

**PENGEMBANGAN SENSOR TEKANAN BERBASIS
POLYMER OPTICAL FIBER (POF) YANG DISISIPI GEL**

SKRIPSI

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



Disusun Oleh:

Aisyah Ninda Kusuma Wati

NIM 12306141011

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

2016

PERSETUJUAN

Skripsi yang berjudul “**PENGEMBANGAN SENSOR TEKANAN BERBASIS *POLYMER OPTICAL FIBER (POF)* YANG DISISIPI GEL**” yang disusun oleh Aisyah Ninda Kusuma Wati, NIM 12306141011 ini telah disetujui oleh pembimbing untuk diujikan.



Yogyakarta, 20 Oktober 2016

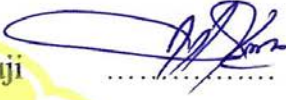


Dosen Pembimbing

Dr. Heru Kuswanto
NIP 19611112 198702 1 001

PENGESAHAN

Skripsi yang berjudul **“PENGEMBANGAN SENSOR TEKANAN BERBASIS POLYMER OPTICAL FIBER (POF) YANG DISISIPI GEL”** yang disusun oleh Aisyah Ninda Kusuma Wati, NIM 12306141011 ini telah dipertahankan di depan Dewan Penguji pada tanggal 4 November 2016 dan dinyatakan lulus.

DEWAN PENGUJI

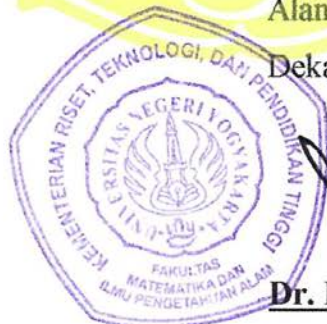
Nama	Jabatan	Tanda Tangan	Tanggal
<u>Dr. Heru Kuswanto</u> NIP. 19611112 198702 1 001	Ketua Penguji		25-11-2016
<u>Dr. Eng. Rida Siti Nur'aini M</u> NIP. 198408182014042001	Sekretaris Penguji		21-11-2016
<u>Nur Kadarisman, M.Si.</u> NIP. 196402051991011001	Penguji		21-11-2016

Yogyakarta, 29 November 2016

Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan

Alam Universitas Negeri Yogyakarta

Dekan,



Dr. Hartono

NIP. 19620329 198702 1 002

PERNYATAAN

Yang bertandatangan di bawah ini:

Nama : Aisyah Ninda Kusuma Wati
NIM : 12306141011
Jurusan : Pendidikan Fisika
Program Studi : Fisika
Fakultas : Matematika Dan Ilmu Pengetahuan Alam
Judul Skripsi : Pengembangan Sensor Tekanan Berbasis *Polymer Optical Fiber* (POF) Yang Disisipi Gel

Dengan ini saya menyatakan bahwa skripsi ini benar-benar karya saya sendiri. Sepanjang pengetahuan saya tidak terdapat karya atau pendapat yang ditulis atau diterbitkan orang lain kecuali sebagai acuan dan kutipan dengan mengikuti tata penulisan karya ilmiah yang telah lazim. Tanda tangan dosen penguji yang tertera dalam halaman pengesahan adalah asli. Jika tidak asli, saya siap menerima sanksi ditunda yudisium pada periode berikutnya.

Yogyakarta, 20 Oktober 2016

Yang menyatakan,

Aisyah Ninda Kusuma Wati

NIM 12306141011

MOTTO

ALLAH mengilhamkan sukma keburukan dan kebaikan

Beruntunglah bagi yang mensucikannya

Merugilah bagi yang mengotorinya

(QS. Asy-Syam: 8-10)

Sesuatu yang mudah, tak selamanya semudah yang kau pikirkan. Sesuatu yang
kau anggap sulit tidak selama akan tetap tertunda
Sesuatu itu mudah karena kita sudah terbiasa

PERSEMBAHAN

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

1. Kedua orang tua saya, Mama dan Papa yang tersayang, terima kasih untuk doa dan *support* yang selalu Mama dan Papa berikan untuk Aisyah selama ini
2. Ibu dan Bapak Bawitan, Uti dan Bapak Djati serta Aa Dian Trendi yang telah menjaga, merawat dan menasehati saya selama di Jogja, terima kasih untuk doa dan *support* selama ini.
3. Dosen pembimbing, Bapak Dr. Heru Kuswanto yang telah meluangkan waktunya untuk membimbing dan memberikan masukan-masukan kepada saya sehingga skripsi ini dapat diselesaikan dengan baik.
4. Sahabat seperjuangan Kurnie Andita yang selalu saling membantu selama penelitian dan berdiskusi berbagai hal tentang skripsi. Terimakasih.
5. Sahabat-sahabat saya (Icha, yuni, mahmudah, nuril, endah dan siti) yang telah mengajari saya banyak hal.
6. Teman-teman kelas Yoradab Fisika B 2012, terima kasih sudah menjadi sahabat terbaik selama 4 tahun ini.
7. Teman-teman KKN 1053, terimakasih sudah menjadi sahabat dalam pengenalan 1 bulan dan sampai saat ini masih dekat serta saling mengingatkan skripsi.

PENGEMBANGAN SENSOR TEKANAN BERBASIS POLYMER OPTICAL FIBER (POF) YANG DISISIPI GEL

Oleh:

**Aisyah Ninda Kusuma Wati
12306141011**

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh pemberian tekanan terhadap perubahan intensitas keluaran fiber optik, pemberian berbagai macam gel pengisian pada sambungan terhadap keluaran fiber optik dan untuk mengetahui sensitivitas dan linearitas terbaik pada sensor tekanan fiber optik.

Fiber optik yang digunakan adalah *Polymer Optical Fiber* (POF) tipe SH-4001-1.3. *Polymer Optical Fiber* ini memiliki indeks bias *core* sebesar 1,49 dan indeks bias *cladding* sebesar 1,41. Gel disisipi diantara fiber optik dengan sepanjang 1 cm di dalam pipa kecil, kemudian diberi variasi tekanan sehingga mempengaruhi intensitas cahaya. Daya optik keluaran dari *Polymer Optical Fiber* dideteksi menggunakan *Optical Power Meter* (OPM). Sumber cahaya yang digunakan adalah laser HeNe dengan panjang gelombang 632,8 nm dan daya keluaran 5 mW.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa intensitas cahaya keluaran fiber optik mengalami kenaikan seiring dengan penambahan massa beban. Pemberian tekanan pada penyambungan fiber optik dengan menggunakan berbagai jenis gel menunjukkan bahwa gel yang memiliki nilai keluaran intensitas cahaya terbaik yaitu gel pulpen dengan warna gel kuning. Nilai sensitivitas terbaik pada gel pulpen dengan warna gel kuning pada jarak 0,5 cm dengan gradien sebesar $(0,0035 \pm 0,0028)$ dBm/cm. Sedangkan linearitas terbaik terdapat pada jenis gel pulpen dengan warna gel bening pada perlakuan dengan jarak 0 cm yaitu sebesar 0,99919.

Kata kunci: *Polymer Optical Fiber* (POF), gel, sensor tekanan

THE DEVELOPMENT OF PRESSURE SENSOR BASED POLYMER OPTICAL FIBER (POF) INSERTED GEL

By:
Aisyah Ninda Kusuma Wati
12306141011

ABSTRACT

This study aimed to determine the effect of pressure on the output intensity of optical fiber, to determine the effect of filling gel variations on the conjunction of the output optical fiber, and also to obtain the best of sensitivity and linearity of the pressure sensor on optical fiber.

Optical fiber used was Polymer Optical Fiber (POF) type SH-4001-1.3. Polymer Optical Fiber had 1.49 core refractive index and 1.41 cladding refractive index. Gel was inserted between the optical fiber with 1 cm length in the small pipe, and then gel was given pressure variations, so it will affect the intensity. Optical power output of Polymer Optical Fiber (POF) was detected using Optical Power Meter (OPM). The light source used was HeNe laser with 632.8 nm wavelength and 5 mW output powers.

The results of the study indicated that output intensity of optical fiber increased through the addition of mass loads. The giving of pressure variations to the optical fiber conjunction by using different types of gel showed that the gel which had the best of output intensity was the yellow gel pen. The best sensitivity value was had by the yellow gel pen with 0,5 cm distance and (0.0035 ± 0.0028) dBm/cm gradient. While the best linearity was had by transparent gel pen with 0 cm distance and 0.99919 linearity.

Keywords: Polymer Optical Fiber (POF), gel, pressure sensor

KATA PENGANTAR

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

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

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

5. Bapak Dr. Heru Kuswanto, selaku Dosen Pembimbing yang telah memberikan arahan, bimbingan dan kesabarannya dari awal sampai akhir penyusunan skripsi ini.
6. Dosen-dosen Jurusan Pendidikan Fisika, FMIPA UNY yang telah mendidik dan memberikan ilmu pengetahuannya kepada penulis.
7. Teman-teman Fisika B Angkatan 2012 atas perjuangan dan pengalamannya bersama selama menimba ilmu.
8. Semua pihak yang telah membantu penulis yang tidak dapat penulis tuliskan satu persatu.

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

Yogyakarta, 20 Oktober 2016

Penulis,

Aisyah Ninda Kusuma Wati

NIM 12306141011

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
PERSETUJUAN.....	ii
PENGESAHAN.....	iii
PERNYATAAN.....	iv
MOTTO	v
PERSEMBAHAN.....	vi
ABSTRAK	vii
ABSTRACT	viii
KATA PENGANTAR.....	ix
DAFTAR ISI.....	xi
DAFTAR TABEL	xiv
DAFTAR GAMBAR.....	xv
DAFTAR LAMPIRAN	xvii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
A. Latar Belakang	1
B. Identifikasi Masalah.....	3
C. Batasan Masalah	4
D. Rumusan Masalah.....	4
E. Tujuan Penelitian	5
F. Manfaat Peneitian	5

BAB II KAJIAN PUSTAKA	6
A. Deskripsi Teori.....	6
1. Fiber Optik	6
2. Pemantulan Internal Sempurna	11
3. <i>Numerical Aperture</i> (NA)	12
4. Penggunaan Desibel di Dalam Fiber Optik	14
5. Fiber Optik Plastik	15
6. Pelemahan Daya Fiber Optik	18
7. Penyambungan Fiber Optik	23
8. Sensor Fiber Optik	28
9. Tekanan.....	33
10. Gel.....	34
B. Kerangka Berpikir.....	36
BAB III METODE PENELITIAN	37
A. Waktu dan Tempat Penelitian.....	37
B. Variabel Penelitian.....	37
C. Alat dan Bahan Penelitian.....	38
D. Desain Penelitian	38
E. Prosedur Penelitian	40
F. Teknik Analisis Data.....	41
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	42
A. Hasil Penelitian	42
1. Pengaruh pemberian massa beban terhadap intensitas keluaran fiber optik dengan berbagai jenis pengisi gel	42

2.	Pengaruh pemberian massa beban terhadap intensitas keluaran fiber optik dengan jenis pengisi gel pulpen (kuning dan bening)	44
3.	Pengaruh pemberian massa beban terhadap intensitas keluaran fiber optik dengan jenis pengisi gel rambut (kuning dan bening)	45
B.	Pembahasan.....	45
1.	Proses perambatan cahaya dalam fiber optik.....	46
2.	Pengaruh Tekanan terhadap Keluaran Fiber optik.....	49
3.	Perambatan Cahaya Dari Persambungan Fiber Optik Dengan Gel	50
4.	Sensitivitas Sensor Tekanan Pada Fiber Optik Dengan Persambungan Yang Disisipi Gel	51
BAB V SIMPULAN DAN SARAN		54
A.	Simpulan	54
B.	Saran	54
DAFTAR PUSTAKA		55
LAMPIRAN.....		57

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Perbandingan beberapa parameter fiber optik plastik dengan komposisi teras (<i>core</i>) berbeda.....	15
Tabel 2.2 Spesifikasi POF tipe SH-4001-1.3 (Sumber: http://i-fiberoptics.com).....	17
Tabel 2.3 Spesifikasi POF tipe SH-4001-1.3	18
Tabel 4. 1 Analisis Tekanan pada fiber optik	43
Tabel 4. 2 Pengaruh intensitas cahaya tanpa gel dan menggunakan gel.....	50
Tabel 4. 3 Indeks bias beberapa bahan persambungan dan sudut kritis.....	51
Tabel 4. 4 Sensitivitas berbagai gel pada persambungan fiber optik.....	52
Tabel 4. 5 Linearitas gel pada persambungan fiber optik dengan perlakuan yang berbeda.....	53

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Susunan fiber optik	8
Gambar 2.2. Fiber optik <i>single mode</i>	9
Gambar 2.3. Jenis fiber optik <i>Multimode</i>	10
Gambar 2.4. Pemantulan internal sempurna	11
Gambar 2.5. Proses Perambatan Cahaya Pada Fiber Optik	13
Gambar 2.6 Fiber optik plastik tipe SH-4001-1.3.....	17
Gambar 2.7 Cahaya terpancar ke segala arah	21
Gambar 2.8 Pemantulan Fresnel	22
Gambar 2.9 Pemantulan Fresnel di setiap bidang batas.....	22
Gambar 2.10 Pergeseran lateral	24
Gambar 2.11 Kesalahan penjajaran sudut.....	25
Gambar 2.12 Ujung permukaan fiber optik yang tidak rata.....	26
Gambar 2.13 Ketidaksesuaian diameter inti	27
Gambar 2.14 Ketidaksesuaian diameter <i>cladding</i>	27
Gambar 2.15 Ketidaksesuaian <i>Numerical Aperture</i>	28
Gambar 2.16 Skema sistem sensor fiber optik.....	29
Gambar 2.17 Skema sensor fiber optik.....	31
Gambar 2.18 Skema sensor ekstrinsik (optode).....	32
Gambar 3.1 Desain alat	39

Gambar 3.2 Spon untuk meletakkan pipa kecil	39
Gambar 3.3 Pemberian gel pada persambungan	39
Gambar 4.1 Grafik Hubungan Antara Tekanan dan Intensitas Cahaya Pada Gel Rambut Dan Gel Pulpen	42
Gambar 4.2 Grafik Hubungan Antara Tekanan dan Intensitas Cahaya Pada Gel Pulpen (Kuning Dan Bening)	44
Gambar 4.3 Grafik Hubungan Antara Tekanan dan Intensitas Cahaya Pada Gel Rambut (Kuning Dan Bening)	45
Gambar 4.4 Pemilihan sudut berada kisaran sudut penerima	47
Gambar 4.5 Cahaya yang masuk ke dalam core	47
Gambar 4.6 Sudut datang dalam bidang batas <i>core</i> dan <i>cladding</i>	48

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Pemberian massa beban terhadap intensitas keluaran fiber optik dengan jenis pengisi gel pulpen dengan menggunakan warna gel bening.	57
Lampiran 2. Pemberian massa beban terhadap intensitas keluaran fiber optik dengan jenis pengisi gel pulpen dengan menggunakan warna gel kuning.	59
Lampiran 3. Pemberian massa beban terhadap intensitas keluaran fiber optik dengan jenis pengisi gel rambut dengan menggunakan warna gel bening.	61
Lampiran 4. Pemberian massa beban terhadap intensitas keluaran fiber optik dengan jenis pengisi gel rambut dengan menggunakan warna gel kuning.	63
Lampiran 5. Alat Dan Bahan Penelitian	65

BAB I PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Teknologi fiber optik selalu berhadapan dengan masalah bagaimana cara agar lebih banyak informasi yang dapat dibawa, lebih cepat dan lebih jauh penyampaiannya dengan tingkat kesalahan yang sekecil-kecilnya. Informasi yang dibawa berupa sinyal digital, digunakan besaran kapasitas transmisi diukur dalam 1 Gb.km/s yang artinya 1 milyar bit dapat disampaikan tiap detik melalui jarak 1 km.

Pada tahun 1930-an para ilmuwan asal Jerman memulai eksperimen untuk mengirim sebuah data menggunakan cahaya melalui bahan fiber optik. Namun masih belum dapat digunakan atau dimanfaatkan karena masih perlu pengembangan dan penyempurnaan lebih lanjut. Pada tahun 1958 ilmuwan Inggris mengusulkan prototipe fiber optik yang saat ini masih digunakan yaitu terdiri dari gelas inti yang terbungkus oleh gelas lainnya. Pada tahun 1960-an para ilmuwan Jepang berhasil membuat perubahan yang fantastis dengan penemuannya yang berhasil membuat fiber optik yang mampu mentransmisi gambar. Namun masih belum efisien sehingga pada tahun 1980-an fiber optik sudah mampu mentransmisikan gelombang cahaya dengan efisien maka menjadi teknologi berkembang pesat di dunia.

Penggunaan fiber optik di Indonesia mengalami perkembangan pesat. Hal ini disebabkan dengan fiber optik maka data yang dikirimkan

lebih cepat dan akurat. Penggunaan fiber optik di Indonesia diantaranya adalah untuk jaringan internet, pengiriman data, telekomunikasi, perangkat perintaian dll. Kelebihan internet yang menggunakan fiber optik dibanding nirkabel adalah koneksi lebih stabil dan pengiriman data jauh lebih cepat. Sehingga resiko lost sinyal sangat kecil.

Fiber optik dikenal dengan dua bahan dasar yaitu gelas dan plastik. Fiber optik berbahan dasar gelas lebih banyak digunakan sebagai media komunikasi jarak jauh, sedangkan fiber optik plastik lebih banyak dimanfaatkan sebagai sensor. Perlakuan pada fiber optik plastik itu sendiri disesuaikan dengan fungsi sensornya. Perlakuan ini dapat berupa mengganti *cladding*, memanaskan bahan sambungan, ataupun dengan membuat bengkokan pada fiber optik. Saat ini sudah dikembangkan pemanfaatan fiber optik untuk sensor tekanan. Perubahan intensitas cahaya pada fiber optik disebabkan antara lain oleh absorpsi, hamburan Rayleigh, pemantulan Fresnel serta pelemahan akibat pembengkokan (John Crisp dan Barry Elliot, 2008: 59).

Dalam penyambungan fiber optik agar cahaya tidak terhambur maka teknik pemotongan harus tepat. Untuk mencegah cahaya berbelok atau terhambur pada titik sambung, maka permukaan ujung fiber harus datar. Karena ujung-ujung fiber yang disambungkan tidak dapat saling menempel sepenuhnya, maka selalu terdapat celah di titik persambungan. Cahaya yang keluar dari ujung fiber yang satu akan terlebih dulu melewati daerah diskontinuitas (celah) ini sebelum masuk ke ujung fiber di depannya

dan menyebar dengan sudut sebesar kerucut penerimaan. Akibatnya, tidak semua bagian dari cahaya yang hilang itu akan jatuh di daerah inti fiber di depannya dan hilang menjadi rugi daya. Rugi daya ini dapat ditekan lebih jauh lagi jika mengisi daerah celah dengan larutan gel yang berindeks bias sama dengan inti (*index-matching gel*), sehingga jalur yang dilalui cahaya akan mendekati kontinu. Gel semacam itu biasanya digunakan untuk mengurangi efek pemantulan Fresnel, namun dapat membantu pula memperkecil rugi daya yang timbul di titik persambungan. Jika sumbu kedua fiber yang disambungkan berselisih posisi atau tidak saling berhimpit, maka daerah inti kedua fiber tidak akan sepenuhnya bersambungan. Akibatnya, sebagian cahaya yang keluar dari inti fiber yang satu tidak dapat masuk ke inti fiber yang lainnya dan hilang menjadi rugi daya (John Crisp dan Barry Elliot, 2008: 104-105).

B. Identifikasi Masalah

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

- a. Ketidaktepatan pemotongan fiber optik menyebabkan penurunan intensitas pada penyambungan fiber optik.
- b. Perubahan intensitas cahaya yang melalui fiber optik dapat diakibatkan tekanan pada fiber optik.
- c. Penurunan intensitas dipengaruhi oleh kesejajaran penyambungan fiber optik.

- d. Jarak penyambungan pada dua buah fiber optik mempengaruhi penurunan intensitas.
- e. Jenis pengisi pada sambungan fiber optik mempengaruhi penurunan intensitas.

C. Batasan Masalah

Karena luasnya masalah yang diidentifikasi, maka penelitian ini difokuskan dan dibatasi pada pengaruh jarak, pengaruh tekanan dan berbagai jenis pengisian pada sambungan fiber optik. Jenis pengisian yang digunakan yaitu gel pulpen dan gel rambut, masing-masing dengan warna gel kuning dan bening. Untuk jarak dari gel ke fiber yang digunakan 0 cm, 0,3 cm dan 0,5 cm sedangkan pada massanya dilakukan untuk setiap kelipatan 20 gram (hingga 300 gram). Sebagai sumber cahaya digunakan laser Helium-Neon dengan emisi keluaran 5 mW dan $\lambda = 632,6$ nm dan sebagai sisi ukur daya digunakan *Optical Power Meter* (OPM).

D. Rumusan Masalah

Berdasarkan batasan masalah, maka dalam penelitian ini dirumuskan masalah sebagai berikut:

- a. Bagaimana pengaruh pemberian massa beban pada fiber optik terhadap intensitas cahaya keluaran fiber optik?
- b. Bagaimana pengaruh intensitas keluaran fiber optik dengan pemberian berbagai macam pengisian pada sambungan fiber optik?

- c. Bagaimana sensitivitas dan linearitas terbaik *Polymer Optical Fiber* (POF)?

E. Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian itu sendiri adalah:

- a. Mengetahui pengaruh pemberian tekanan pada intensitas cahaya keluaran fiber optik.
- b. Mengetahui perubahan intensitas keluaran fiber optik dengan pemberian berbagai macam gel pengisian pada sambungan terhadap keluaran fiber optik.
- c. Mengetahui sensitivitas dan linearitas terbaik pada sensor tekanan fiber optik.

F. Manfaat Penelitian

Dari Penelitian ini manfaat yang dapat diambil adalah

- a. Dapat mengaplikasikan *Polymer Optical Fiber* (POF) dalam bidang sensor terutama sensor tekanan.
- b. Dapat memberikan informasi mengenai perubahan intensitas keluaran fiber optik dengan pemberian berbagai pengisian pada sambungan fiber optik.
- c. Sebagai acuan atau referensi untuk melakukan riset selanjutnya.

BAB II

KAJIAN PUSTAKA

A. Deskripsi Teori

1. Fiber Optik

Fiber optik merupakan sebuah bahan transparan yang sangat jernih atau kabel yang terbuat dari bahan semacam ini, yang dapat digunakan untuk mentransmisikan gelombang cahaya. Sistem fiber optik adalah sistem komunikasi data dan suara, atau cabang ilmu teknik yang berurusan dengan sistem komunikasi, yang memanfaatkan fiber optik sebagai medium transmisinya. Fiber atau serat adalah sebutan singkat yang sering digunakan untuk kedua hal di atas di dalam berbagai situasi praktis. Maka, boleh juga dikatakan bahwa fiber digunakan pada sebuah sistem fiber (John Crisp dan Barry Elliot, 2008: 10).

Prinsip kerja fiber optik tidak lepas dari bagian-bagian pentingnya yaitu *transmitter*, kabel fiber optik dan *receiver*. *Transmitter* berfungsi untuk mengubah informasi dari gelombang elektrik agar dapat bersesuaian dengan gelombang cahaya dan membangkitkannya menjadi gelombang cahaya sehingga dapat merambat melalui kabel fiber optik. Fungsi kabel fiber optik adalah sebagai tempat merambatnya gelombang cahaya. *Receiver* berfungsi untuk menerima sinyal optik selanjutnya diubah menjadi gelombang aslinya kembali.

Tiga hal penting yang harus diingat adalah:

- a. Fiber Optik sepenuhnya padat, tidak terdapat lubang atau rongga apa pun di bagian tengahnya.
- b. *Buffer*/jaket berfungsi hanya sebagai pelindung mekanis
- c. Cahaya merambat di dalam bagian inti, meskipun terdapat pula sedikit rembesan yang masuk ke bagian *cladding*, sehingga kejernihan bahan *cladding* juga harus diperhatikan.

Menurut Meiyanto (2002: 137) struktur fiber optik terdiri dari 3 bagian utama yaitu:

- a. Teras (*core*)

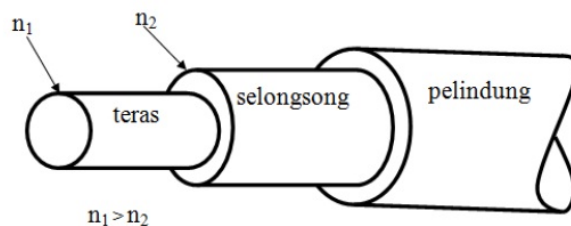
Teras merupakan bagian utama dari fiber optik karena perambatan cahaya terjadi pada bagian teras. Teras terbuat dari bahan plastik atau kaca halus yang berkualitas tinggi dan tidak mengalami perkaratan (korosi).

- b. Selongsong (*cladding*)

Cladding merupakan pelindung inti yang terbuat dari bahan polimer atau plastik, walaupun tidak membawa cahaya namun merupakan bagian penting dari fiber optik, khususnya bersama inti dalam menghasilkan fenomena pemantulan internal total untuk pemanduan gelombang optik di dalam inti fiber optik, dimana indeks bias *cladding* harus lebih kecil dari pada indeks bias inti.

c. Jaket pelindung (*buffer primer*)

Buffer berfungsi sebagai pelindung inti dan *cladding* dari kondisi lingkungan yang merusak seperti asam dan basa. Selain itu ada pula bagian penting lain dari fiber optik yaitu *jacket* dan *strengthening fiber*. *Jacket* merupakan bagian terluar yang berhubungan langsung dengan lingkungan sedangkan *strengthening fiber* dari bahan *Kevlar* berfungsi sebagai penguat kabel fiber optik dari tarikan.



Gambar 2.1 Susunan fiber optik (Gerd Keiser, 1991: 26)

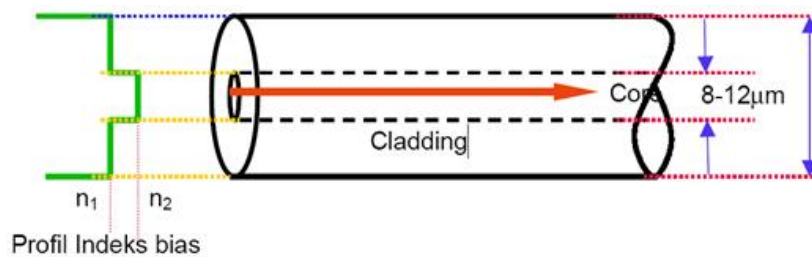
Pada fiber optik, indeks bias *core* lebih besar dari indeks bias *cladding*. Cahaya yang masuk ke dalam *core* akan tegak lurus terhadap penampang fiber optik. Cahaya tersebut masuk ke dalam *core* dengan sudut datang lebih besar dari sudut kritisnya, yang akan menghasilkan pemantulan sempurna pada bidang batas *core cladding*. Cahaya pantul ini akan berjalan menyeberangi *core* menuju *cladding* dengan sudut pantul yang relatif sama dengan sudut datangnya.

Pembagian fiber optik dapat dilihat dari jalur yang dilewati cahaya di dalam fiber optik (*Mode*) dan indeks biasnya.

a. Berdasarkan mode yang dirambatkan:

1) Mode Tunggal (*Singlemode*)

Singlemode mempunyai ukuran diameter core yang sangat kecil yaitu sekitar 4-10 μm dan diameter cladding sebesar 125 μm . Fiber optik ini hanya dapat mentransmisikan sinyal dalam satu mode. Karena *single mode* hanya mentransmisikan sinyal pada mode utama, sehingga dapat mencegah terjadinya dispersi kromatik. Pita frekuensi dan kapasitas transmisi yang besar sangat cocok untuk komunikasi fiber optik jarak optik.

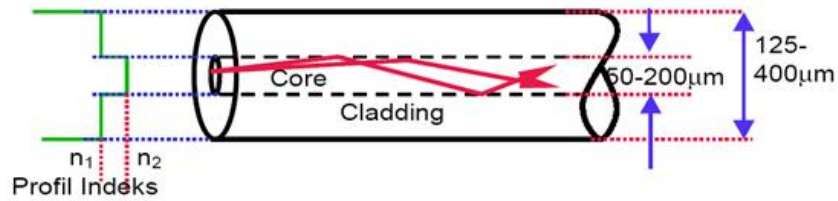


Gambar 2.2. Fiber optik *single mode*
(John Crisp dan Barry Elliot, 2008: 74)

2) Mode Jamak (*multimode*)

Pada panjang gelombang operasi tertentu, jika fiber optik mentransmisikan sinyal dalam berbagai mode disebut fiber *multimode*. Fiber *multimode* biasanya memiliki diameter *core* antara (50 - 70) μm dan diameter *cladding* antara (100 - 200) μm .

Jenis fiber ini biasanya memiliki performansi transmisi yang buruk, *bandwidth* yang sempit dan kapasitas transmisi yang kecil.



Gambar 2.3. Jenis fiber optik *Multimode*
(John Crisp dan Barry Elliot, 2008: 74)

b. Berdasarkan indeks bias *core*

1) Indeks Undak (*Step indeks*)

Pada fiber optik *step indeks*, *core* memiliki indeks bias yang homogen.

2) Indeks Bertahap (*Graded indeks*)

Pada *graded indeks* ini indeks bias *core* semakin mendekat ke arah *cladding* maka semakin kecil. Jadi pada *graded indeks*, pusat *core* memiliki nilai indeks bias paling besar. *Graded indeks* memungkinkan untuk membawa *bandwidth* yang lebih besar, karena pelebaran pulsa yang terjadi dapat diminimalkan.

Menurut Thomas Sri Widodo (1992: 2) fiber optik mempunyai beberapa keunggulan dibandingkan dengan medium transmisi yang lain, yaitu: mempunyai lebar pita (*bandwidth*) yang sangat lebar hingga dapat mencapai orde giga hertz, ukuran sangat kecil dan murah, sehingga mudah dalam penanganan dan instalasi, isyarat cahaya tidak berpengaruh oleh

medan listrik maupun medan magnet, isyarat dalam kabel fiber terjamin keamanannya dan karena dalam fiber optik tidak terdapat tenaga listrik maka tidak akan terjadi ledakan maupun percikan api.

2. Pemantulan Internal Sempurna

Sudut kritis berperan sangat penting di dalam prinsip kerja fiber optik. Jika cahaya merambat dengan sudut datang yang kurang dari sudut kritis, maka cahaya tersebut akan dibiaskan keluar dari bahan pertama. Akan tetapi, jika cahaya merambat menuju bidang perbatasan dengan sudut datang yang lebih besar dari sudut kritis, maka cahaya tersebut akan dipantulkan kembali (oleh bidang perbatasan) ke dalam bahan pertama. Dalam kasus ini, bidang perbatasan hanya berperan sebagai sebuah bidang pemantul ('cermin'). Efek semacam ini disebut sebagai pemantulan internal sempurna (*total internal reflection/TIR*). Gambar 2.4 melukiskan terjadinya efek ini.



Gambar 2.4. Pemantulan internal sempurna
(John Crisp dan Barry Elliot, 2008: 18)

Ketika sudut datang cahaya (di dalam bahan pertama) menuju bidang perbatasan terus diperbesar, akan tercapai suatu titik di mana sudut bias menjadi bernilai 90° dan cahaya akan merambat sejajar dengan bidang perbatasan di dalam bahan kedua. Sudut datang yang menjadikan hal tersebut dinamakan sebagai sudut kritis. Hukum Snellius menyatakan bahwa:

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

Di mana: n_1 dan n_2 secara berturut-turut adalah indeks bias bahan pertama dan bahan kedua, sedangkan θ_1 dan θ_2 secara berturut-turut adalah sudut datang dan sudut bias. Menghitung nilai sudut kritis dengan mengambil nilai sudut bias sebesar 90° dan memasukkannya ke dalam persamaan Hukum Snellius

$$n_1 \sin \theta_1 = n_2 \sin 90^\circ \quad (2)$$

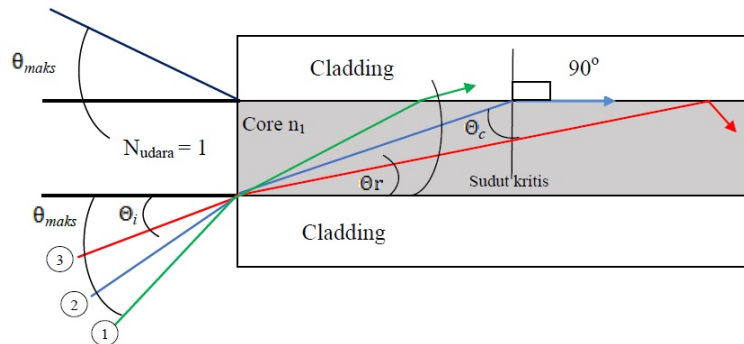
$$\theta_{\text{kritis}} = \arcsin\left(\frac{n_2}{n_1}\right) \quad (3)$$

3. Numerical Aperture (NA)

Numerical Aperture adalah parameter yang mengukur kemampuan fiber optik untuk menangkap atau mengumpulkan cahaya. Selain *numerical aperture* sudut penerima juga mengindikasikan berapa cahaya yang dapat diterima ke dalam fiber optik.

Pada gambar 2.5 menunjukkan adanya sudut θ_{maks} yang merupakan sudut maksimum penerimaan agar cahaya dapat masuk kedalam fiber optik. Cahaya tidak dapat masuk apabila melebihi wilayah θ_{maks} karena cahaya yang masuk dengan sudut datang lebih besar daripada θ_{maks} akan

menyebabkan cahaya yang masuk tidak dapat berlanjut keluar. Sedangkan semua cahaya yang berada dalam wilayah θ_{maks} dapat masuk dalam fiber optik dengan batas kritis sejauh θ_{maks} (Harsono, 2010).



Gambar 2.5. Proses Perambatan Cahaya Pada Fiber Optik (Harsono, 2010: 16)

Keterangan gambar:

1. Cahaya masuk kedalam *cladding*
2. Cahaya yang masuk dengan sudut kritis
3. Cahaya yang merambat kedalam *core*

Besarnya nilai *numerical aperture (NA)* ditentukan dengan persamaan berikut:

$$NA = n \sin \theta_{maks} = \sqrt{n_1^2 - n_2^2} \quad (4)$$

Dengan:

n = inde

ks bias udara =1

n_1 = indeks bias inti

n_2 = indeks bias selubung (*cladding*)

4. Penggunaan Desibel di Dalam Fiber Optik

Desibel adalah nilai perbandingan (rasio) antara dua buah nilai daya (Gred Keiser, 1984: 301) dalam rumus:

$$\text{Gain} = 10 \log \left(\frac{P_{\text{out}}}{P_{\text{in}}} \right) \text{ dB} \quad (5)$$

dapat dilihat adanya dua buah nilai daya yang dinyatakan dalam satuan baku *watt*, yaitu daya output dan daya input. Penggunaan desibel untuk menyatakan nilai daya, yaitu untuk dijadikan satuan daya menggunakan watt, maka diasumsikan suatu nilai tertentu untuk daya input. Sehingga rumus desibel akan berubah dari bentuk aslinya.

$$\text{nilai daya satuan desibel} = 10 \log \left(\frac{\text{nilai daya dalam watt}}{\text{nilai daya asumsi}} \right) \text{ dB} \quad (6)$$

Nilai daya yang diasumsikan biasanya adalah 1 mW, yang penting untuk diingat adalah bahwa 0 dBm = 1 mW (Gerd Keiser, 1984:302) sehingga rumus diatas menjadi

$$\text{nilai daya satuan desibel} = 10 \log \left(\frac{\text{nilai daya dalam watt}}{1 \text{ mW}} \right) \text{ dBm} \quad (7)$$

Hal yang perlu diperhatikan adalah bahwa dB dapat digunakan untuk mendeskripsikan baik perolehan maupun pelemahan dBm menggunakan 1 miliwatt sebagai tingkat sinyal (Andi Rahman Nugraha, 2006:32)

5. Fiber Optik Plastik

Fiber optik plastik adalah jenis fiber optik yang terbuat dari jenis plastik tertentu dengan indeks bias tertentu. Fiber optik plastik kurang banyak digunakan sebagai media transmisi jarak jauh karena memiliki atenuasi yang besar. Fiber optik plastik banyak dikembangkan sebagai sensor karena mudah diubah-ubah dan diberi perlakuan, sedangkan fiber optik kaca terlalu rapuh dan ukurannya yang kecil sehingga sulit untuk diberi perlakuan.

Fiber optik plastik telah dapat menggantikan optik silika khususnya untuk link komunikasi jarak pendek seperti sistem komunikasi LAN. Karena mudah dalam penanganannya, fleksibel dan ekonomis, tingkat atenuasi fiber optik plastik sudah dapat juga direduksi secara signifikan, yaitu di bawah 30 dB/km. Beberapa parameter fiber optik plastik dirangkum dalam Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Perbandingan beberapa parameter fiber optik plastik dengan komposisi teras (*core*) berbeda (Akhiruddin Maddu, 2007: 27)

Bahan	Atenuasi (dB/km)	Bandwith (GHz*km)	Aplikasi	Indeks bias Core/cladding	NA	Diameter Inti (μm)
PMMA	55 (538 nm)	0,003	LANs, komunikasi, industri, sensor	1,492/1,417	0,47	250-1000
PS	330 (570 nm)	0,0015	Komunikasi High T, Sensor	1,592/1,416	0,73	500-1000
PC	660 (670 nm)	0,0015	Komunikasi High T,	1,582/1,305	0,78	500-1000

Bahan	Atenuasi (dB/km)	Bandwith (GHz*km)	Aplikasi	Indeks bias Core/cladding	NA	Diameter Inti (μm)
			Sensor			
CYTOP	16 (1310 nm)	0,59 (GIPOF)	LANs	1,353/1,34	0,19	500-1000
PCS HCS	5-6 (820)	0,005	Komunikasi, medis, industri dan sensor	1,46/1,41	0,4	110-1000

Keterangan : PMMA, polimer polymethyl merhacryl ates; PS, polymer; PC, polycarbonate; CYTOP is an amorphous flourinated polymer; HCS, hard core silica; PCS, plastic clad silica

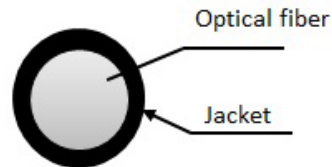
Fiber optik plastik terdiri dari teras (*core*), selongsong (*cladding*) dan jaket pelindung. *Core* dan *cladding* dibuat berbeda indeks bias, agar bisa terjadi pemantulan internal total. Pemantulan internal total inilah yang menyebabkan cahaya tetap berada di dalam fiber optik. Sementara jaket pelindung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

Jaket pelindung adalah pelindung lapisan *core* dan *cladding*. Fiber optik diberi jaket pelindung yang kegunaanya untuk menghindari terjadinya kerusakan yang disebabkan oleh pengaruh luar baik pada saat penggunaan atau akibat pengaruh lain, bagian ini terlibat dalam proses memandu cahaya.

Menurut Gred Keiser (1984: 276), contoh bahan dari fiber optik plastik adalah

1. *Core* dengan bahan *polysterene* ($n_1 = 1,60$) dan *cladding* dengan bahan *methyl methacrylate* ($n_2 = 1,41$), memberikan nilai NA = 0.60

2. Core dengan bahan *polymethyl methacrylate* ($n_1 = 1,49$) dan *cladding* dengan bahan *co-polymer* ($n_2 = 1,41$), memberikan nilai $NA = 0,48$



Gambar 2.6 Fiber optik plastik tipe SH-4001-1.3 memiliki diameter inti 1.0 mm (sumber: <http://i-fiberoptics.com/fiber-detail.php?id=13>)

Tabel 2.2 Spesifikasi POF tipe SH-4001-1.3 (Sumber: <http://i-fiberoptics.com>)

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

Tabel 2.3 Spesifikasi POF tipe SH-4001-1.3

Keadaan		Satuan	Nilai
Penilaian	Suhu penyimpanan	°C	-55-70
Maksimum	Suhu pemakaian	°C	-55-70
Sifat Optik	Pelemahan transmisi	dB/m	19 Max
Karakteristik Mekanik	Diameter lengkungan minimal	Mm	20
	Regangan tarikan	N	65
	Ketahanan putaran	Times	5

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

6. Pelemahan Daya Fiber Optik

Pelemahan (*attenuation*) fiber optik merupakan karakteristik penting yang harus diperhatikan mengingat kaitannya dalam menentukan jarak pengulang (*repeater*), jenis pemancar dan penerima optik yang harus digunakan. Besarnya atenuasi atau rugi-rugi daya dinyatakan oleh persamaan berikut :

$$\alpha = \frac{10}{L} \log \left(\frac{P_{in}}{P_{out}} \right) \text{ dB/km} \quad (8)$$

Dimana:

α = koefisien pelemahan (dB/km)

L = Panjang fiber optik (km)

P_{in} = Daya yang masuk ke dalam fiber (watt)

P_{out} = Daya yang keluar dari fiber (watt)

Pelemahan fiber biasanya disebabkan oleh karena penyerapan (*absorpsi*) energi sinyal oleh bahan, pancaran *rayleigh*, pemantulan *fresnel* dan pengaruh penyambungan. Semakin besar atenuasi berarti semakin sedikit cahaya yang dapat mencapai detektor dan dengan demikian semakin pendek kemungkinan jarak antar pengulang.

a. Absorpsi

Penyerapan (*Absorpsi*) merupakan sifat alami suatu gelas. Pada daerah-daerah tertentu gelas dapat mengabsorpsi sebagian besar cahaya seperti daerah ultraviolet dan mengubahnya menjadi panas.

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

Ion-ion hidroksil sebenarnya adalah wujud lain dari air yang akan menyerap secara besar-besaran energi gelombang dengan panjang 1380 nm. Demikian pula zat-zat logam akan menyerap energi gelombang dengan berbagai nilai panjang tertentu. Untuk permasalahan ini, jawaban yang paling tepat adalah mencegah timbulnya kontaminan atau tertinggalnya zat-zat kotoran

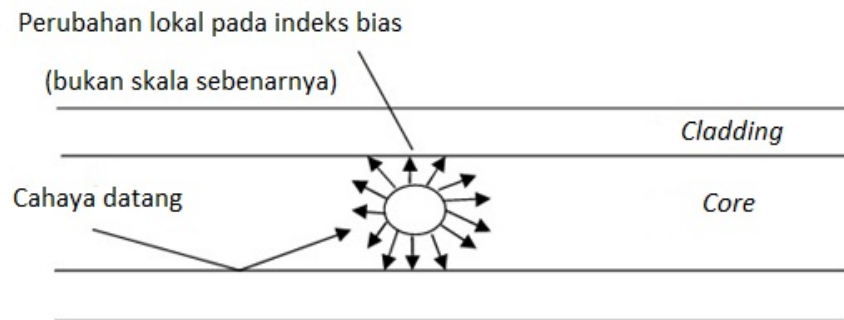
di dalam kaca saat proses manufaktur dilakukan. Kandungan kontaminan harus dapat ditekan sekecil mungkin, dengan perbandingan ideal 1 di dalam 10^9 untuk air dan 1 di dalam 10^{10} untuk zat logam.

b. Pancaran Rayleigh

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

Terdapat dua hal yang menyebabkan terjadinya fenomena ini dan keduanya timbul di dalam proses manufaktur. Penyebab pertama adalah terdapatnya ketidakmerataan di dalam ‘adonan’ bahan-bahan pembuat fiber optik. Ketidakmerataan dalam jumlah yang sangat kecil dan bersifat acak ini mustahil untuk sepenuhnya dihilangkan. Penyebab kedua adalah pergeseran-pergeseran kecil pada kerapatan bahan yang biasanya terjadi saat kaca silika mulai membeku dan menjadi rapat. Salah satu lokasi ‘cacat’ ini dan efek pancaran *rayleigh* yang ditimbulkannya diilustrasikan dalam Gambar 2.7. Dalam gambar diperlihatkan bahwa cahaya terpecah

dan terpancar ke segala arah. Semua komponen pancaran cahaya yang merambat dengan sudut datang kurang dari sudut kritis akan dapat menembus *cladding* dan hilang sebagai pelemahan daya.



Gambar 2.7 Cahaya terpancar ke segala arah (John Crip dan Barry Elliott, 2008: 59)

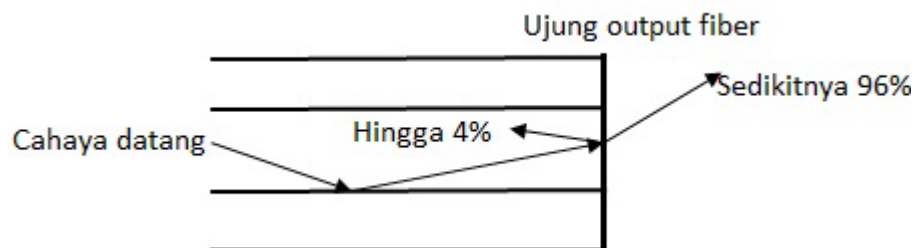
Intensitas efek ini pada cahaya yang menumbuk daerah perubahan bergantung pada ukuran daerah perubahan relatif terhadap panjang gelombang cahaya yang bersangkutan. Sehingga, cahaya dengan panjang gelombang paling kecil atau frekuensi tertinggi, akan paling besar terkena dampak pancaran ini.

c. Pemantulan Fresnel

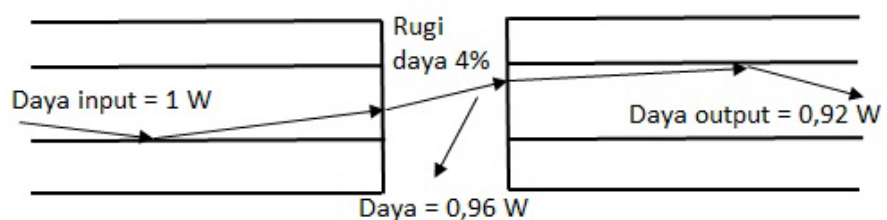
Ketika cahaya menumbuk sebuah titik perubahan indeks bias dan terpancar ke segala arah, komponen pancaran yang merambat dengan sudut datang mendekati garis normal (90°) akan langsung lewat menembus bidang perbatasan. Akan tetapi tidak semua bagian dari cahaya yang datang dengan sudut mendekati garis normal akan menembus bidang perbatasan. Sebagian kecil

dari cahaya itu akan terpantul balik di bidang perbatasan. Efek ini dapat menjadi masalah untuk cahaya yang meninggalkan ujung *output* fiber optik, seperti Gambar 2.8. Di titik ini, terjadi perubahan seketika dari indeks bias *core* ke indeks bias udara yang ada di luar fiber optik. Efek yang sama juga terjadi pada arah yang berlawanan. Sebagian sangat kecil cahaya yang datang dan hendak memasuki fiber optik akan terpantul balik oleh bidang perbatasan udara dan *core*, seperti Gambar 2.9. Seberapa besar proporsi cahaya yang menembus bidang perbatasan dan seberapa besar yang terpantul balik ditentukan oleh besarnya perubahan indeks bias di bidang perbatasan dan dapat ditentukan menggunakan rumus:

$$\text{daya terpantul} = \left(\frac{n_1 - n_2}{n_1 + n_2} \right)^2 \quad (9)$$



Gambar 2.8 Pemantulan Fresnel
(John Crisp dan Barry Elliott, 2008: 61)



Gambar 2.9 Pemantulan Fresnel di setiap bidang batas
(John Crisp dan Barry Elliott, 2008: 61)

Pada gambar 2.9 terdapat dua bidang batas yaitu bidang pertama adalah inti fiber optik dengan udara sedangkan bidang batas yang kedua adalah antara udara dengan inti fiber optik. Pada bidang batas pertama terjadi rugi daya sebesar 4% dari cahaya datang sebesar 100%. Begitu juga pada bidang batas kedua terjadi rugi daya sebesar 4%, sehingga daya keluaran menjadi 92%.

7. Penyambungan Fiber Optik

Rugi-rugi penyambungan timbul saat fiber optik disambung dengan fiber optik lain. Rugi-rugi penyambungan ini terjadi jika daya yang dipancarkan oleh fiber pengirim tidak sama dengan daya fiber yang diterima. Daya yang sudah dilepaskan dengan baik ke dalam suatu ragam yang merambat kemudian digandengkan ke dalam suatu ragam bocor atau ragam radiasi pada sebuah titik yang agak jauh pada fiber. Efek penggandengan ini terjadi karena rugi-rugi timbul pada saat fiber optik dikopel/disambungkan dengan sumber cahaya atau sambungan antar fiber (Oktavianto Utomo Siswanto, 2005:2).

Rugi-rugi loss penggandengan ragam secara umum dapat ditulis sebagai berikut:

$$\mu = \frac{P_{in}}{P_{out}} \quad (10)$$

Maka

$$L = -10 \log \mu \quad (11)$$

Dengan :

L = Rugi-rugi penyambungan (desibel)

P_{in} = Daya yang dimasukkan ke dalam fiber optik (watt)

P_{out} = Daya yang dipancarkan oleh sumber cahaya (watt)

μ = Efisiensi penyambungan (tanpa satuan)

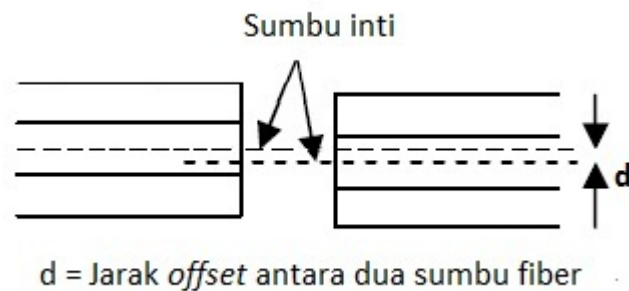
Faktor-faktor yang mempengaruhi penggabungan ragam meliputi faktor ekstrinsik dan intrinsik (Agus Setiawan: 3).

a. Faktor- faktor Ekstrinsik

Berikut merupakan faktor-faktor ekstrinsik yang berpengaruh pada efisiensi kopling sambungan fiber, faktor ekstrinsik terjadi karena ketidaksempurnaan posisi fiber, kesalahan pemotongan dan karena terjadi benturan.

1) Pergeseran lateral (*lateral displacement*)

Pergeseran ini terjadi pada penyambungan fiber optik yang mempunyai diameter sama yang bergeser sepanjang jarak tertentu (χ).



Gambar 2.10 Pergeseran lateral
(Agus Setiawan: 3)

Untuk *multimode* persamaan pergeseran lateralnya dapat ditulis sebagai berikut:

$$L_{lat} = -10 \log \left[1 - \frac{8x}{3\pi a} \right] \quad (12)$$

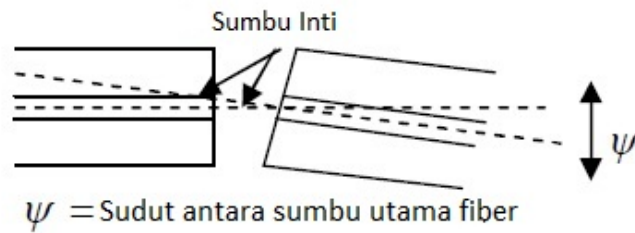
Keterangan persamaan:

x = Jarak sumbu inti

a = d = Jarak offset antar dua sumbu fiber

2) Kesalahan penyejajaran sudut (*angular misalinment*)

Terjadi ketika penyambungan fiber optik tidak sejajar menyebabkan perubahan sudut pada saat cahaya melewati permukaan sambungan tersebut.



Gambar 2.11 Kesalahan penjajaran sudut (Agus Setiawan: 3)

Untuk *multimode* persamaan pergeseran lateralnya dapat ditulis sebagai berikut:

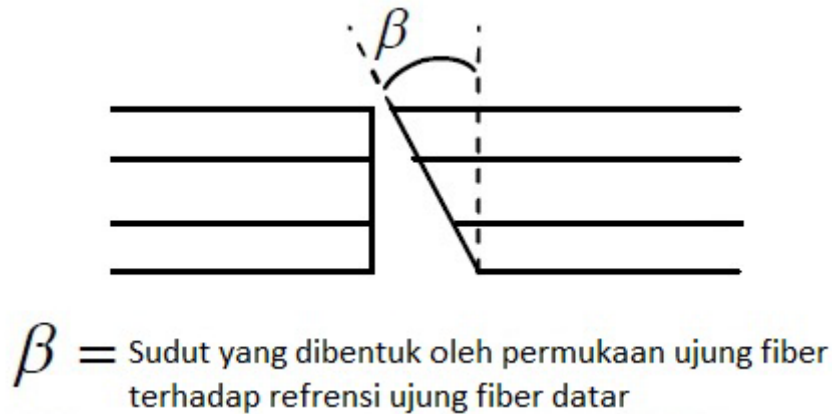
$$L_{ang} = -10 \log \left[1 - \frac{8n_0 \sin \theta}{3\pi NA} \right] \quad (13)$$

Keterangan persamaan:

$n_0 = 1,00$

θ = sudut kemiringan fiber optik

3) Permukaan fiber tidak rata (*Face tilt/tilt angle*)



Gambar 2.12 Ujung permukaan fiber optik yang tidak rata
(Agus Setiawan: 3)

4) Pergeseran jarak (longitudinal misalignment/end separation)

Biasanya banyak terjadi pada penyambungan yang disebabkan ketidaktepatan pengamatan sehingga masih terdapat jarak antar sambungan fiber optik.

$$L_{long} = -10 \log \left[1 - \frac{xNA}{2an_0} \right] \quad (14)$$

Keterangan persamaan:

x = Jarak sumbu inti

a = Jarak offset antar dua sumbu fiber

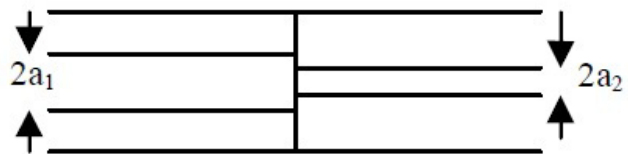
$n_0 = 1,00$

b. Faktor-faktor Intrinsik

Ada pula beberapa faktor lain yang dapat mempengaruhi rugi-rugi daya sambungan. Faktor-faktor ini merupakan parameter-parameter dalam fiber itu sendiri, faktor-faktor ini terbentuk pada saat pembuatan fiber tersebut.

1) Ketidaksesuaian diameter inti

Kerugian ini terjadi ketika fiber optik yang akan disambung mempunyai diameter inti yang berbeda.



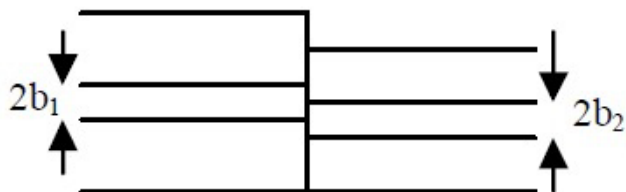
$2a_1$ = Diameter inti fiber

$2a_2$ = Diameter inti fiber

Gambar 2.13 Ketidaksesuaian diameter inti (Agus Setiawan: 3)

2) Ketidaksesuaian diameter *cladding*

Kerugian ini terjadi ketika fiber optik yang akan disambung mempunyai diameter inti yang sama tetapi diameter *cladding* yang berbeda.



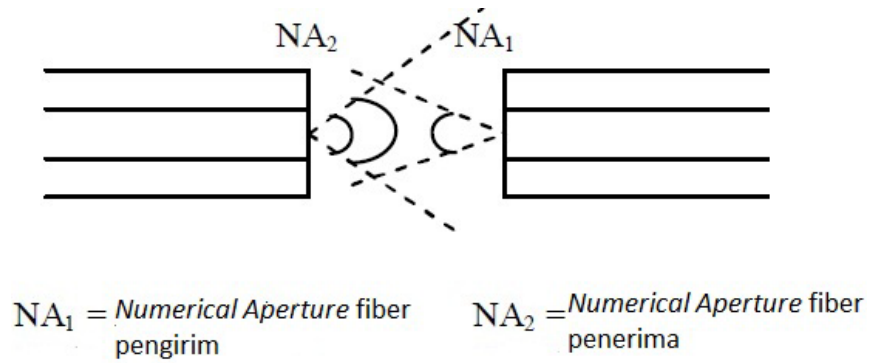
$2b_1$ = Diameter *cladding* fiber pengirim

$2b_2$ = Diameter *cladding* fiber penerima

Gambar 2.14 Ketidaksesuaian diameter *cladding* (Agus Setiawan: 3).

3) Ketidaksesuaian Numerical Aperture

Kerugian ini terjadi ketika fiber optik yang akan disambung mempunyai *Numerical Aperture* yang berbeda.



Gambar 2.15 Ketidaksesuaian *Numerical Aperture*
(Agus Setiawan: 3)

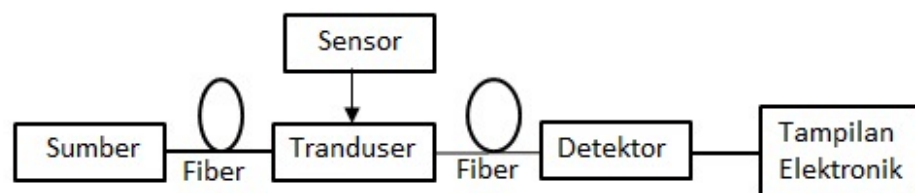
8. Sensor Fiber Optik

Sensor fiber optik adalah jenis sensor optik yang menggunakan fiber optik dalam mekanisme pengindraan atau pendeteksian, baik sebagai komponen aktif sensor maupun sekedar sebagai pemandu gelombang (optik) saja. Sistem sensor fiber optik dilengkapi dengan paling tidak 3 komponen utama yaitu komponen optoelektronik, *link* optik dan probe. Komponen optoelektronik meliputi sumber cahaya, detektor optik dan pengolahan sinyal. *Link* optik berupa gelombang fiber optik yang berfungsi memandu cahaya atau dari bagian pengindraan (*sensing region*). Sedangkan probe adalah bagian *sensing* atau *transducing*, baik pada bagian di dalam fiber optik atau di luar fiber optik, yang bertindak sebagai transduser dan berinteraksi langsung dengan obyek atau besaran yang diukur.

Sensor fiber optik didasarkan pada mekanisme modulasi gelombang optik (cahaya) dari suatu sumber seperti LED, diode Laser 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 fiber optik (Akhiruddin Maddu, 2007: 38).

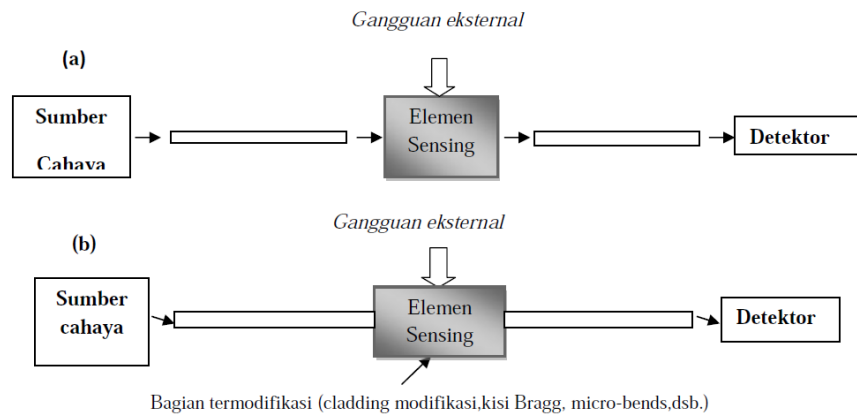
Konfigurasi sistem fiber optik digambarkan dengan skema pada Gambar 2.16. Sumber cahaya dilewatkan melalui salah satu ujung fiber optik menuju daerah modulasi cahaya, *modulator* atau *transduser*, selanjutnya diteruskan ke ujung lain fiber optik dimana terdapat detektor cahaya atau dapat juga setelah termodulasi, cahaya tersebut dikembalikan melalui fiber optik yang sama menuju detektor. Cahaya tersebut dimodulasi oleh besaran-besaran medium yang diukur (*measurand*), yaitu besaran kimia, biologi atau fisika sebagai besaran (parameter) yang akan dideteksi. Besaran-besaran kimia yang dapat dideteksi seperti pH, konsentrasi larutan atau jenis ion maupun konsentrasi gas atau uap kimia. Besaran-besaran biologi seperti jenis dan populasi bakteri atau mikroorganisme lainnya ataupun komponen-komponen biokimia seperti glukosa hingga DNA. Sedangkan besaran-besaran fisika yang dapat dideteksi meliputi suhu, tekanan, strain, perpindahan, percepatan arus listrik dan sebagainya. Berdasarkan disertasi Akhiruddin Maddu (2007:39) tentang sensor fiber optik, skema sistem sensor fiber optik dapat digambarkan sebagai berikut:



Gambar 2.16 Skema sistem sensor fiber optik
(Akhiruddin Maddu, 2007:39)

Modulasi dalam sensor fiber optik dapat dirancang dengan konfigurasi (set-up) yang berbeda, bergantung pada besaran optik yang dimodulasi (intensitas, panjang gelombang, fasa atau polarisasi gelombang). Misalnya, untuk sensor fiber optik berdasarkan modulasi fasa dapat dilakukan dengan konfigurasi interferometrik, sedangkan untuk modulasi panjang gelombang dapat dilakukan melalui pelapisan material sensitif di ujung fiber optik. Modulasi intensitas yang paling banyak dikembangkan dapat dilakukan melalui mekanisme *cladding*. Sensor fiber optik termodulasi intensitas (amplitudo) dengan mengukur intensitas transmisi atau absorpsi yang terjadi baik di luar maupun di dalam fiber optik. Sedangkan sensor fiber optik termodulasi panjang gelombang atau fasa didasarkan pada pergeseran fasa gelombang optik di dalam atau diluar fiber optik ketika mendapatkan gangguan dari luar (Akhiruddin Maddu, 2007:40).

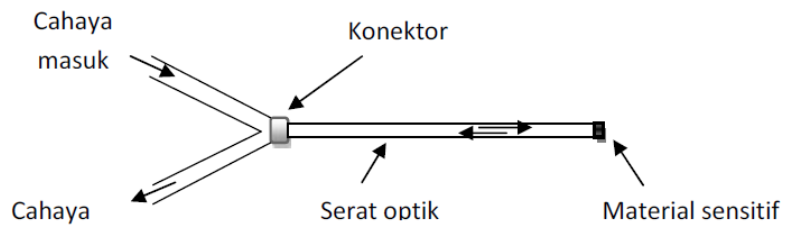
Berdasarkan lokasi proses modulasi, di luar (ekstrinsik) atau di bagian dalam (intrinsik) fiber optik, sensor fiber optik diklasifikasikan menjadi sensor ekstrinsik dan intrinsik. Konfigurasi kedua tipe sensor fiber optik ditunjukkan pada Gambar 2.17, masing-masing dilengkapi dengan komponen-komponen optik dan elektronik yaitu sumber cahaya, fiber optik detektor cahaya dan piranti pengolah sinyal serta elemen pengindera (*sensing element*).



Gambar 2.17 Skema sensor fiber optik (a) ekstrinsik dan (b) intrinsik (Akhiruddin Maddu, 2007:40)

a. Sensor Fiber Optik Ekstrinsik

Pada tipe sensor fiber optik ekstrinsik, fiber optik hanya berfungsi sebagai pandu gelombang saja atau penghubung (*link*) cahaya ke sistem sensing eksternal, dengan demikian tidak ada modifikasi pada struktur fiber optik untuk fungsi sensing. Proses sensing terjadi di luar fiber optik, seperti pada Gambar 2.17 (a) , jadi bagian penginderaan (*sensing element*) berada di luar fiber optik. Dalam proses sensing, cahaya sampai keluar dari fiber optik kemudian termodulasi oleh besaran yang diukur pada bagian penginderaan yang selanjutnya diteruskan menuju detektor cahaya, tahap akhir adalah dimodulasi untuk mendapatkan informasi kuantitas yang diukur.



Gambar 2.18 Skema sensor ekstrinsik (optode)
(Akhirudding Maddu, 2007: 42)

Contoh sensor fiber optik ekstrinsik adalah optode dengan letak lapisan sensing (*sensing coating*) berada di luar fiber optik, seperti ditunjukkan Gambar 2.18.

Konfigurasi sensor fiber optik ekstrinsik dapat juga dengan menggunakan dua fiber optik terpisah, salah satunya sebagai fiber transmisi dan yang lainnya sebagai fiber penerima, sementara material sensitifnya diletakkan diantara dua ujung fiber optik yang saling berhadapan, seperti ditunjukkan Gambar 2.17 (a). Dengan demikian, fiber optik hanya bertindak sebagai pipa cahaya yang menyalurkan cahaya dari bagian sensing di luar fiber optik.

b. Sensor Fiber Optik Intrinsik

Pada sensor fiber optik intrinsik, fiber optik disamping sebagai pemandu cahaya juga sekaligus berperan dalam proses penginderaan, dimana terdapat bagian fiber optik yang berfungsi sebagai komponen pengindra, baik *cladding* atau intinya, seperti ditunjukkan pada gambar 2.17 (b). Pada sensor tipe ini cahaya

tidak pernah meninggalkan fiber optik dalam proses penginderaan, jadi proses modulasi terjadi di dalam fiber optik, dengan demikian ada bagian fiber optik berperan aktif sebagai fungsi sensing (*sensing function*).

Menurut Akhiruddin Maddu (2007:43) ada beberapa hal yang dapat dilakukan untuk merealisasikan tipe sensor fiber optik intrinsik, yaitu dengan tanpa memodifikasikan struktur fiber optik (*cladding* atau inti). Sensor fiber optik intrinsik juga dapat dilakukan melalui prinsip *microbending* dan *macrobending* pada fiber optik, biasanya diaplikasikan sebagai sensor fisis seperti sensor strain, tekanan dan sebagainya. Selain itu sensor intrinsik juga dapat memanfaatkan sifat aktif inti fiber optik.

9. Tekanan

Tekanan adalah besarnya gaya yang diterima tiap satuan luas. Gaya yang mengenai benda akan mengakibatkan benda tersebut mengalami perubahan bentuk. Perubahan bentuk ini dipengaruhi oleh susunan atom-atom yang menyusun benda bersifat *tegar* sehingga secara keseluruhan benda relatif sulit untuk mengalami perubahan bentuk meskipun mendapat gaya/tekanan dari luar. Contoh benda seperti ini adalah besi, baja dan sebagainya. Di sisi lain, ada benda-benda yang tersusun atas elemen dasar berbentuk molekul-molekul, seringkali dengan rantai yang cukup panjang, yang membentuk benda-benda lebih besar dengan interaksi yang relatif lebih fleksibel dengan rantai molekul-molekul tetangganya. Dengan

demikian rantai-rantai molekul memiliki fleksibilitas cukup besar untuk berubah jaraknya dengan yang lain di bawah pengaruh gaya/tekanan dari luar tanpa merusak struktur benda secara keseluruhan. Di samping itu, setelah pengaruh luar diiadakan, maka benda kembali ke keadaan seperti semula. Benda dengan kategori seperti ini bersifat *elastis*, contohnya adalah karet. Tegangan adalah besarnya gaya yang diterima tiap satuan luas, sedangkan regangan adalah perbandingan antara penambahan panjang suatu batang terhadap panjang awal mulanya bila batang itu diberi gaya.

10. Gel

Gel berasal dari bahasa Latin *gelu* yang artinya membeku, dingin, es atau gelatus yang berarti membeku adalah campuran koloidal antara dua zat berbeda fase yaitu: padat dan cair. Penampilan gel seperti zat padat yang lunak dan kenyal seperti jelly, namun pada rentang suhu tertentu dapat berperilaku seperti fluida. Berdasarkan berat, kebanyakan gel seharusnya tergolong zat cair, namun juga memiliki sifat seperti benda padat. Contoh gel adalah gelatin, agar-agar dan gel rambut.

Biasanya gel memiliki sifat tiksotropi (*thixotropy*) menjadi cairan ketika digoyang, tetapi kembali memadat ketika dibiarkan tenang. Beberapa gel juga menunjukkan gejala *hysteresis*. Dengan mengganti cairan dengan gas dimungkinkan pula untuk membentuk *aerogel* (gel udara), yang merupakan bahan dengan sifat-sifat yang khusus, seperti massa jenis rendah, luas permukaan yang sangat besar dan isolator panas yang sangat baik.

Sol adalah suspensi koloid dalam liquid dan gel merupakan padatan semi liquid atau kaku dimana pelarut terkandung di dalam kerangka material koloidal dan polimerik.

Koagulasi sel liofit atau liofob, menghasilkan endapan. Bila keadaannya dibuat tepat, dapat terjadi zat cair yang ada diserap oleh zat padatnya. Proses ini disebut gelasi dan zat yang terjadi disebut gel (Sukardjo, 1997: 211).

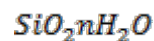
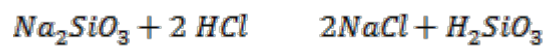
Gel dapat dibuat dengan tiga cara:

a. Pendinginan

Misal: agar-agar, gelatin dan sebagainya dapat dibuat dari pendinginan larutan yang tidak terlalu encer.

b. Metatesis

Misal: pembuatan silica gel



Gel

c. Perubahan pelarut

Misal: Larutan Ca asetat dalam air ditambah alkohol, terjadi gel Ca asetat.

Gel ada yang bersifat elastis dan non elastis. Pada dehidrasi gel elastis dan penambahan kembali air, dapat terbentuk gel kembali. Hal ini tidak terjadi pada gel non elastis Gel elastis yang sebagian dehidrasi dapat

menyerap pelarut dan bila pelarut yang diserap banyak, terjadi penggelembungan. Sebaiknya gel elastis dan non elastis dapat mengalami peristiwa pengkerutan atau sineresis. (Sukardjo, 1997:212).

B. Kerangka Berpikir

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh intensitas cahaya keluaran fiber optik terhadap pemberian tekanan dan pemberian berbagai macam pengisian pada sambungan fiber optik serta pengaruh pemberian jarak antara gel dengan fiber optik. Sebagai sumber cahaya digunakan cahaya laser Helium Neon yang dilewatkan pada fiber optik, laser Helium Neon memiliki panjang gelombang 632,8 nm, sedangkan untuk fiber optik yang digunakan adalah tipe SH-4001-1.3 yang memiliki indeks bias *core* 1,49 dan indeks bias *cladding* 1,41 yang didapat dari data sheet fiber optik. Prinsip kerja fiber optik menggunakan prinsip pembiasan dan pemantulan yang berhubungan dengan indeks bias bahan.

Dalam penelitian ini probe sensor dibuat pada bagian persambungan fiber optik yang diberi gel rambut (bening dan kuning) dan gel pulpen (bening dan kuning) sepanjang 1 cm. Cahaya yang masuk dalam fiber optik bergantung pada indeks bias gel yang berubah terhadap massa beban yang diberikan kelipatan 20 gram (20 gram – 300 gram) dan jarak / space antara gel dengan fiber optik (0 cm 0,3 cm dan 0,5 cm), sehingga intensitas keluaran yang dideteksi OPM (*Optical Power Meter*) akan berubah.

BAB III METODE PENELITIAN

A. Waktu dan Tempat Penelitian

1. Waktu Penelitian

Penelitian dilakukan mulai bulan Februari sampai Mei 2016.

2. Tempat Penelitian

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

B. Variabel Penelitian

1. Variabel Bebas : Massa beban yang diberikan, variasi jenis gel pulpen (gel kuning dan bening) dan gel rambut (gel kuning dan bening)
2. Variabel Terikat : Perubahan intensitas cahaya keluaran fiber optik akibat pemberian massa beban yang diukur dengan *Optical Power Meter* (OPM) berupa intensitas cahaya dalam *decibel meter* (dBm).
3. Variabel Kontrol : Intensitas keluaran dari laser Helium-Neon.

C. Alat dan Bahan Penelitian

Adapun alat dan bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah

1. Alat

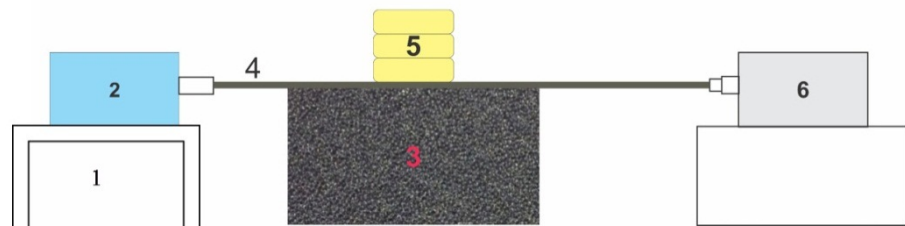
- a. OPM yang digunakan untuk mendeteksi intensitas cahaya
- b. Laser Helium-Neon yang digunakan sebagai sumber cahaya (sinyal) masukan fiber optik dengan daya keluaran 5 mW dan dengan gelombang 632,8 nm.
- c. Gunting untuk memotong fiber optik
- d. Amplas halus untuk menghaluskan dan meratakan ujung fiber optik.
- e. Selang / pipa kecil untuk meletakkan gel
- f. Suntikan untuk memasukkan gel ke dalam selang/pipa kecil

2. Bahan

1. Kabel fiber optik dengan tipe SH-4001-1.3
2. Gel
3. Massa Beban
4. Spon / busa

D. Desain Penelitian

Untuk mengukur intensitas keluaran cahaya laser He-Ne setelah melalui fiber optik, peralatan *diset-up* sebagai berikut:



Gambar 3.1 Desain alat

Keterangan gambar

1 Papan

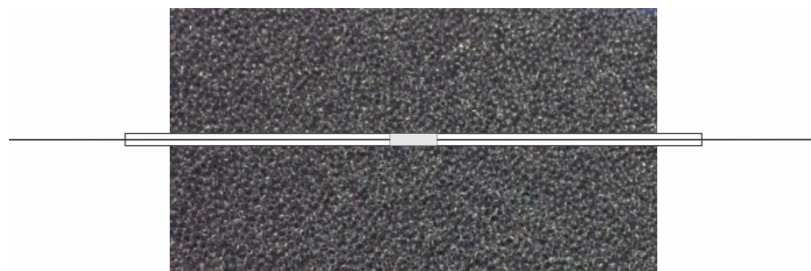
2 *Optical Power Meter* (OPM)

3 Spon

4 *Polymer Optical Fiber* (POF)

5 Massa beban

6 Laser Helium-Neon



Gambar 3.2 Spon untuk meletakkan pipa kecil



Gambar 3.3 Pemberian gel pada persambungan

E. Prosedur Penelitian

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

1. Memotong *Polymer Optical Fiber* sebanyak dua buah masing-masing sepanjang 13 cm.
2. Mengamplas pada kedua ujung *Polymer Optical Fiber* agar rata.
3. Masukkan gel pada suntikan.
4. Menyuntik selang pipa kecil pada bagian tengah untuk mengisi gel, gel diisi sepanjang 1 cm.
5. Masukkan *Polymer Optical Fiber* pada selang pipa kecil yang telah berisikan gel seperti Gambar 3.3, kemudian letakkan selang pipa kecil ke spon seperti Gambar 3.2.
6. Pada ujung *Polymer Optical Fiber* pertama diatur sehingga cahaya laser Helium-Neon masuk secara optimal ke dalam *Polymer Optical Fiber*, sedangkan ujung fiber optik kedua dihubungkan pada detektor OPM untuk mengetahui besarnya daya optik keluaran.
7. Memberikan beban (20 gram-300 gram) tepat diatas gel.
8. Memvariasikan jarak/ space antara gel dengan *Polymer Optical Fiber* (0 cm, 0,3 cm dan 0,5 cm) pada persambungan yang telah diberi gel.
9. Tahap penelitian 1 sampai 8 diulang dengan memvariasi jenis gel yaitu gel pulpen dan gel rambut (gel kuning dan bening).

F. Teknik Analisis Data

Data yang didapat selama penelitian diolah dengan beberapa tahap sebagai berikut:

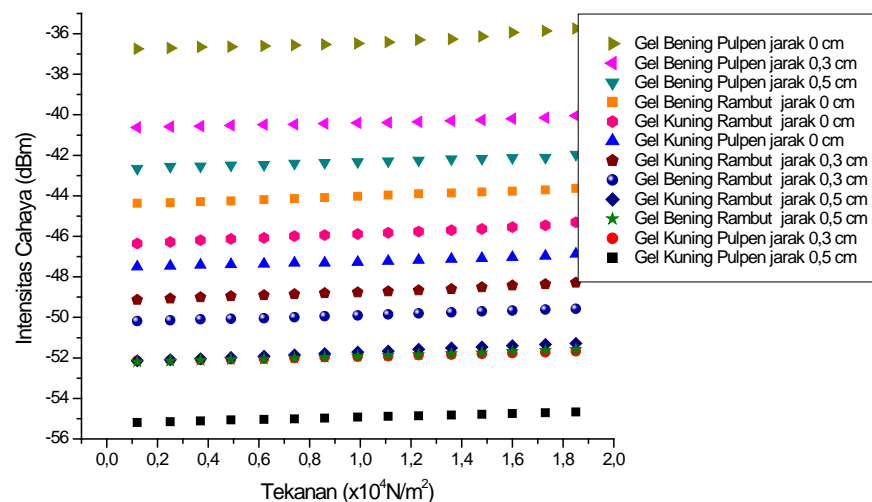
1. Data yang diambil dalam pengukuran ini adalah intensitas transmisi cahaya *Polymer Optical Fiber* yang dideteksi dengan menggunakan OPM.
2. Penentuan intensitas transmisi cahaya yang melewati *Polymer Optical Fiber* sebagai fungsi tekanan pada *Polymer Optical Fiber* diperoleh dengan pemberian massa beban yang divariasi.
3. Percobaan diulangi dengan menambah variasi jarak persambungan yang telah diberi gel dan memvariasi jenis gel.
4. Membuat grafik hubungan intensitas cahaya keluaran yang diukur dalam *decibel meter* (dBm) dengan massa beban (gram) menggunakan *Software Origin 6.1*
5. Menghitung nilai sensitivitas dan linearitas untuk setiap perlakuan *Polymer Optical Fiber*.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Hasil Penelitian

Setelah melakukan pengambilan data di laboratorium spektroskopi maka diperoleh daya optik keluaran yang dinyatakan dalam satuan desibelmeter (dBm). Daya optik keluaran dideteksi dengan menggunakan alat OPM. Cahaya laser Helium-Neon ditransmisikan oleh POF. Fiber optik yang digunakan adalah *Polymer Optical Fiber* tipe SH-4001-1.3. Variabel bebas dari penelitian ini adalah massa 20 gram – 300 gram, massa beban diletakkan diatas pipa kecil yang diisi dengan gel persambungan antar fiber optik dan diperoleh hasil sebagai berikut:

1. Pengaruh pemberian massa beban terhadap intensitas keluaran fiber optik dengan berbagai jenis pengisi gel



Gambar 4.1 Grafik Hubungan Antara Intensitas Cahaya Dan Tekanan Pada Gel Rambut Dan Gel Pulpen

Tabel 4. 1 Analisis Tekanan pada fiber optik

m (kg)	F=m×g (N)	A (m ²)	P= F/A (N/ m ²)
0,02	0,2	$1,59 \times 10^4$	$0,12 \times 10^4$
0,04	0,39		$0,25 \times 10^4$
0,06	0,59		$0,37 \times 10^4$
0,08	0,78		$0,49 \times 10^4$
0,1	0,98		$0,62 \times 10^4$
0,12	1,18		$0,74 \times 10^4$
0,14	1,37		$0,86 \times 10^4$
0,16	1,57		$0,99 \times 10^4$
0,18	1,76		$1,11 \times 10^4$
0,2	1,96		$1,23 \times 10^4$
0,22	2,16		$1,36 \times 10^4$
0,24	2,35		$1,48 \times 10^4$
0,26	2,55		$1,60 \times 10^4$
0,28	2,74		$1,73 \times 10^4$
0,3	2,94		$1,85 \times 10^4$

Keterangan Tabel:

P = Tekanan (N/m²)

m = massa beban = 20 hingga 300 gr diubah 0,02 hingga 0,3 kg

g = gravitasi = 9,8 m/det²

A = $\frac{1}{4} \times [\text{Luas alas} \times \text{Luas selimut}]$

A = $\frac{1}{4} \times [2\pi r^2 + 2\pi r t]$

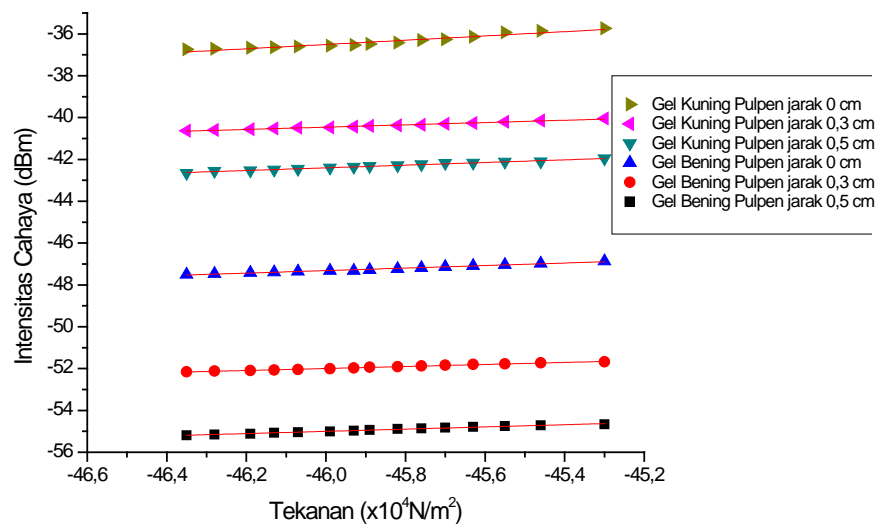
A = $\frac{1}{4} \times [(2 \times 3,14 \times 0,0015^2) + (2 \times 3,14 \times 0,0015 \times 0,0165)]$

A = 0,000159 m²

Data pada gambar 4.1 adalah grafik hubungan antara massa beban dengan intensitas cahaya dimana fiber optik menggunakan sambungan dengan gel. Gel dalam penelitian yaitu gel pulpen dan gel rambut masing-masing dengan warna kuning dan bening. Sensor tekanan diberikan pada gel persambungan dengan massa beban kelipatan 20 gram (20 gram – 300 gram) dan pada gel persambungan diberikan jarak / space antara gel dengan fiber optik yaitu 0 cm , 0,3 cm dan 0,5 cm. Hasil pada grafik menunjukkan

bahwa gel pulpen kuning yang memiliki keluaran intensitas cahaya yang terbaik.

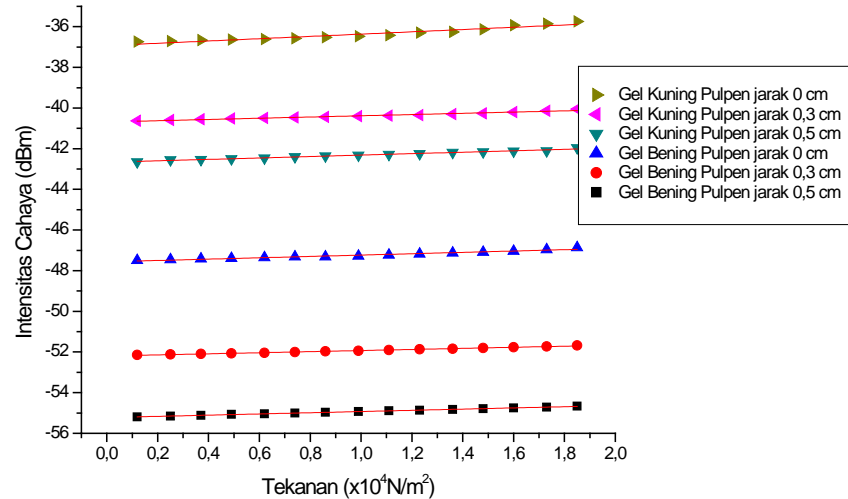
2. Pengaruh pemberian massa beban terhadap intensitas keluaran fiber optik dengan jenis pengisi gel pulpen (kuning dan bening)



Gambar 4.2 Grafik Hubungan Antara Intensitas Cahaya Dan Tekanan Pada Gel Pulpen (Kuning Dan Bening)

Pada gambar 4.2 bahwa bertambahnya massa beban dan jarak sambungan akan mempengaruhi perubahan intensitas cahaya keluaran fiber optik. Dengan bertambahnya massa beban dan perubahan jarak sambungan menyebabkan intensitas semakin menaik / minusnya rendah. Untuk gel pulpen yang memiliki nilai keluaran intensitas cahaya terbaik adalah pulpen kuning dengan jarak 0 cm dari fiber optik ke gelnya.

3. Pengaruh pemberian massa beban terhadap intensitas keluaran fiber optik dengan jenis pengisi gel rambut (kuning dan bening)



Gambar 4.3 Grafik Hubungan Antara Intensitas Cahaya Dan Tekanan Pada Gel Rambut (Kuning Dan Bening)

Pada gambar 4.3 bahwa bertambahnya massa beban dan jarak sambungan akan mempengaruhi perubahan intensitas cahaya keluaran fiber optik. Dengan bertambahnya massa beban dan perubahan jarak sambungan menyebabkan intensitas semakin menaik / minusnya rendah. Untuk gel rambut yang memiliki nilai intensitas cahaya terbaik adalah rambut kuning dengan jarak 0 cm dari fiber optik ke gelnya.

B. Pembahasan

Pada penelitian ini mekanisme yang dilakukan adalah melakukan modulasi intensitas. Modulasi intensitas dilakukan dengan cara mengukur daya optik keluaran dari fiber optik dengan memodifikasi persambungan

fiber optik yang diberi gel yaitu gel pulpen dan gel rambut (gel kuning dan gel bening). Sensor tekanan berbasis fiber optik ini termasuk dalam klasifikasi sensor fiber optik intrinsik, dimana fiber optik dengan sambungan yang telah diberi pengisi gel diberikan massa beban.

1. Proses perambatan cahaya dalam fiber optik

Proses perambatan cahaya dimulai dengan menentukan nilai *Numerical Aperture* (NA). Nilai *Numerical Aperture* dari fiber optik digunakan untuk mengetahui parameter yang mengukur kemampuan fiber optik dalam mengumpulkan atau menangkap cahaya. Untuk menentukan nilai *Numerical Aperture* maka terlebih dahulu menentukan nilai indeks bias *core* dan *cladding* dengan menggunakan persamaan (4).

$$\begin{aligned}
 NA &= \sqrt{N_{core}^2 - N_{cladding}^2} \\
 NA &= \sqrt{1,49^2 - 1,41^2} \\
 NA &= 0,48
 \end{aligned}$$

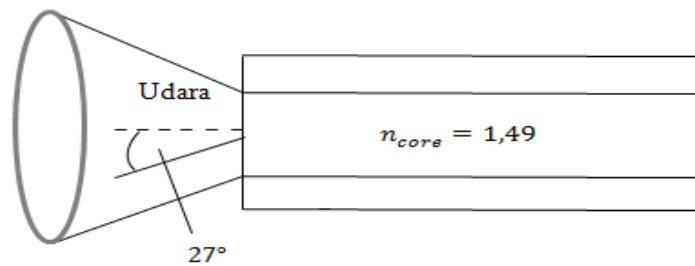
Sudut penerima juga mengindikasikan seberapa banyaknya cahaya yang dapat diterima masuk ke dalam fiber optik dan dapat merambat di dalam fiber optik hingga mencapai output. Sehingga, seharusnya terdapat hubungan yang jelas dan mudah di antara *numerical aperture* dan sudut penerimaan, karena kedua besaran ini mengukur dua hal yang pada dasarnya sama. Untuk menentukan sudut penerimaan menggunakan rumus:

$$\text{Sudut penerimaan} = \arcsin (NA)$$

$$\text{Sudut penerimaan} = \arcsin (0,48)$$

$$\text{Sudut penerimaan} = 28,8^\circ$$

Setelah sudut penerimaan diketahui selanjutnya menentukan sudut datang dari laser Helium Neon yang masuk ke dalam fiber optik. Dalam penelitian ini sudut datang dengan nilai 27° .



Gambar 4.4 Pemilihan sudut berada kisaran sudut penerima

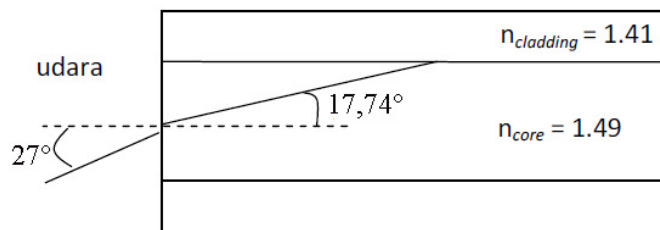
Selanjutnya dengan menggunakan Hukum Snellius pada persamaan (1) maka dapat diketahui berapa nilai sudut yang masuk ke dalam core.

$$n_1 \sin \theta_1 = n_2 \sin \theta_2$$

$$n_{udara} \sin \theta_{udara} = n_{core} \sin \theta_{core}$$

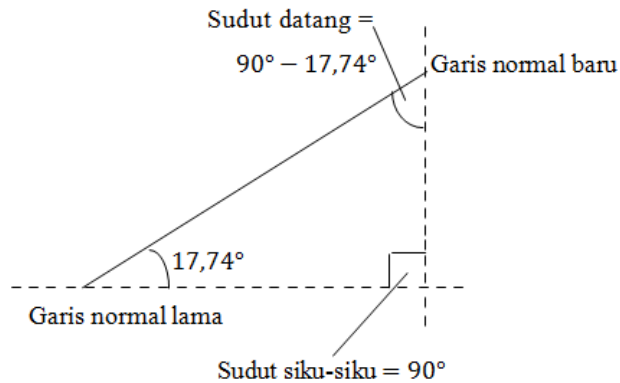
$$1,0 \sin 27^\circ = 1,49 \sin \theta_{core}$$

$$\theta_{core} = 17,74^\circ$$



Gambar 4.5 Cahaya yang masuk ke dalam core

Cahaya yang masuk ke dalam core akan terus bergerak hingga di bidang perbatasan antara *core* dan *cladding*, seperti yang diperlihatkan dalam Gambar 4.5.



Gambar 4.6 Sudut datang dalam bidang batas *core* dan *cladding*

Ketika fiber optik berada pada keadaan yang lurus, maka posisi garis normal tegak lurus terhadap bidang perbatasan *core-cladding*. Gambar 4.6 menunjukkan bahwa antara garis normal (lama dan baru) membentuk sebuah bidang siku-siku. Dalam setiap segitiga, jumlah ketiga sudutnya adalah 180° .

Apabila mengurangi nilai sudut siku-siku 90° dengan nilai sudut $17,74^\circ$, maka akan mendapatkan sudut datang adalah

$$90^\circ - 17,74^\circ = 72,26^\circ$$

Selanjutnya menentukan apakah cahaya dengan sudut datang sebesar $72,26^\circ$ akan dipantulkan kembali oleh bidang perbatasan *core-cladding* atau cahaya dapat menembus ke dalam *cladding*. Untuk dapat

menentukannya dilakukan dengan mensubstitusikan nilai *Numerical Aperture* yang telah didapatkan ke dalam persamaan (3)

$$\theta_{kritis} = \arcsin\left(\frac{n_2}{n_1}\right)$$

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

$$\theta_{kritis} = 71,14^\circ$$

Karena sudut datang di dalam fiber optik lebih besar dari sudut kritis ($72,26^\circ > 71,14^\circ$) maka cahaya akan dipantulkan kembali oleh bidang perbatasan ke dalam *core*.

2. Pengaruh Tekanan terhadap Keluaran Fiber optik

Pada penelitian ini, fiber optik yang digunakan masing-masing sepanjang 13 cm. Pada daerah persambungan fiber optik disisipi gel, dengan 2 jenis gel yaitu gel pulpen (bening dan kuning) dan gel rambut (bening dan kuning). Sensor tekanan diberikan pada persambungan fiber optik yang disisipi gel dengan menggunakan massa beban kelipatan 20 gram hingga mencapai 300 gram. Pengaruh terhadap pemberian beban pada persambungan fiber optik dapat mempengaruhi intensitas cahaya keluarannya, semakin bertambahnya beban yang diberikan maka nilai intensitas cahaya keluarannya semakin tinggi sehingga membentuk grafik linear ke atas. Hal ini disebabkan tidak adanya lekukan-lekukan pada fiber optik yang membuat pelemahan intensitas keluaran fiber optik.

3. Perambatan Cahaya Dari Persambungan Fiber Optik Dengan Gel

Dalam penyambungan fiber optik agar cahaya tidak terhambur maka teknik pemotongan harus tepat. Untuk mencegah cahaya berbelok atau terhambur pada titik sambung, maka permukaan ujung fiber harus datar. Untuk itu, dalam penelitian ini fiber optik di amplas terlebih dahulu menggunakan amplas yang halus. Persambungan fiber optik disisipi gel, satu fiber optik menuju laser Helium-Neon dan fiber optik yang lain menuju OPM. Sinar laser yang masuk ke dalam fiber optik akan melalui gel dan diteruskan kembali pada fiber optik yang lain.

Tabel 4. 2 Pengaruh intensitas cahaya tanpa gel dan menggunakan gel

Jarak Fiber	Intensitas Cahaya Tanpa Gel (dBm)	Intensitas Cahaya Dengan Gel (dBm)			
		Pulpen		Rambut	
		Bening	Kuning	Bening	Kuning
0	-63,47	-47,57	-36,8	-46,42	-44,43
0,3	-75,14	-52,30	-40,73	-49,71	-50,31
0,5	-81,20	-55,27	-42,76	-52,25	-52,33

Pada tabel 4.2 menunjukkan bahwa nilai intensitas cahaya tanpa gel lebih besar dari nilai intensitas cahaya menggunakan gel. Semakin jaraknya diperbesar maka nilai intensitasnya semakin tinggi. Karena larutan gel penyalaras indeks bias (*index-matching gel*) digunakan dititik persambungan, mengisi celah diantara kedua ujung serat untuk meminimalkan rugi-rugi celah dan efek pemantulan fresnel. Nilai intensitas cahaya menggunakan gel yang nilainya rendah ditunjukkan pada gel pulpen dengan warna gel kuning.

Tabel 4. 3 Indeks bias beberapa bahan persambungan dan sudut kritis

Bahan persambungan	n_{gel}	NA	$\theta_i (^{\circ})$	$\theta_{kritis} (^{\circ})$
Gel Bening Pulpen	1,36	0,62	72,26	65,55
Gel Kuning Pulpen	1,35	0,62	72,26	65,34
Gel Bening Rambut	1,38	0,57	72,26	67,48
Gel Kuning Rambut	1,35	0,62	72,26	65,25

Pada tabel 4.3 menunjukkan bahwa nilai sudut datang ($\theta_i (^{\circ})$) lebih besar dari sudut kritis, maka cahaya tersebut akan dipantulkan kembali ke dalam bahan menyebabkan terjadinya pemantulan internal sempurna. Pengukuran indeks bias gel dilakukan dengan menggunakan *refraktometer* pada suhu 20° dan perhitungan indeks bias menggunakan tabel konversi indeks bias. Nilai indeks bias pada *Fluorinated Polymer* untuk indeks bias *core* = 1,49 dan indeks bias *cladding* = 1,41 sedangkan nilai *Numerical Aperture*nya sebesar 0,48, sudut kritis *Fluorinated Polymer* = $71,14^{\circ}$. Sudut datang *Fluorinated Polymer* dan gel adalah $72,26^{\circ}$. Nilai indeks bias gel yang hampir mendekati nilai indeks bias *cladding* yaitu nilai indeks bias pada gel bening rambut = 1,38.

4. Sensitivitas Sensor Tekanan Pada Fiber Optik Dengan Persambungan Yang Disisipi Gel

Pada penelitian ini persambungan pada fiber optik disisipi gel, dengan 2 jenis gel yaitu gel pulpen (bening dan kuning) dan gel rambut (bening dan kuning). Kemudian sensor tekanan diberikan pada persambungan fiber optik yang disisipi gel. Masing-masing gel mempunyai

daya keluaran yang berbeda-beda. Sensitivitas merupakan perubahan pada output untuk setiap perubahan input terkecil. Untuk elemen linear, penentuan sensitivitas merupakan gradien ($\Delta y / \Delta x$) atau kemiringan grafik. Nilai gradien (B) pada tabel 4.4 didapatkan dari *linear-fit* dengan menggunakan *Origin*.

Tabel 4. 4 Sensitivitas berbagai gel pada persambungan fiber optik

Jenis Gel	Warna Gel	Sensitivitas untuk jarak (cm)		
		0	0,3	0,5
Gel Pulpen	Bening	$0,0018 \pm 0,0001$	$0,0017 \pm 0,0003$	$0,0021 \pm 0,0001$
	Kuning	$0,0021 \pm 0,0018$	$0,0019 \pm 0,0009$	$0,0035 \pm 0,0028$
Gel Rambut	Bening	$0,0032 \pm 0,0003$	$0,0029 \pm 0,0008$	$0,0034 \pm 0,0001$
	Kuning	$0,0021 \pm 0,0004$	$0,0022 \pm 0,0003$	$0,0027 \pm 0,0004$

Dari Tabel 4.4 tersebut dapat dilihat sensitivitas beberapa sensor fiber optik yang menggunakan gel sebagai persambungan fiber optik. Pada tabel tersebut dapat diketahui bahwa perbedaan sensitivitas tiap jenis gel tidak terlalu signifikan antara gel pulpen (kuning dan bening) dan gel rambut (kuning dan bening). Dari jenis gel pulpen (kuning dan bening) dan gel rambut (kuning dan bening) yang digunakan, gel pulpen dengan warna gel kuning pada jarak 0,5 cm memiliki sensitivitas yang terbaik dengan gradien sebesar $(0,0035 \pm 0,0028)$ dBm/cm dan jenis gel dengan warna gel bening memiliki sensitivitas dengan gradien sebesar $(0,0034 \pm 0,0001)$

dBm/cm pada jarak gel dengan fiber optik sebesar 0,5 cm. Jarak terjauh menunjukkan sensitivitas terbaik karena berkaitan dengan kemiringan dari grafik yang memiliki kemiringan yang tajam.

Tabel 4. 5 Linearitas gel pada persambungan fiber optik dengan perlakuan yang berbeda

Jenis Gel	Warna Gel	Linearitas untuk jarak (cm)		
		0	0,3	0,5
Gel Pulpen	Bening	0,99919	0,99539	0,96787
	Kuning	0,90565	0,96935	0,91443
Gel Rambut	Bening	0,99881	0,98817	0,98887
	Kuning	0,99457	0,99654	0,99749

Uji linearitas bertujuan untuk mengetahui apakah dua variabel mempunyai hubungan yang linear atau tidak. Analisis regresi sederhana merupakan hubungan antara dua variabel yaitu variabel bebas dan variabel tak bebas. Linearitas dapat diwujudkan dalam persamaan garis lurus. Tabel 6 menunjukkan nilai linearitas untuk berbagai jenis gel pada persambungan fiber optik, yaitu gel pulpen dengan warna gel bening dan kuning, untuk jenis gel rambut dengan warna gel bening dan kuning. Jika nilai linearitas (R) mendekati atau sama dengan 1, kedua variabel memiliki hubungan linear. Linearitas terbaik terdapat pada jenis gel pulpen dengan warna gel bening pada perlakuan dengan jarak 0 cm yaitu sebesar 0,99919. Hal ini menunjukkan bahwa intensitas cahaya yang diteruskan oleh fiber optik berhubungan linear terhadap penambahan tekanan.

BAB V

SIMPULAN DAN SARAN

A. Simpulan

1. Nilai intensitas cahaya keluaran fiber optik semakin tinggi saat diberikan penambahan tekanan, membentuk grafik linear.
2. Penyambungan fiber optik dengan menggunakan berbagai jenis gel yang memiliki nilai keluaran intensitas cahaya terbaik yaitu pada gel pulpen dengan warna gel kuning.
3. Sensitivitas terbaik pada gel pulpen dengan warna gel kuning pada jarak 0,5 cm dengan gradien sebesar $(0,0035 \pm 0,0028)$ dBm/cm. Linearitas terbaik terdapat pada jenis gel pulpen dengan warna gel bening pada perlakuan dengan jarak 0 cm yaitu sebesar 0,99919.

B. Saran

1. Saat melakukan pemotongan fiber optik dan mengamplasan fiber optik harus diperhatikan tekniknya agar mendapatkan hasil yang lebih baik, karena jika teknik pemotongan tidak tepat maka cahaya dapat berbelok atau terhambur pada titik sambung.
2. Dalam penyimpanan sampel gel sebaiknya lebih cermat agar dapat meminimalisir gelembung-gelembung udara yang terdapat pada gel.

DAFTAR PUSTAKA

- Aristiani, Kunthi. (2015). *Pengembangan Sensor Ketinggian Fluida Berbasis Polymer Optical Fiber (POF) Berbentuk Lengkung*. Yogyakarta: Universitas Negeri Yogyakarta
- Crip, John & Elliott, Barry. (2008). *Serat Optik: Sebuah Pengantar*. Jakarta: Erlangga
- De, Anuradha. (2003). *Optical Fiber and Laser: Principles And Applications*. New Delhi. New Age International Publishers.
- Harsono. (2010). *Rugi-Rugi Pada Serat Optik Bermode Tunggal Dan Jamak Dengan Sebaran Indeks Bias Undakan Akibat Penelitian Pada Silinder Secara Malar*. Tesis Universitas Sebelas Maret. Surakarta
- Hanafiah R, Ali. (2006). *Teknologi Serat Optik*. Jurnal. FT Universitas Sumatera Utara
- Keiser, Gred. (1991) . *Optical Fiber Communications*. Singapore: Mc Graw-Hill Publishing Company
- Limastiwi, Furi. (2013). *Pengaruh Variasi Bentuk Lekukan Bertekanan Terhadap Perubahan Intensitas Cahaya Keluaran Pada Serat Optik Plastik*. Yogyakarta: Universitas Negeri Yogyakarta
- Maddu, Akhiruddin. (2007). *Pengembangan Sensor*. Jurnal. FT Universitas Indonesia
- Mohamad , Wahyudi. (2011). *Mengenal Teknologi Kabel Serat optik (fiber optic)*. Jurnal Fisika unand
- Nugraha, Andi Rahman. (2006). *Serat Optik*. Andi: Yogyakarta
- Prasetya, Dwi. (2009). *Serat Optik*. Universitas Sriwijaya: Teknik Informatika Fakultas Ilmu Komputer

Smith, F.G. et al. (2007). *Optics and Photonics: An Introduction Second Edition*.
England: John Wiley & Sons Ltd

Spesifikasi *Polymer Optical Fiber* Mitshubishi Rayon SH-4001-1.3. Diakses dari
<http://i-fiberoptics.com/fiber-detail.php?id=13> Pada tanggal 22 Agustus
2016, Jam 12:06 WIB

Turvey, Helen. (2015). Mengenal Karakteristik Dan Cara Kerja Fiber Optik.
diakses melalui <http://www.helenturvey.com/mengenal-karakteristik-dan-cara-kerja-fiber-optik/> pada 10 Juni 2016 jam 12.04

Utomo Siswanto, Oktavianto. (2005). *Analisis Perhitungan Rugi-Rugi Pada Serat Optik*. Jurnal. FT Universitas Diponegoro

Widodo, Sri Thomas. (1995). *Optoelektronika Komunikasi Serat Optik*. Andi
Offset: Yogyakarta

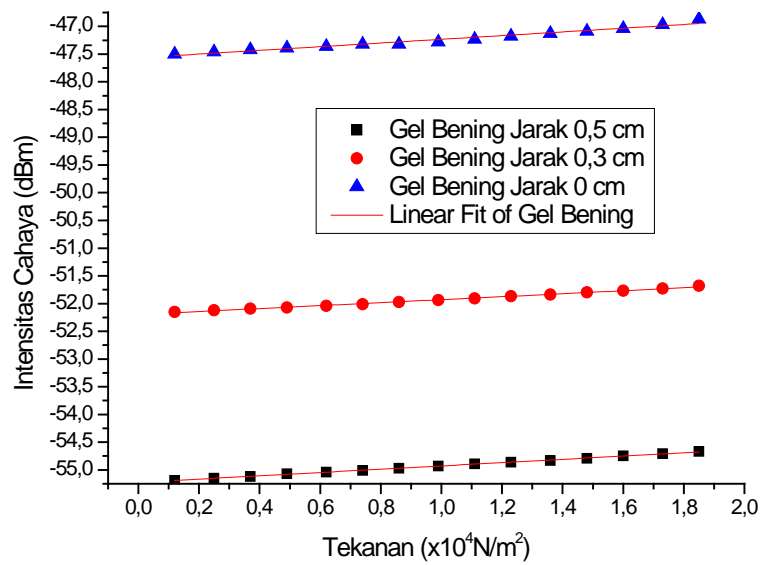
Yudi Prasetyo, Apri. (2011). *Pengaruh Jenis Pengisian (Air, Udara Dan Gel) Dan Jarak Pada Sambungan Terhadap Intensitas Keluaran Serat Optik*.
Yogyakarta: Universitas Negeri Yogyakarta

LAMPIRAN

Lampiran 1. Pemberian massa beban terhadap intensitas keluaran fiber optik dengan jenis pengisi gel pulpen dengan menggunakan warna gel bening.

Tabel 1. Intensitas cahaya fiber optik dengan massa beban dan jarak tertentu

Massa Beban (gram)	Intensitas Cahaya (dBm/cm)		
	Jarak 0,5	Jarak 0,3	Jarak 0
20	-55,19	-52,15	-47,5
40	-55,15	-52,12	-47,46
60	-55,12	-52,09	-47,42
80	-55,07	-52,07	-47,39
100	-55,04	-52,04	-47,36
120	-55,01	-52,01	-47,32
140	-54,97	-51,97	-47,32
160	-54,93	-51,94	-47,28
180	-54,89	-51,91	-47,23
200	-54,86	-51,87	-47,18
220	-54,83	-51,84	-47,13
240	-54,79	-51,8	-47,09
260	-54,75	-51,77	-47,04
280	-54,71	-51,73	-46,97
300	-54,67	-51,68	-46,87



Gambar 1. Grafik Intensitas cahaya fiber optik dengan massa tekanan dan jarak tertentu

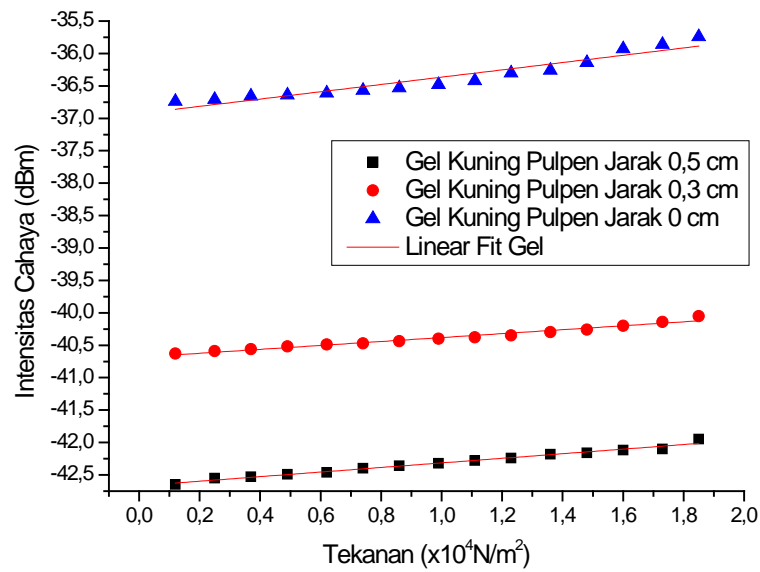
Equation	$y = a + b \cdot x$		
Adj. R-Square	0,99919	0,99539	0,96787
		Value	Standard Error
Jarak 0,5cm	Intercept	-55,22514	0,00254
Jarak 0,5cm	Slope	0,00183	1,39732E-5
Jarak 0,3cm	Intercept	-52,19695	0,00546
Jarak 0,3cm	Slope	0,00165	3,00295E-5
Jarak 0 cm	Intercept	-47,56619	0,01818
Jarak 0 cm	Slope	0,00206	9,99661E-5

Gambar 2. Hasil Grafik Intensitas cahaya fiber optik dengan massa beban dan jarak tertentu yang dianalisis menggunakan *Origin*

Lampiran 2. Pemberian massa beban terhadap intensitas keluaran fiber optik dengan jenis pengisi gel pulpen dengan menggunakan warna gel kuning

Tabel 2. Intensitas cahaya fiber optik dengan massa beban dan jarak tertentu

Massa Beban (gram)	Intensitas Cahaya (dBm/cm)		
	Jarak 0,5	Jarak 0,3	Jarak 0
20	-42,65	-40,63	-36,74
40	-42,55	-40,59	-36,71
60	-42,53	-40,56	-36,66
80	-42,49	-40,52	-36,64
100	-42,46	-40,49	-36,61
120	-42,4	-40,47	-36,57
140	-42,36	-40,44	-36,53
160	-42,32	-40,4	-36,48
180	-42,28	-40,38	-36,42
200	-42,24	-40,35	-36,3
220	-42,18	-40,3	-36,26
240	-42,16	-40,26	-36,14
260	-42,12	-40,2	-35,93
280	-42,1	-40,14	-35,86
300	-41,95	-40,05	-35,74



Gambar 3. Grafik Intensitas cahaya fiber optik dengan tekanan dan jarak tertentu

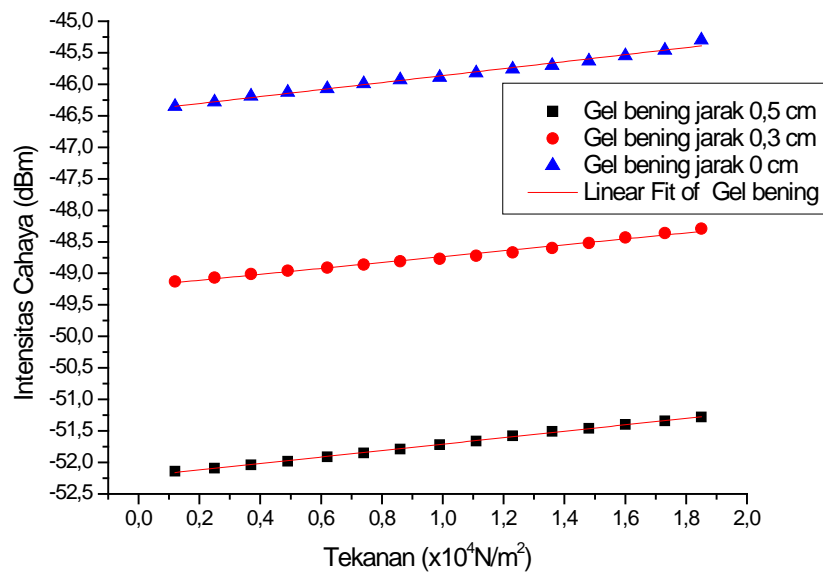
Equation	$y = a + b \cdot x$		
Adj. R-Square	0,98318	0,96935	0,91443
		Value	Standard Error
Jarak 0,5 cm	Intercept	-42,66819	0,01385
Jarak 0,5 cm	Slope	0,00218	7,61817E-5
Jarak 0,3 cm	Intercept	-40,68448	0,01614
Jarak 0,3 cm	Slope	0,00187	8,87571E-5
Jarak 0 cm	Intercept	-36,92838	0,05146
Jarak 0 cm	Slope	0,00347	2,83004E-4

. Gambar 4. Hasil Grafik Intensitas cahaya fiber optik dengan massa beban dan jarak tertentu yang dianalisis menggunakan *Origin*

Lampiran 3. Pemberian massa beban terhadap intensitas keluaran fiber optik dengan jenis pengisi gel rambut dengan menggunakan warna gel bening.

Tabel 3. Intensitas cahaya fiber optik dengan massa beban dan jarak tertentu

Massa Beban (gram)	Intensitas Cahaya (dBm/cm)		
	Jarak 0,5	Jarak 0,3	Jarak 0
20	-52,14	-49,13	-46,35
40	-52,09	-49,07	-46,28
60	-52,04	-49,01	-46,19
80	-51,98	-48,96	-46,13
100	-51,91	-48,91	-46,07
120	-51,85	-48,86	-45,99
140	-51,79	-48,81	-45,93
160	-51,72	-48,77	-45,89
180	-51,66	-48,72	-45,82
200	-51,58	-48,67	-45,76
220	-51,51	-48,6	-45,7
240	-51,46	-48,52	-45,63
260	-51,4	-48,43	-45,55
280	-51,34	-48,36	-45,46
300	-51,28	-48,29	-45,3



Gambar 5. Grafik Intensitas cahaya fiber optik dengan tekanan dan jarak tertentu

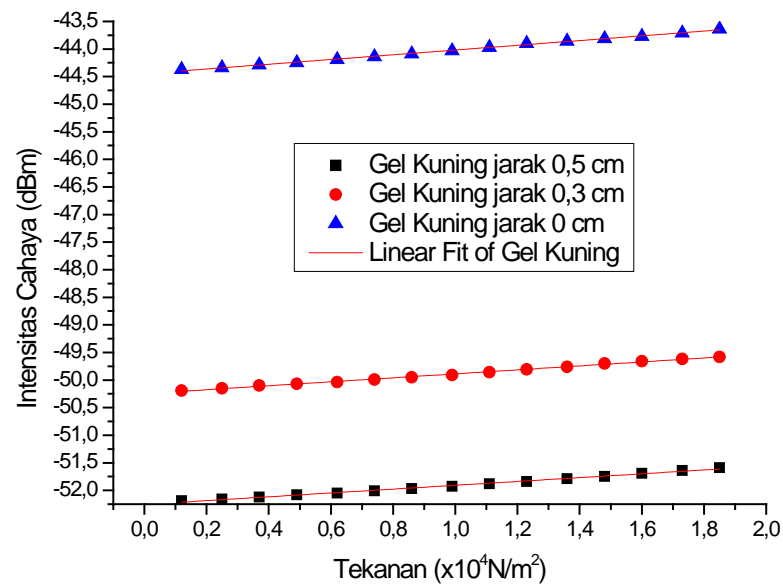
Equation	$y = a + b \cdot x$		
Adj. R-Squar	0,99881	0,98817	0,98887
		Value	Standard Error
Jarak 0,5 cm	Intercept	-52,2215	0,00529
Jarak 0,5 cm	Slope	0,00316	2,90665E-5
Jarak 0,3 cm	Intercept	-49,2035	0,01537
Jarak 0,3 cm	Slope	0,00289	8,45464E-5
Jarak 0 cm	Intercept	-46,4171	0,01762
Jarak 0 cm	Slope	0,00342	9,69195E-5

. Gambar 6. Hasil Grafik Intensitas cahaya fiber optik dengan massa beban dan jarak tertentu yang dianalisis menggunakan *Origin*

Lampiran 4. Pemberian massa beban terhadap intensitas keluaran fiber optik dengan jenis pengisi gel rambut dengan menggunakan warna gel kuning.

Tabel 4. Intensitas cahaya fiber optik dengan massa beban dan jarak tertentu

Massa Beban (gram)	Intensitas Cahaya (dBm/cm)		
	Jarak 0,5	Jarak 0,3	Jarak 0
20	-52,19	-50,19	-44,37
40	-52,16	-50,15	-44,34
60	-52,12	-50,1	-44,29
80	-52,08	-50,07	-44,25
100	-52,05	-50,04	-44,19
120	-52,01	-49,99	-44,14
140	-51,97	-49,95	-44,09
160	-51,93	-49,91	-44,03
180	-51,88	-49,86	-43,97
200	-51,84	-49,81	-43,9
220	-51,79	-49,76	-43,86
240	-51,75	-49,7	-43,81
260	-51,69	-49,66	-43,77
280	-51,64	-49,62	-43,71
300	-51,59	-49,58	-43,64



Gambar 7. Grafik Intensitas cahaya fiber optik dengan tekanan dan jarak tertentu

Equation	$y = a + b \cdot x$		
Adj. R-Square	0,99457	0,99654	0,99749
		Value	Standard Error
Jarak 0,5 cm	Intercept	-52,2555	0,0077
Jarak 0,5 cm	Slope	0,00214	4,23196E-5
Jarak 0,3 cm	Intercept	-50,2475	0,00635
Jarak 0,3 cm	Slope	0,00222	3,49413E-5
Jarak 0 cm	Intercept	-44,448	0,00646
Jarak 0 cm	Slope	0,00265	3,55491E-5

Gambar 8. Hasil Grafik Intensitas cahaya fiber optik dengan massa beban dan jarak tertentu yang dianalisis menggunakan *Origin*

Lampiran 5. Alat Dan Bahan Penelitian



Gambar 9. Alat dan bahan



Gambar 10. Percobaan untuk sensor tekanan fiber optik