya pada jumlah lingkaran yang dibentuk. Pada percobaan yang kedua ini diperoleh hasil intensitas cahaya keluaran yang berbeda-beda saat diberikan perubahan massa. Berbeda dengan percobaan pertama, pada percobaan kedua ini penurunan intensitas cahaya keluaran akibat penambahan massa cukup banyak. Hal ini terjadi karena jumlah lekukan yang ditambah mengakibatkan berkurangnya intensitas cahaya yang diterima oleh *receiver* sehingga pelemahannya semakin besar. Berdasarkan penelitian tersebut dapat diperoleh hasil sebagai berikut :



Gambar 25. Hubungan Perubahan Massa terhadap tegangan ternormalisasi pada serat optik yang dibentuk dua lingkaran

Gambar 25 Juga menunjukkan adanya penurunan intensitas cahaya keluaran yang terdeteksi oleh *receiver* saat serat optik dibentuk dua lingkaran. Pada hasil serat optik yang dibentuk satu lingkaran, pelemahan intensitas cahaya yang terjadi sekitar 0,01 volt bahkan hampir tidak terjadi pelemahan intensitas cahaya. Pada serat optik yang dibentuk dua lingkaran terjadi pelemahan intensitas cahaya yang lebih banyak. Karena setiap penambahan beban terjadi pelemahan intensitas cahaya. Pengaruh penambahan jumlah lintasan juga sangat mempengaruhi pelemahan daya yang terjadi sehingga penurunan intensitas cahaya keluaran semakin melemah. Nilai sensitivitas yang diperoleh

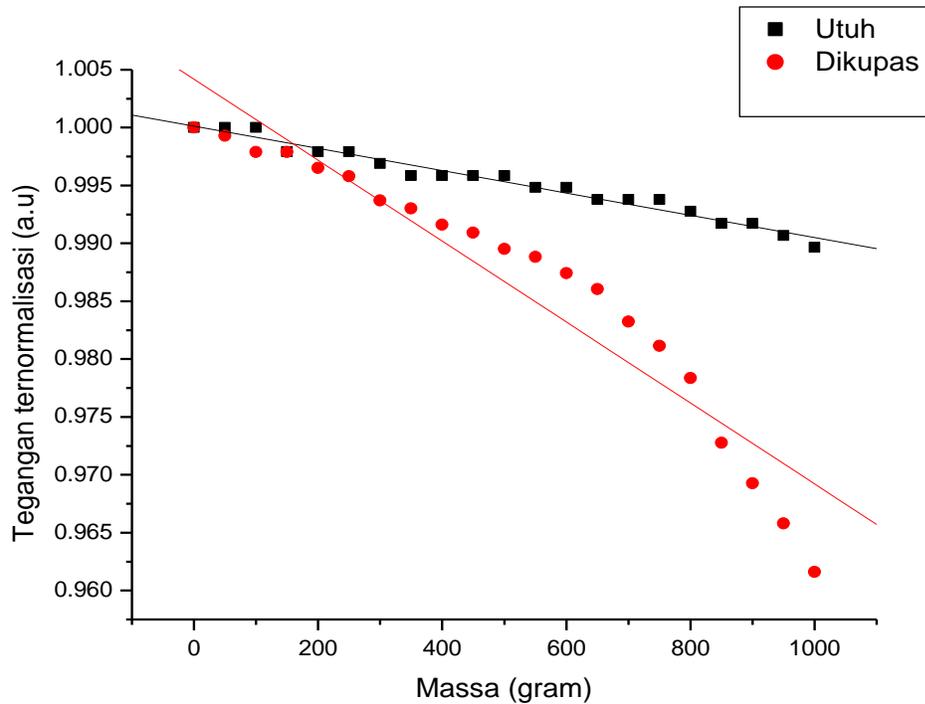
pada perlakuan tanpa pengelupasan *buffer* sebesar $-(4,9 \pm 0,2) \times 10^{-6}$ volt/gram yang artinya setiap diberikan penambahan satu gram beban massa terjadi perubahan *ouput* sebesar $4,9 \times 10^{-6}$ volt.

Percobaan ini juga membentuk serat optik yang dikelupas *buffer* atau mantelnya menjadi dua lingkaran dengan diameter yang sama. Saat dilakukan pengukuran intensitas cahaya keluaran sebelum diberikan massa beban menunjukkan pelemahan intensitas cahaya yang cukup tajam karena perubahan dari tegangan awal saat cahaya (laser He-Ne) langsung diukur pada *receiver* tanpa melewati serat optik (Vtransmitter) diperoleh tegangan sebesar 4,92 volt sedangkan saat setelah cahaya dilewatkan pada serat optik yang telah dibentuk melingkar dan dikupas *buffer*-nya, tegangan keluaran yang dihasilkan menurun menjadi 4,79 volt. Hal ini menunjukkan bahwa pelemahan terkecil yang terjadi sebesar 0,13 volt. Sedangkan untuk pelemahan terbesar terjadi pada saat fiber optik diberikan massa beban sebesar 1000 gram, yaitu 0,28 volt. Nilai sensitivitas dari perlakuan dengan pengelupasan *buffer* sebesar $-(23 \pm 3) \times 10^{-6}$ volt/gram. Yang berarti setiap diberikan satu gram massa beban terjadi perubahan *ouput* sebesar 23×10^{-6} volt. Dari grafik tersebut juga dapat diperoleh nilai linearitasnya, dimana serat optik dengan pengelupasan *buffer* memiliki linearitas sebesar -0,8458 sedangkan serat optik tanpa pengelupasan *buffer* memiliki linearitas sebesar -0,96649. Dari gambar 25 perlakuan tanpa mengelupas *buffer* mendapat titik-titik data yang membentuk garis lurus, hanya saja kurang sensitif. Sedangkan untuk perlakuan dengan pengelupasan *buffer* mendapatkan hasil yang lebih sensitive namun titik-titik data menunjukkan garis yang kurang lurus. Variasi perlakuan *buffer* tersebut maka dapat menunjukkan bahwa serat optik dengan pengelupasan *buffer* lebih cocok untuk dijadikan sensor karena memiliki sensitivitas yang lebih baik daripada serat optik tanpa pengelupasan *buffer*. Dari Gambar 25 dapat disimpulkan bahwa membuat sensor dengan

membentuk serat optik menjadi dua lingkaran dengan pengelupasan *buffer* dinilai berhasil. Karena dapat merespon masukan secara gradual.

D. Hasil Pengukuran Massa Beban Terhadap Jumlah Lingkaran Serat Optik yang Dibentuk Tiga Lingkaran

Percobaan yang ketiga, membentuk serat optik menjadi tiga lingkaran. Percobaan ini menghasilkan turunya intensitas cahaya yang diterima oleh *receiver* yang ditandai dengan menurunnya tegangan keluaran yang dihasilkan. Pada pembahasan sebelumnya dijelaskan bahwa semakin banyak lekukan yang dibentuk maka semakin berkurang intensitas cahaya yang dihasilkan oleh *receiver*. Dan ini terjadi pada percobaan yang ketiga, dimana pelemahan intensitas cahaya semakin besar seiring bertambahnya pemberian massa yang ditandai dengan menurunnya tegangan keluaran yang dihasilkan oleh serat optik. Berdasarkan penelitian tersebut dapat diperoleh hasil sebagai berikut :



Gambar 26. Hubungan Perubahan Massa terhadap tegangan ternormalisasi pada serat optik yang dibentuk tiga lingkaran

Gambar 26 juga menunjukkan penurunan intensitas cahaya keluaran yang terdeteksi oleh *receiver* saat serat optik dibentuk tiga lingkaran. Penurunan tersebut begitu tajam dan terjadi pelemahan terbesar jika dibandingkan dengan dua perlakuan sebelumnya. Setiap penambahan beban selalu terjadi pelemahan intensitas cahaya. Pengaruh penambahan jumlah lintasan juga sangat mempengaruhi pelemahan daya yang terjadi sehingga penurunan intensitas cahaya keluaran semakin melemah. Pada grafik tersebut menunjukkan serat optik yang dikelupas bagian *buffer* nya mengalami pelemahan intensitas cahaya yang lebih banyak daripada serat optik yang tidak dikelupas *buffer* nya. Pada serat optik dengan pengelupasan *buffer*, ketika pemberian massa telah mencapai 650 gram tidak lagi terjadi kelinearan

data karena *ouput* tidak lagi membentuk garis lurus. Hal ini terjadi karena faktor pembengkokan yang semakin tajam dan pemberian massa yang juga semakin banyak, sehingga *losses* yang terjadi menjadi semakin tajam. Berbeda saat diberikan massa dibawah 650 gram, intensitas cahaya yang diperoleh cukup stabil sehingga cenderung linier. Untuk serat tanpa pengelupasan *buffer* memiliki sensitivitas sebesar $-(9,6 \pm 0,4) \times 10^{-6}$ volt/gram yang berarti setiap penambahan massa sebesar 1 gram akan terjadi perubahan keluaran sebesar $9,6 \times 10^{-6}$ volt.

Perlakuan yang berbeda diberikan pada serat optik ini yaitu membentuk serat optik menjadi tiga lingkaran dengan diameter yang sama selain itu juga mengelupas bagian *buffer* dari serat optik sepanjang lekukan yang dibentuk. *Ouput* yang dihasilkan pada percobaan ini diperoleh pelemahan yang paling besar diantara percobaan-percobaan yang lainnya. Pelemahan yang terjadi yaitu 0,33 volt. Nilai tersebut diperoleh dari pengurangan tegangan *transmitter* sebesar 4,92 volt dengan tegangan yang dihasilkan saat serat optik diberikan massa 1 kg sebesar 4,59 volt. Pada perlakuan ini diperoleh pelemahan terbesar diantara yang lainnya dikarenakan serat optik dibentuk tiga lingkaran, secara otomatis panjang pengelupasannya pun semakin panjang, oleh sebab itu banyak intensitas cahaya yang hilang (*loss*) akibat dikupasnya *buffer*. Selain itu, pengaruh pemberian massa dengan jumlah yang banyak akan menyebabkan serat optik menjadi tertekan dan diameter yang awalnya 5 cm menurun semakin kecil sehingga pelemahan yang terjadi juga semakin meningkat. Nilai sensitivitas dari perlakuan ini sebesar $-(34 \pm 2) \times 10^{-6}$ yang artinya setiap ada penambahan satu gram massa, akan terjadi perubahan *ouput* sebesar 34×10^{-6} volt. Hasil sensitivitas dengan membentuk serat optik menjadi tiga lingkaran dan mengelupas *buffer* menjadi pilihan yang tepat untuk menjadikan sensor pengukur massa, karena memiliki kepekaan yang lebih baik diantara semua perlakuan yang dilakukan. Dari grafik tersebut juga dapat diperoleh nilai linearitasnya, dimana serat optik

dengan pengelupasan *buffer* memiliki linearitas sebesar -0,95358 sedangkan serat optik tanpa pengelupasan *buffer* memiliki linearitas sebesar -0,98588. Variasi perlakuan *buffer* tersebut maka dapat menunjukkan bahwa serat optik dengan pengelupasan *buffer* lebih cocok untuk dijadikan sensor karena memiliki sensitivitas yang lebih baik daripada serat optik tanpa pengelupasan *buffer*. Untuk linearitasnya, membentuk serat optik dengan tiga lingkaran dan tanpa pengelupasan *buffer* menunjukkan pola garis lurus dan dapat merespon secara linier namun kurang sensitif. Sedangkan perlakuan pengelupasan *buffer* diperoleh sensor yang lebih sensitif namun tidak menunjukkan pola garis lurus setelah diberikan massa lebih dari 650 gram. Setelah diberikan massa lebih dari 650 gram tegangan yang diperoleh semakin turun tajam

Pada penelitian ini mekanisme optik yang dilakukan pada POF adalah dengan melakukan modulasi intensitas. Modulasi intensitas dilakukan dengan dua cara yaitu mengukur intensitas cahaya keluaran serat optik dengan memodifikasi keadaan *buffer* dan yang kedua memvariasi jumlah lintasan serat optik dengan membengkokkan membentuk lingkaran. Penelitian sensor pengukur massa berbasis POF berbentuk lingkaran termasuk dalam klasifikasi sensor serat optik intrinsik dimana POF tersebut di samping sebagai pemandu cahaya sekaligus berperan sebagai proses penginderaan (*sensing*) pengukur massa di bagian-bagian tertentu pada POF tersebut. Jumlah lintasan yang dilakukan pada penelitian ini sebanyak tiga tahap, yaitu satu lingkaran, dua lingkaran dan tiga lingkaran. Sedangkan untuk penambahan massa dilakukan sebanyak 20 kali, yaitu 50 gram sampai 1000 gram dengan kelipatan 50 gram setiap penambahan. Sumber cahaya laser Helium-Neon yang digunakan memiliki $\lambda = 632,8$ nm dan daya maksimum 5 mW.

Gambar 24 sampai Gambar 26 menunjukkan intensitas cahaya keluaran yang telah dideteksi oleh *receiver* berupa rangkaian pengikut tegangan terhadap perubahan massa beban untuk jumlah lingkaran yang berbeda. Bahan

core yang digunakan adalah *Polymethyl-Methacrylate Resin* dengan diameter 940 μm , sedangkan bahan *cladding* nya *Fluorinated Polymer* dengan diameter 1000 μm . indeks bias *core* = 1,49 dan indeks bias *cladding* = 1,41 serta memiliki nilai *numerical aperture* = 0,48.

Pada dasarnya penelitian ini mengukur besarnya intensitas cahaya keluaran serat optik yang hilang akibat adanya pemberian perlakuan berupa lekukan dan pengelupasan *buffer*. Hilangnya intensitas cahaya keluaran akibat perlakuan yang diberikan sesuai dengan karakteristik serat optik yaitu akan mengalami pelemahan ketika dibengkokkan atau dikelupas *buffer* nya. Intensitas cahaya keluaran dari POF dideteksi menggunakan *receiver* berupa rangkaian pengikut tegangan. Pada penelitian ini satuan ukur yang digunakan adalah volt (V). Hasil pengukuran menyatakan adanya pelemahan intensitas cahaya yang ditunjukkan oleh penurunan nilai pada keluaran POF.

Cahaya yang merambat didalam serat optik dapat keluar dari serat ketika serat tersebut berbelok atau melengkung dengan jari-jari tertentu. Jika lekukan sangat tinggi maka lebih banyak pula cahaya yang keluar. Akibatnya daya optis yang keluar dari ujung serat, yang diterima oleh *receiver* akan berkurang akibat adanya kerugian (*loss*). Detektor atau *receiver* yang sering digunakan dalam sistem serat optik berupa fotodioda karena umumnya semikonduktor merespon panjang gelombang yang lebih lebar dan memiliki pita energi yang rendah. Dalam penggunaannya, fotodioda hanya menggunakan tegangan rendah agar dapat bekerja. Untuk mendeteksi *losses* yang terjadi pada serat optik dibangun perangkat sensor yang terdiri dari fotodioda dan laser. Laser yang digunakan berjenis He-Ne Shimadzu, memiliki panjang gelombang 632,8 nm berfungsi sebagai *transmitter* cahaya yang akan dipandu dalam serat optik. Sedangkan perangkat *receiver* cahaya (fotodioda) diberikan tegangan masukan sebesar 9,52 volt dengan sumber *power supply*.

Dari percobaan yang telah dilakukan, dengan membandingkan jumlah lekukan (lingkaran), dan kondisi *buffer* yang dikelupas atau tidak, *losses* terbesar terjadi pada saat *buffer* serat optik dikelupas dan dibentuk dengan jumlah tiga lingkaran. *Buffer* yang dikelupas mempengaruhi fungsi dari *buffer* itu sendiri sebagai pelindung mekanis pada serat optik seperti dapat mengurangi *loss* hamburan pada permukaan inti, melindungi serat dari kontaminasi penyerapan permukaan, melindungi cahaya yang *loss* dari inti ke udara sekitar dan dapat menambah kekuatan mekanis. Jika *buffer* tersebut dihilangkan maka tentunya serat optik tidak dapat bekerja dengan maksimal.

Karakteristik lain yang dapat mempengaruhi *loss* serat optik ialah rugi akibat pembengkokan. Pada percobaan ini, pembengkokan yang dibentuk yaitu pembengkokan makro (*macro bending*). Rugi-rugi pembengkokan makro terjadi ketika cahaya melalui serat optik yang dilengkungkan dengan jari-jari lebih lebar dibandingkan dengan diameter *core* serat optik.

Percobaan ini memperoleh rugi daya terbesar terjadi serat optik yang dikupas *buffer*-nya dan dibentuk tiga lingkaran. Pada dasarnya pengaruh pembengkokan pada serat optik yang masih lengkap (*buffer* belum terkupas) sudah mengalami rugi-rugi, namun rugi-rugi daya tersebut sangat kecil. Rugi-rugi daya akan terlihat jelas jika pembengkokan dilakukan pada serat optik yang telah dikupas bagian *buffer*-nya. Pada prinsipnya serat optik telah mengalami rugi-rugi daya akibat pengaruh panjang pengupasan *buffer*, pengaruh pembengkokan akan semakin menambah rugi-rugi daya yang diterima oleh serat optik tersebut.

Pada kasus pembengkokan serat optik, cahaya yang mengalami refraksi tidak akan dirambatkan didalam serat optik karena sudut datang cahaya lebih kecil dari sudut kritis sehingga cahaya tidak dipantulkan sempurna melainkan dibiaskan keluar dari 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. Akan tetapi pada kenyataannya seiring dengan bertambahnya pembengkokan, intensitas cahaya keluaran tidak akan hilang seluruhnya, melainkan hanya turun saja sampai batas tertentu. Hal ini berkaitan dengan kemampuan serat optik untuk merangkap cahaya yang datang, yaitu *Numerical Apperture* (NA).

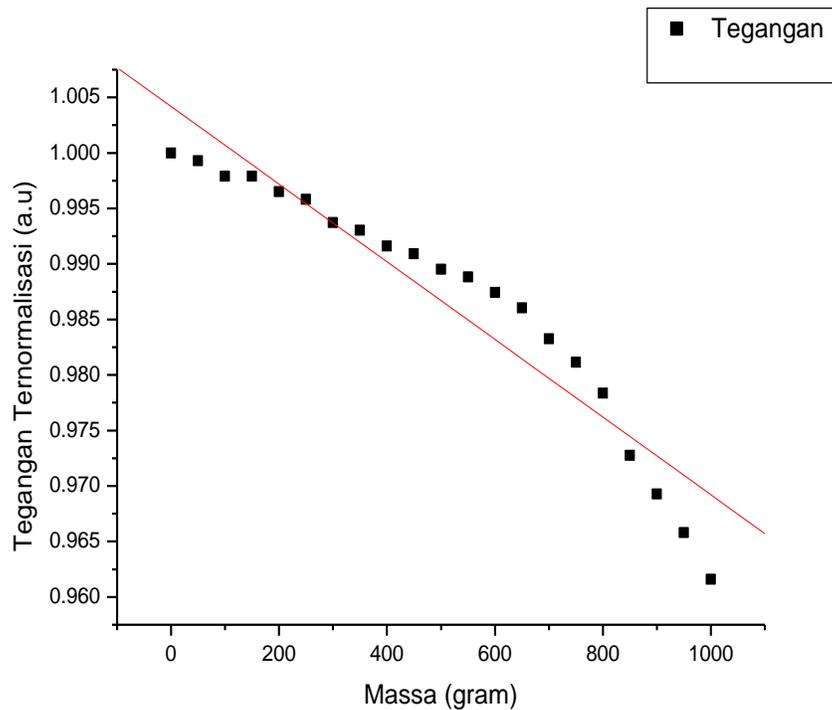
Sinyal cahaya dari laser dilewatkan pada serat optik yang mengalami pembengkokan berupa lingkaran dengan jumlah yang berbeda akan ditekan setelah diperoleh data awal tegangan. Dari grafik-grafik diatas terlihat bahwa tidak ada keteraturan nilai tegangan awal pada masing-masing variasi jumlah lingkaran dan kondisi *buffer* yang dikupas ataupun tidak dikupas. Ketidakteraturan nilai tegangan awal ini dipengaruhi oleh pemfokusan cahaya masuk pada serat optik *single mode* relatif sulit karena pengaruh pemberian massa.

Pemberian massa pada serat optik yang dibentuk melingkar menyebabkan perubahan jari-jari lingkaran. Serat yang dibentuk tiga lingkaran dan dikelupas *buffer*-nya mengalami penurunan intensitas cahaya keluaran lebih tajam jika dibandingkan dengan serat optik yang lainnya. Tiap variasi jumlah lingkaran baik dikupas *buffer*-nya ataupun tidak mempunyai karakteristik tersendiri dalam penurunan intensitas cahaya keluaran.

E. Sensitivitas dan Linearitas Ketika Serat Optik dibentuk Melingkar

Sensitivitas adalah ukuran perubahan dalam keluaran instrumentasi yang terjadi ketika kuantitas yang diukur berubah dengan jumlah tertentu. Sensitivitas juga sering dinyatakan dengan bilangan yang menunjukkan perubahan keluaran dibandingkan unit perubahan masukan. Linearitas sensor juga mempengaruhi sensitivitas dari sensor. Pada penelitian ini pengaruh kupasan *buffer* dan membentuk serat optik menjadi lingkaran menghasilkan daya keluaran yang berbeda-beda. Untuk mengetahui sensitivitas dan linearitas dari penelitian ini yaitu dengan aplikasi *Origin*. Setelah melakukan

fitting data, maka akan diperoleh sensitivitas yang disimbolkan huruf B (nilai gradien). Gradien bernilai negatif menunjukkan bahwa serat optik mengalami pelemahan, semakin besar nilai gradien nya maka grafik mengalami penurunan paling tajam atau curam dimana hal ini terjadi pada serat optik yang dikupas dan dibentuk tiga lingkaran, sedangkan jika gradien nya bernilai positif maka serat optik mengalami *gain* atau penguatan. Ketika jumlah lingkaran ditambah maka sensitivitasnya juga akan bernilai semakin besar. Tanda negatif pada sensitivitas menunjukkan pelemahan intensitas cahaya. Pengelupasan *buffer* juga mempengaruhi sensitivitas suatu sensor serat optik. Pada Gambar 26 menunjukkan bahwa sensitivitas terbaik pada serat optik dengan perlakuan pengelupasan *buffer* yang dibentuk tiga lingkaran.



Gambar 27. Grafik Hubungan antara tegangan keluaran yang telah dinormalisasi terhadap perubahan massa pada serat optik

yang dikupas dan dibentuk tiga lingkaran dengan *fitting linear*.

```
[7/18/2017 11:25 "/Graph1" (2457952)]
Linear Regression for Data1_TigaLingkar:
Y = A + B * X
```

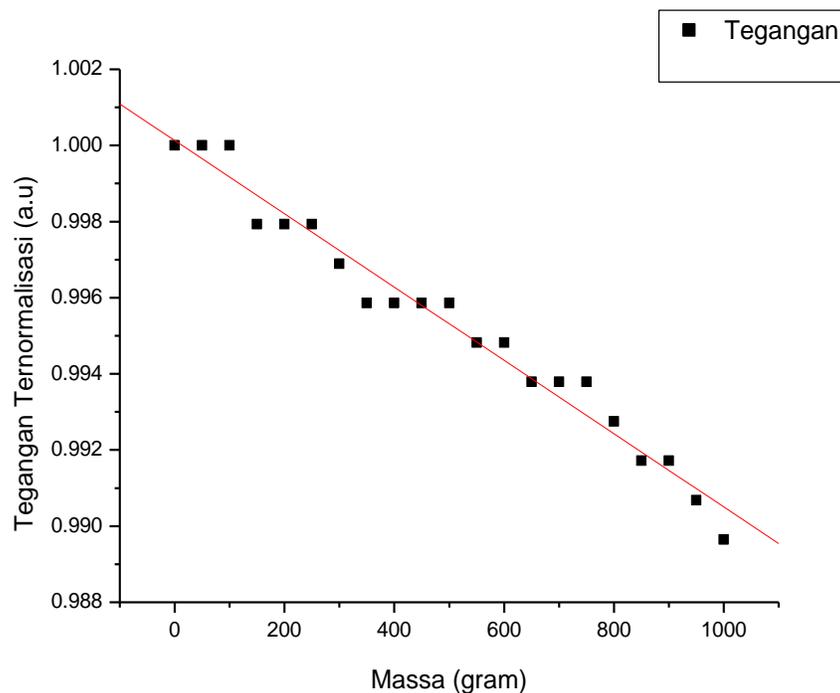
Parameter	Value	Error
A	1.0073	0.00187
B	-3.94059E-5	2.96366E-6

Tabel 1 merupakan hasil sensitivitas yang diperoleh dari grafik, dari hasil tersebut menunjukkan bahwa terjadi perubahan yang cukup tajam saat serat optik dikupas bagian *buffernya* khususnya dengan serat optik dibentuk tiga lingkaran. Hal tersebut menunjukkan adanya perubahan atau karakteristik serat optik untuk dikembangkan sebagai sensor.

Tabel 1. Sensitivitas untuk setiap perlakuan fiber optik plastik

Jumlah Lintasan	Sensitivitas (volt/gr)	
	Tidak dikupas	Dikupas
Satu Lingkaran	$-(3,0 \pm 0,4) \times 10^{-6}$	$-(8,0 \pm 0,4) \times 10^{-6}$
Dua Lingkaran	$-(4,9 \pm 0,2) \times 10^{-6}$	$-(23 \pm 3) \times 10^{-6}$
Tiga Lingkaran	$-(9,6 \pm 0,4) \times 10^{-6}$	$-(34 \pm 2) \times 10^{-6}$

Terdapat banyak sensor yang menghasilkan sinyal keluaran yang berubah secara kontinyu sebagai tanggapan terhadap masukan yang berubah secara kontinyu. Uji linearitas bertujuan untuk mengetahui apakah dua variabel mempunyai hubungan yang linear. Analisis regresi sederhana menunjukkan hubungan antara dua variabel, yaitu variabel bebas dan variabel tak bebas. Ketika jumlah lingkaran ditambah maka nilai regresinya semakin mendekati 1 atau ideal. Namun pada serat optik dengan pengelupasan *buffer* tidak terjadi kelinearan data karena seakan-akan ketika jumlah lingkaran ditambah tidak mempengaruhi nilai regresi yang dihasilkan.



Gambar 29. Grafik hubungan antara tegangan keluaran yang telah dinormalisasi terhadap perubahan massa pada serat optik yang tidak dikupas dan dibentuk tiga lingkaran dengan *fitting linear*.

R	SD	N	P
-0.98591	5.19846E-4	21	<0.0001

Tabel 2 menunjukkan nilai linearitas untuk setiap perlakuan pada serat optik, yaitu keadaan *buffer* pada serat optik tidak dikupas dan dikupas serta membentuk serat optik menjadi lingkaran dengan jumlah yang bervariasi.

Tabel 2. Linearitas untuk setiap keadaan serat optik

Jumlah Lintasan	Linearitas	
	Tidak dikupas	Dikupas
Satu Lingkaran	-0.81742	-0.97218
Dua Lingkaran	-0.92908	-0.84580
Tiga Lingkaran	-0.98588	-0.95358

Jika nilai linearitas (R) mendekati atau sama dengan satu, maka kedua variabel tersebut memiliki hubungan linearitas. Linearitas terbaik terdapat pada perlakuan serat optik dibentuk tiga lingkaran dan bagian *buffernya* tidak dikupas.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan, dapat disimpulkan bahwa :

1. Semakin banyak jumlah lingkaran POF, maka sensitivitas sensor POF terhadap perubahan massa semakin tinggi.
2. Sensor POF baru dapat merespon perubahan massa pada konfigurasi dua lingkaran atau lebih.
3. Semakin panjang pengupasan *buffer* maka pelemahan intensitas cahaya yang diperoleh semakin tinggi.
4. Sensitivitas terbaik terjadi pada serat optik yang dikupas *buffer*-nya dan dibentuk tiga lingkaran sebesar $-(34 \pm 2) \times 10^{-6}$ volt/gr, sedangkan linearitas terbaik terdapat pada serat optik yang dibentuk tiga lingkaran tanpa pengupasan *buffer* dengan nilai -0.98588. Hal ini disebabkan karena pemilihan massa beban rentang nya terlalu besar.

B. Saran

Beberapa saran untuk penelitian selanjutnya :

1. Memasang sedemikian rupa agar serat optik benar-benar menyatu pada sumber cahaya atau memastikan serat optik tidak geser saat pengambilan data.
2. Menggunakan CRO agar dapat membaca nilai intensitas yang diperoleh dengan akurat.
3. Memastikan serat optik benar-benar dalam keadaan bersih dan tidak cacat atau retak.
4. Pemotongan serat optik harus lebih diperhatikan agar permukaannya rata dan inti serat optik tidak pecah.
5. Menghitung nilai pergeseran yang dikenakan pada serat optik.

6. Jumlah lingkaran yang dibentuk lebih dari satu lingkaran karena membentuk satu lingkaran tidak cocok sebagai sensor.
7. Memperkecil rentang massa beban.
8. Peletakkan serat optik lebih baik dengan posisi horizontal agar seluruh permukaan serat optik terkena beban saat ditekan.

DAFTAR PUSTAKA

- Ahmad Mulia Rambe. (2003). Penggunaan Serat Optik Plastik sebagai Media Transmisi Untuk Alat Ukur Temperatur Jarak Jauh. *Skripsi*. Fakultas Teknik Universitas Sumatera Utara.
- Akbar Sujiwa, Endarko. (2014). Analisa Rugi Tegangan Makrobending Serat Optik *Multimode* FTP 320-10 terhadap Pengaruh Pembebanan dengan Menggunakan Variasi Diameter Lilitan. *Jurnal Sains Dan Seni Pomits* Vol. 3, No. 1.
- Akhirudin. (2007). Pengembangan Sensor Untuk Teknik. Fakultas Teknik Universitas Indonesia, Jakarta.
- Andeskob Topan Indra. (2014). Karakterisasi Sistem Sensor Fiber Optik berdasarkan Efek Gelombang Evanescent. *Jurnal Fisika Unand*. Padang : Universitas Andalas. 3(1).
- Arrini Nurul M. (2013). Desain Sensor Serat Optik Sederhana untuk Mengukur Konsentrasi Larutan Gula dan Garam Berbasis Pemantulan dengan Menggunakan Konfigurasi Jarak Cermin-Fiber Optik Tetap. *Jurnal Fisika UNS*. Surakarta : Universitas Sebelas Maret.
- Berthold J. W. (1995). *Historical Review of Microbend Fiber Optic Sensors*. Journal of Lightwave Technology, Vol. 13
- Bestariyan,T. (2011). Rancang Bangun Sensor Suhu Menggunakan Serat Optik Berstruktur Singlemode-Multimode-Singlemode dan OTDR. *Tugas Akhir*. Jurusan Teknik Fisika Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.
- Crisp,J et al. (2006). Serat Optik Sebuah Pengantar,edisi ketiga .Erlangga: Jakarta.
- Culshaw B. and Dakin J. (1989). *Optical Fiber Sensors : System and Applications*. Artech House, Boston.

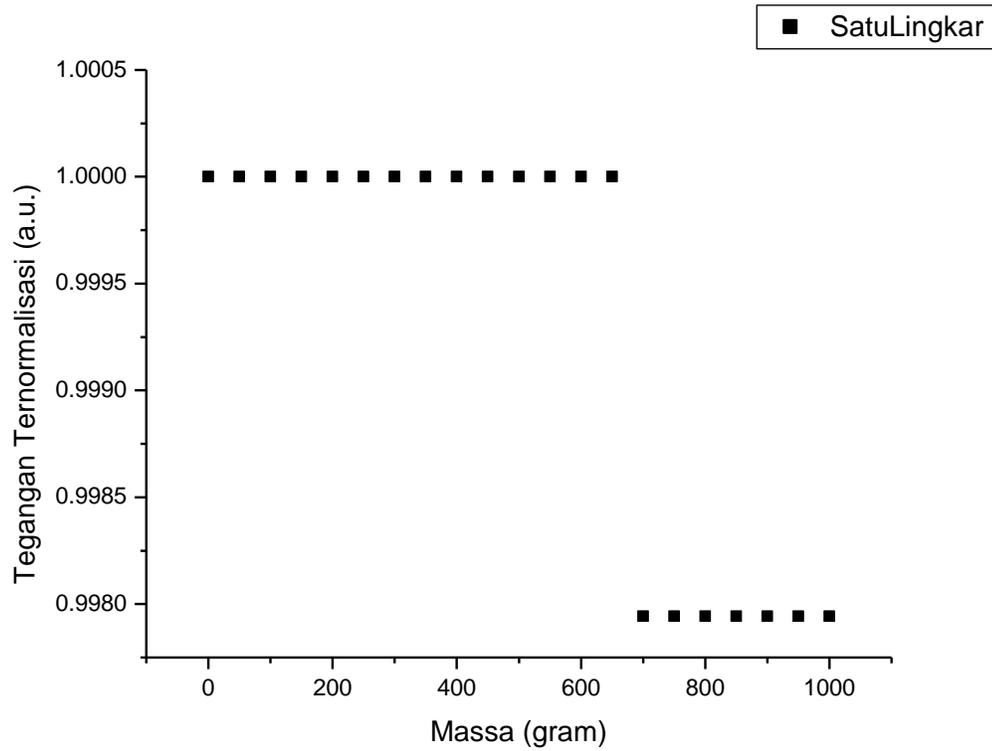
- Dewi, M. S. (2010). Kajian Karakteristik Rugi-Rugi pada Serat Optik Telkom karena Pembengkokan Makro. *Skripsi*. FMIPA, Universitas Sebelas Maret, Surakarta.
- Djohan, N. (2009). Soliton dalam Serat Optik. Universitas Kristen Krida Wacana, Jakarta.
- Farrel, G. (2002), *Optical Communication System Optical Fiber Coupler and Switche*, Dublin Institute of Technology.
- Frederick, C.A. (1990). *Fiber Optics Handbook For Engineers and Scientists*. McGraw-Hill, Inc.,
- Govind P. Agrawal. (2002). *Fiber-Optic Communication Systems 3rd Edition*, The Institute of Optics University of Rochester New York.
- Hoss, R.J., Lacy, E.A. (1993). *Fiber Optics 2nd Edition*. Prentice Hall, New Jersey.
- Jenny R. (2000), *Fundamentals of Fiber Optics: An Introduction for Beginners*. Volpi Manufacturing USA Co., New York.
- Jones D. (1998). *Introduction to Fiber Optics*. Naval Education and Training Professional Development and Technology Center.
- Keiser, G. (1991). *Optical Fiber Communication*, Mc Graw Hill Book Co.
- Krohn D.A. (1988). *Fiber Optics Sensors : Fundamental and Applications*. Instrument Society of America, Research Triangle Park, North Carolina.
- Udd E. (1991). *Fiber Optics Sensor : An Introduction for Engineers and Scientists*. Wiley, New York.
- Waluyo, Tomi B., Bayuwati D., Widiyatmoko B. Karakterisasi Rugi Lengkungan Serat Optik Dengan Optical Time Domain Reflectometer Untuk Penggunaannya Sebagai Sensor Pergeseran Tanah. Paper ISSN No. 0854-3046 (2009).
- Yu F. T. and Shizhuo Y. (2002). *Fiber Optic Sensors*. Marcel Decker, Inc., New York.

LAMPIRAN

Lampiran 1. Tabel data hasil pengukuran tegangan pada fiber optik yang dibentuk satu lingkaran tanpa pengupasan mantel

Massa (gram)	Percobaan 1 (volt)	Percobaan 2 (volt)	percobaan 3 (volt)	Tegangan Rata-Rata	Normalisasi tegangan
0	4.86	4.87	4.86	4.863333333	1
50	4.86	4.87	4.86	4.863333333	1
100	4.86	4.86	4.86	4.86	0.999314599
150	4.86	4.86	4.86	4.86	0.999314599
200	4.86	4.86	4.86	4.86	0.999314599
250	4.86	4.86	4.86	4.86	0.999314599
300	4.86	4.86	4.86	4.86	0.999314599
350	4.86	4.86	4.86	4.86	0.999314599
400	4.86	4.86	4.86	4.86	0.999314599
450	4.86	4.86	4.86	4.86	0.999314599
500	4.86	4.86	4.86	4.86	0.999314599
550	4.86	4.86	4.86	4.86	0.999314599
600	4.86	4.86	4.86	4.86	0.999314599
650	4.86	4.86	4.86	4.86	0.999314599
700	4.85	4.85	4.85	4.85	0.997258396
750	4.85	4.85	4.85	4.85	0.997258396
800	4.85	4.85	4.85	4.85	0.997258396
850	4.85	4.85	4.85	4.85	0.997258396
900	4.85	4.85	4.85	4.85	0.997258396
950	4.85	4.85	4.85	4.85	0.997258396
1000	4.85	4.85	4.85	4.85	0.997258396

Lampiran 2. Grafik hubungan massa (gram) terhadap tegangan keluaran fiber optik berbentuk 1 lingkaran tanpa pengupasan mantel



[7/18/2017 10:27 "/Graph1" (2457952)]

Linear Regression for Data1_B:

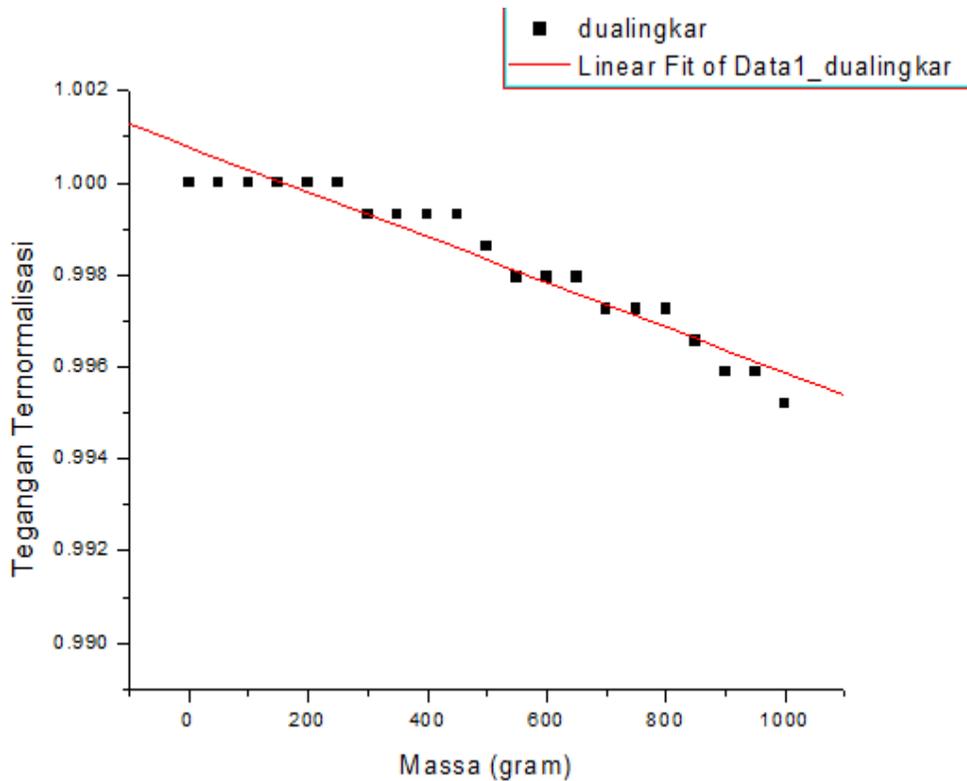
$$Y = A + B * X$$

Parameter	Value	Error		
A	1.00062	2.47472E-4		
B	-2.61878E-6	4.23375E-7		
R	SD	N	P	
-0.81742	5.87409E-4	21	<0.0001	

Lampiran 3. Tabel data hasil pengukuran tegangan pada fiber optik yang dibentuk dua lingkaran tanpa pengupasan mantel

Massa (gram)	Percobaan 1 (volt)	Percobaan 2 (volt)	Percobaan 3 (volt)	Vrata-rata (volt)	Normalisasi Tegangan
0	4.86	4.85	4.86	4.856666667	1
50	4.86	4.85	4.85	4.853333333	0.999313658
100	4.86	4.85	4.85	4.853333333	0.999313658
150	4.86	4.85	4.85	4.853333333	0.999313658
200	4.86	4.85	4.85	4.853333333	0.999313658
250	4.86	4.85	4.85	4.853333333	0.999313658
300	4.86	4.85	4.85	4.853333333	0.999313658
350	4.86	4.85	4.85	4.853333333	0.999313658
400	4.86	4.85	4.85	4.853333333	0.999313658
450	4.86	4.84	4.84	4.846666667	0.997940975
500	4.85	4.84	4.84	4.843333333	0.997254633
550	4.85	4.84	4.84	4.843333333	0.997254633
600	4.85	4.84	4.84	4.843333333	0.997254633
650	4.85	4.84	4.84	4.843333333	0.997254633
700	4.84	4.83	4.84	4.836666667	0.995881949
750	4.84	4.83	4.83	4.833333333	0.995195607
800	4.83	4.83	4.83	4.83	0.994509266
850	4.83	4.82	4.82	4.823333333	0.993136582
900	4.82	4.82	4.82	4.82	0.99245024
950	4.82	4.82	4.81	4.816666667	0.991763898
1000	4.81	4.81	4.81	4.81	0.990391215

Lampiran 4. Grafik hubungan massa (gram) terhadap tegangan keluaran fiber optik berbentuk 2 lingkaran tanpa pengupasan mantel.



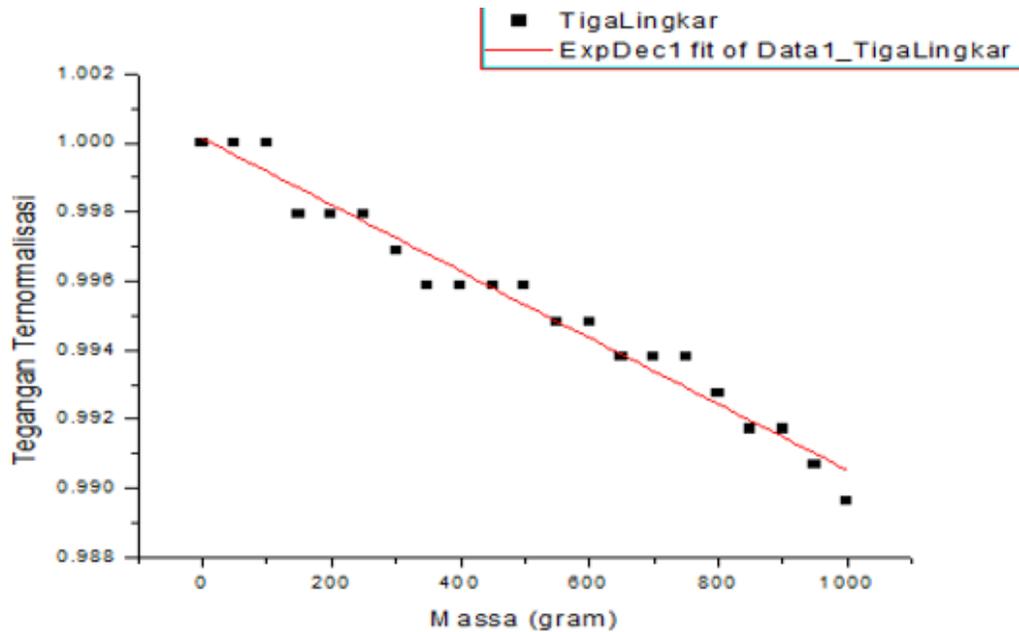
[//24/201/ 22:5/ "/Graph1" (245/958)]
 Linear Regression for Data1_dualingkar:
 $Y = A + B * X$

Parameter	Value	Error	
A	1.00078	1.74491E-4	
B	-4.89908E-6	2.98519E-7	
R	SD	N	P
-0.96649	4.14178E-4	21	<0.0001

Lampiran 5. Tabel data hasil pengukuran tegangan pada fiber optik yang dibentuk tiga lingkaran tanpa pengupasan mantel

Massa (gram)	Percobaan 1 (volt)	Percobaan 2 (volt)	Percobaan 3 (volt)	Vrata-rata (volt)	Tegangan Ternormalisasi
0	4.83	4.83	4.83	4.83	1
50	4.83	4.83	4.83	4.83	1
100	4.83	4.83	4.83	4.83	1
150	4.82	4.82	4.82	4.82	0.99793
200	4.82	4.82	4.82	4.82	0.99793
250	4.82	4.82	4.82	4.82	0.99793
300	4.82	4.81	4.81	4.813333333	0.99655
350	4.81	4.81	4.81	4.81	0.99586
400	4.81	4.81	4.81	4.81	0.99586
450	4.81	4.81	4.81	4.81	0.99586
500	4.81	4.81	4.81	4.81	0.99586
550	4.81	4.8	4.8	4.803333333	0.99448
600	4.81	4.8	4.8	4.803333333	0.99448
650	4.8	4.8	4.8	4.8	0.99379
700	4.8	4.8	4.8	4.8	0.99379
750	4.8	4.8	4.8	4.8	0.99379
800	4.8	4.79	4.79	4.793333333	0.99241
850	4.79	4.79	4.79	4.79	0.99172
900	4.79	4.79	4.79	4.79	0.99172
950	4.79	4.78	4.78	4.783333333	0.99034
1000	4.78	4.78	4.78	4.78	0.98965

Lampiran 6. Grafik hubungan massa (gram) terhadap tegangan keluaran fiber optik berbentuk 3 lingkaran tanpa pengupasan mantel.



[7/18/2017 10:57 "/Graph1" (2457952)]
 Fit Data1_TigaLingkar to $y_0 + A1e^{-x/t1}$:

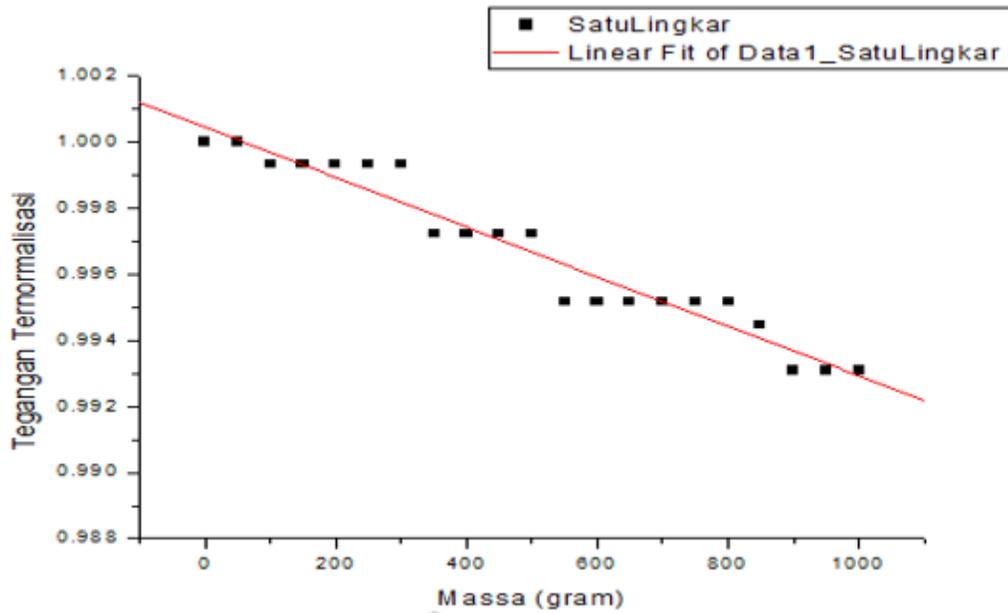
Chi²/DoF 2.85406E-7
 R² 0.972

Parameter	Value	Error
y0	-3.99647	766.24359
A1	4.9966	766.24337
t1	519082.26138	7.96795E7

Lampiran 7. Tabel data hasil pengukuran tegangan pada fiber optik yang dibentuk satu lingkaran dengan pengupasan mantel

Massa (gram)	Percobaan 1 (volt)	Percobaan 2 (volt)	Percobaan 3 (volt)	Vrata-rata (volt)	Tegangan Ternormalisasi
0	4.83	4.82	4.82	4.823333333	1
50	4.83	4.82	4.82	4.823333333	1
100	4.82	4.82	4.82	4.82	0.999308915
150	4.82	4.82	4.82	4.82	0.999308915
200	4.82	4.82	4.82	4.82	0.999308915
250	4.82	4.82	4.82	4.82	0.999308915
300	4.82	4.82	4.82	4.82	0.999308915
350	4.81	4.81	4.81	4.81	0.99723566
400	4.81	4.81	4.81	4.81	0.99723566
450	4.81	4.81	4.81	4.81	0.99723566
500	4.81	4.81	4.81	4.81	0.99723566
550	4.8	4.8	4.8	4.8	0.995162405
600	4.8	4.8	4.8	4.8	0.995162405
650	4.8	4.8	4.8	4.8	0.995162405
700	4.8	4.8	4.8	4.8	0.995162405
750	4.8	4.8	4.8	4.8	0.995162405
800	4.8	4.8	4.8	4.8	0.995162405
850	4.79	4.8	4.8	4.796666667	0.99447132
900	4.79	4.79	4.79	4.79	0.99308915
950	4.79	4.79	4.79	4.79	0.99308915
1000	4.79	4.79	4.79	4.79	0.99308915

Lampiran 8. Grafik hubungan massa (gram) terhadap tegangan keluaran fiber optik berbentuk 1 lingkaran dengan pengupasan mantel.



[7/18/2017 11:03 "/Graph1" (2457952)]
 Linear Regression for Data1_SatuLingkar:
 $Y = A + B * X$

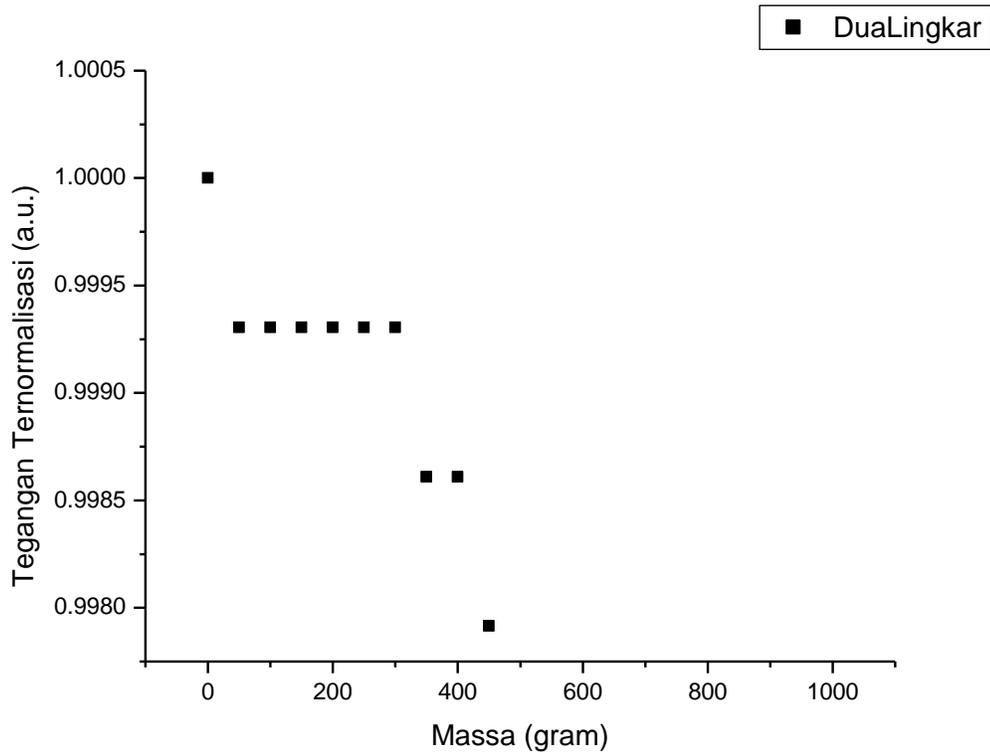
Parameter	Value	Error
A	1.00044	2.43014E-4
B	-7.52116E-6	4.15749E-7

R	SD	N	P
-0.97218	5.76828E-4	21	<0.0001

Lampiran 9. Tabel data hasil pengukuran tegangan pada fiber optik yang dibentuk dua lingkaran dengan pengupasan mantel

Massa (gram)	Percobaan 1 (volt)	Percobaan 2 (volt)	Percobaan 3 (volt)	Vrata-rata (volt)	Tegangan Ternormalisasi
0	4.8	4.8	4.79	4.796666667	1
50	4.8	4.79	4.79	4.793333333	0.999305073
100	4.8	4.79	4.79	4.793333333	0.999305073
150	4.8	4.79	4.79	4.793333333	0.999305073
200	4.8	4.79	4.79	4.793333333	0.999305073
250	4.8	4.79	4.79	4.793333333	0.999305073
300	4.8	4.79	4.79	4.793333333	0.999305073
350	4.8	4.79	4.78	4.79	0.998610146
400	4.8	4.79	4.78	4.79	0.998610146
450	4.8	4.78	4.78	4.786666667	0.997915219
500	4.79	4.78	4.78	4.783333333	0.997220292
550	4.79	4.78	4.78	4.783333333	0.997220292
600	4.78	4.77	4.77	4.773333333	0.995135511
650	4.78	4.77	4.77	4.773333333	0.995135511
700	4.77	4.76	4.76	4.763333333	0.99305073
750	4.76	4.75	4.75	4.753333333	0.990965949
800	4.76	4.73	4.72	4.736666667	0.987491313
850	4.75	4.71	4.72	4.726666667	0.985406532
900	4.72	4.7	4.71	4.71	0.981931897
950	4.68	4.68	4.7	4.686666667	0.977067408
1000	4.65	4.65	4.63	4.643333333	0.968033356

Lampiran 10. Grafik hubungan massa (gram) terhadap tegangan keluaran fiber optik berbentuk 2 lingkaran dengan pengupasan mantel.



[7/18/2017 11:08 "/Graph1" (2457952)]
 Linear Regression for Data1_DuaLingkar:
 $Y = A + B * X$

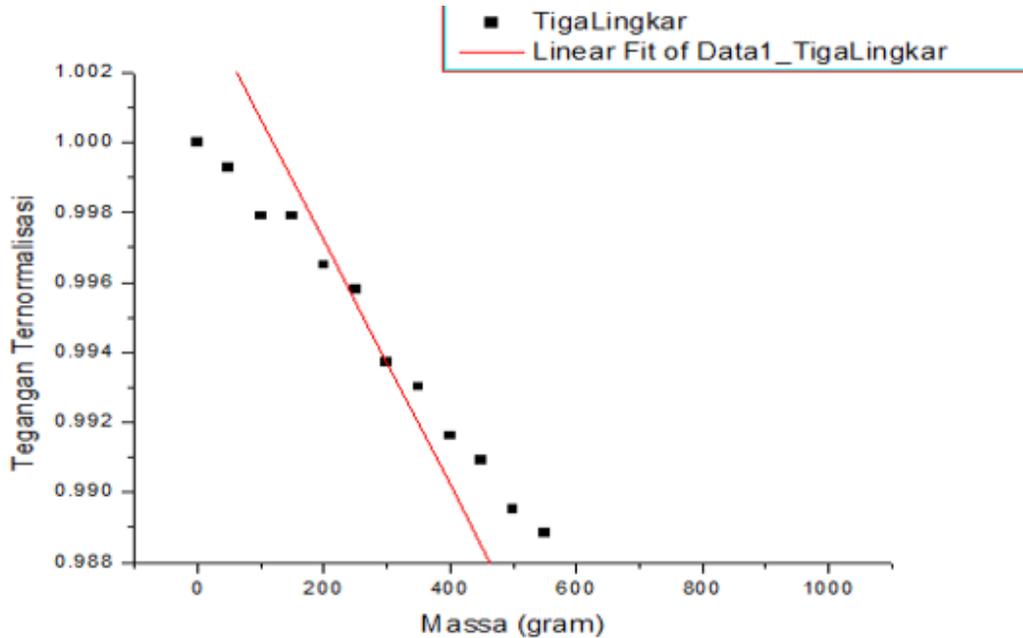
Parameter	Value	Error
A	1.00516	0.002
B	-2.36817E-5	3.42693E-6

R	SD	N	P
-0.8458	0.00475	21	<0.0001

Lampiran 11. Tabel data hasil pengukuran tegangan pada fiber optik yang dibentuk tiga lingkaran dengan pengupasan mantel

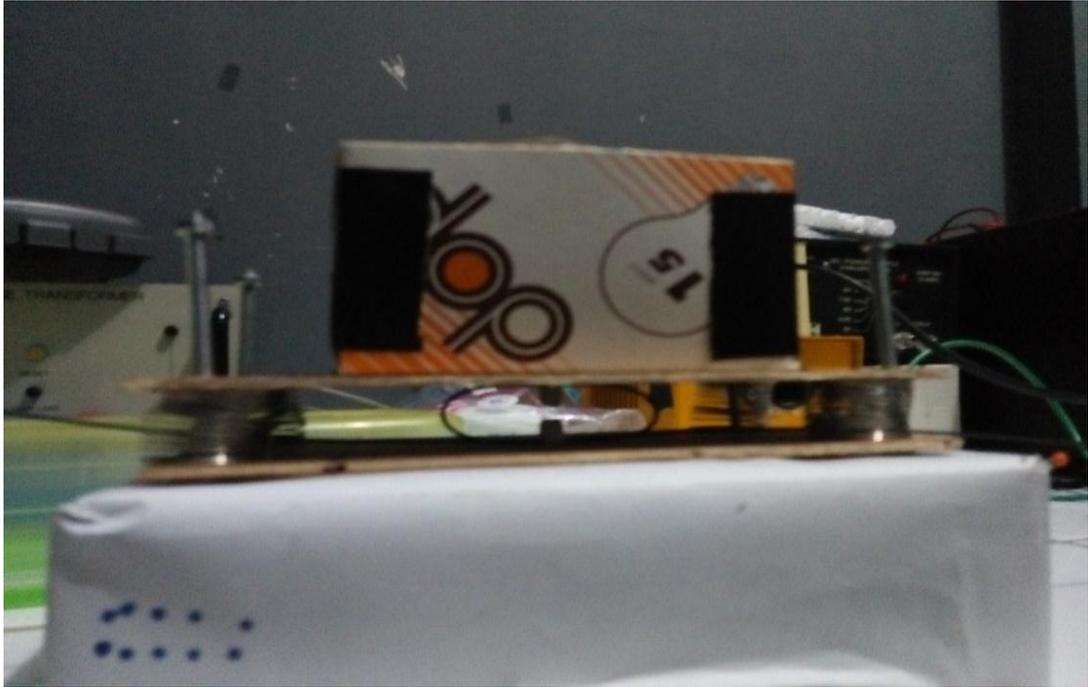
Massa (gram)	Percobaan 1 (volt)	Percobaan 2 (volt)	Percobaan 3 (volt)	Vrata-rata (volt)	Tegangan Ternormalisasi
0	4.78	4.77	4.77	4.773333333	1
50	4.78	4.77	4.76	4.77	0.999301676
100	4.77	4.76	4.76	4.763333333	0.997905028
150	4.77	4.76	4.76	4.763333333	0.997905028
200	4.77	4.75	4.75	4.756666667	0.99650838
250	4.76	4.75	4.75	4.753333333	0.995810056
300	4.76	4.74	4.73	4.743333333	0.993715084
350	4.75	4.74	4.73	4.74	0.99301676
400	4.75	4.73	4.72	4.733333333	0.991620112
450	4.75	4.73	4.71	4.73	0.990921788
500	4.74	4.72	4.71	4.723333333	0.98952514
550	4.74	4.71	4.71	4.72	0.988826816
600	4.73	4.71	4.7	4.713333333	0.987430168
650	4.73	4.7	4.69	4.706666667	0.98603352
700	4.7	4.69	4.69	4.693333333	0.983240223
750	4.69	4.69	4.67	4.683333333	0.981145251
800	4.69	4.65	4.67	4.67	0.978351955
850	4.65	4.64	4.64	4.643333333	0.972765363
900	4.65	4.62	4.61	4.626666667	0.969273743
950	4.62	4.62	4.59	4.61	0.965782123
1000	4.6	4.59	4.58	4.59	0.961592179

Lampiran 12. Grafik hubungan massa (gram) terhadap tegangan keluaran fiber optik berbentuk 3 lingkaran dengan pengupasan mantel.



[7/18/2017 11:20 "/Graph1" (2457952)]
 Linear Regression for Data1_TigaLingkar:
 $Y = A + B * X$

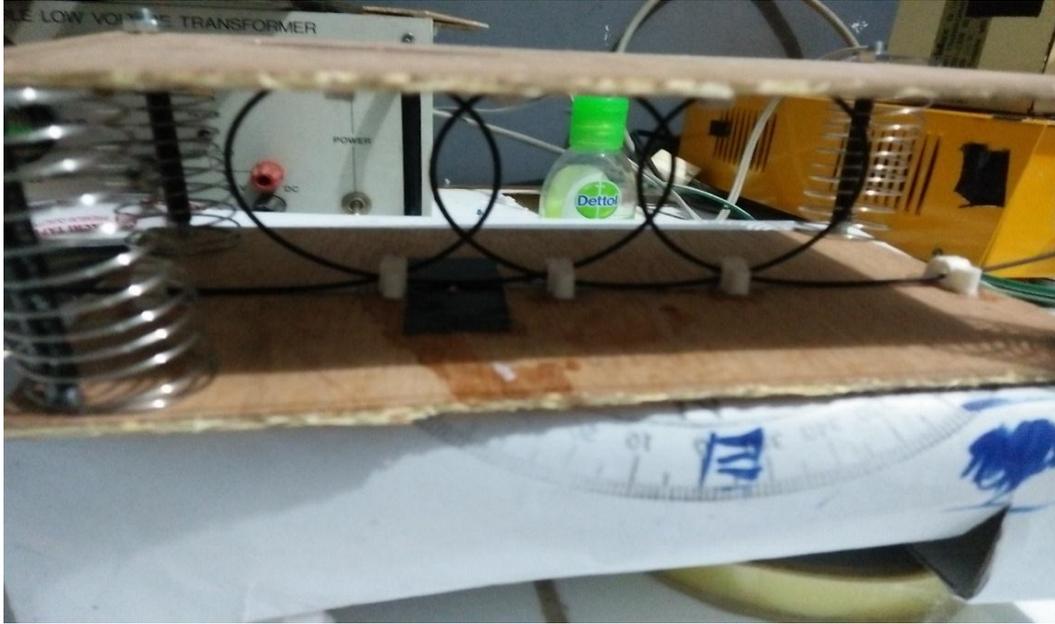
Parameter	Value	Error	
A	1.00418	0.00148	
B	-3.49706E-5	2.53359E-6	
R	SD	N	P
-0.95358	0.00352	21	<0.0001



Lampiran 13. Gambar rangkaian penelitian fiber optik dibentuk 1 lingkaran



Lampiran 14. Gambar rangkaian penelitian fiber optik dibentuk 2 lingkaran



Lampiran 15. Gambar rangkaian penelitian fiber optik dibentuk 3 lingkaran

Item		Specification			
		Unit	Min.	Typ.	Max.
Optical Fiber	Core Material	—	Polymetyl - Methacrylate Resin		
	Cladding Material	—	Fluorinated Polymer		
	Core Refractive Index	—	1.49		
	Refractive Index Profile	—	Step Index		
	Numerical Aperture	—	0.5		
	Core Diameter	µm	920	980	1,040
	Cladding Diameter	µm	940	1,000	1,060
Jacket	Material and Color	—	Polyethylene , Black		
	Diameter	mm	2.13	2.20	2.27
	Indication on the Jacket	—	SUPER ESKA ; Blue		
Approximate Weight		g / m	4		

Lampiran 16. Struktur Serat Optik tipe SH-4001-1.3

Item		Acceptance Criterion and / or [Test Condition]	Specification			
			Unit	Min.	Typ.	Max.
Maximum Rating	Storage Temperature	No Physical Deterioration [in a Dry Atmosphere]	°C	- 55	—	+ 70
	Operation Temperature	No Deterioration in Optical Properties* [in a Dry Atmosphere]	°C	- 55	—	+ 70
	Operation Temperature in a Moist Atmosphere	No Deterioration in Optical Properties** [under 95 %RH]	°C	—	—	+ 60
Optical Properties	Transmission Loss	∅50 nm Collimated Light]	dB/km	—	—	190
	Transmission Loss under 95 %RH	∅50 nm Collimated Light]	dB/km	—	—	210
Mechanical Characteristics	Minimum Bend Radius	Loss Increment ≦ 0.5 dB [A Quarter Bend]	mm	25	—	—
	Repeated Bending Endurance	Loss Increment ≦ 1 dB [in Conformity to the JIS C 6861]	Times	10,000	—	—
	Tensile Strength	[Tensile Force at 5Åi Elongation; in Conformity to the JIS C 6861]	N	70	—	—
	Twisting Endurance	Loss Increment ≦ 1 dB [Sample Length : 1 m Tensile Force : 4.9 N]	Times	5	—	—
	Impact Endurance	Loss Increment ≦ 1 dB [in Conformity to the JIS C 6861]	N.m	0.4	—	—

All tests are carried out under temperature of 25°C unless otherwise specified.

Lampiran 17. Performa Serat Optik tipe SH-4001-1.3