

UJI SENSITIVITAS SENSOR BEBAN BERBASIS *POLYMER OPTICAL FIBER* YANG DIBENTUK MELINGKAR DENGAN NANOPARTIKEL TiO_2 SEBAGAI PELAPIS *CLADDING*

TUGAS AKHIR SKRIPSI

Diajukan kepada Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Universitas Negeri Yogyakarta
Untuk Memenuhi Sebagian Persyaratan
guna Memperoleh Gelar Sarjana Sains



Oleh:
Yohana Putri Safitri
NIM 14306141002

**PROGRAM STUDI FISIKA
JURUSAN PENDIDIKAN FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS NEGERI YOGYAKARTA
2018**

HALAMAN PERSETUJUAN

Tugas Akhir Skripsi dengan Judul

UJI SENSITIVITAS SENSOR BEBAN BERBASIS *POLIMER OPTICAL FIBER* YANG DIBENTUK MELINGKAR DENGAN NANOPARTIKEL *TiO₂* SEBAGAI PELAPIS *CLADDING*

Disusun oleh:

Yohana Putri Safitri

NIM 14306141002

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



Yogyakarta, 30 Mei 2018

Mengetahui,
Ketua Program Studi

Disetujui,
Dosen Pembimbing

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

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

HALAMAN PERNYATAAN

Saya yang bertandatangan di bawah ini :

Nama : Yohana Putri Safitri
NIM : 14306141002
Jurusan : Pendidikan Fisika
Program Studi : Fisika
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Judul Skripsi : Uji Sensitivitas Sensor Beban Berbasis
Polymer Optical Fiber yang Dibentuk Melingkar
dengan Nanopartikel TiO₂ sebagai Pelapis *Cladding*

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 ladzim. Apabila terbukti pernyataan ini tidak benar, sepenuhnya menjadi tanggung jawab saya.

Yogyakarta, 10 Juli 2018

Yang menyatakan,



Yohana Putri Safitri

NIM 14306141002

HALAMAN PENGESAHAN

Tugas Akhir Skripsi yang berjudul "Uji Sensitivitas Sensor Beban Berbasis *Polimer Optical Fiber* yang Dibentuk Melingkar dengan Nanopartikel TiO₂ sebagai Pelapis *Cladding*" yang disusun oleh Yohana Putri Safitri, NIM 14306141002 ini telah dipertahankan di depan Dewan Penguji pada tanggal 16 Juli 2018 dan dinyatakan lulus.

DEWAN PENGUJI

Nama / Jabatan	Tanda Tangan	Tanggal
Dr. Heru Kuswanto / Ketua Penguji NIP. 19611112 198702 1 001		13-8-2018
Agus Purwanto, M.Sc / Penguji Utama NIP. 19650813 199512 1 001		13-8-2018
Rita Prasetyowati, M.Si / Penguji Pendamping NIP. 19800728 200604 2 001		8-8-2018

Yogyakarta, 13/8/18

Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

Universitas Negeri Yogyakarta

Dekan



Dr. Hartono

NIP. 19620329 198702 1 002

HALAMAN MOTTO

...kritis dan idealis adalah dua komponen yang melekat pada jiwa setiap pemuda
(Na, muda!)

Sesungguhnya sesudah kesulitan itu ada kemudahan. Maka apabila kamu telah selesai (dari suatu urusan), kerjakanlah dengan sungguh-sungguh (urusan) yang lain.

(Q.S Al-Insyirah 6-7)

HALAMAN PERSEMBAHAN

Karya ini kupersembahkan kepada:

Bapak **Sugiyono** dan Ibu **Tarwiyah** yang selalu memberikan doa dan kasih

sayangnya kepada ananda,

Keluarga besar Kakung **Kadiran** dan Kakung **Sumono** yang telah memberikan

doa dan dukungan hingga terselesaiannya tugas akhir ini.

UJI SENSITIVITAS SENSOR BEBAN BERBASIS *POLYMER OPTICAL FIBER* YANG DIBENTUK MELINGKAR DENGAN NANOPARTIKEL TiO_2 SEBAGAI PELAPIS *CLADDING*

Oleh:
Yohana Putri Safitri
14306141002

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh lekukan dan pelapisan nanopartikel TiO_2 sebagai pelapis *cladding* terhadap pelemahan daya optik serta uji sensitivitas sensor beban berbasis *Polymer Optical Fiber* (POF).

Serat optik yang digunakan adalah POF tipe SH-4001-1.3 dengan indeks bias core sebesar 1,49 dan indeks bias *cladding* sebesar 1,41 yang berlapis nanopartikel TiO_2 pada bagian *cladding*nya. Pelapisan nanopartikel TiO_2 dengan konsentrasi 5 mM menggunakan metode *coating*. POF berlapis TiO_2 dibentuk melingkar dengan variasi diameter 4 cm, 5 cm dan 6 cm yang kemudian diberi beban dengan massa sampai 1000 gram dengan interval kenaikan massa beban 50 gram. 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 *Optical Power Meter* (OPM). Intensitas cahaya terukur dari setiap pelemahan sinyal laser yang disebabkan oleh variasi perubahan massa, kemudian di-*plot* untuk mengetahui sensitivitas.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa semakin landai lekukan pada lintasan POF, sensitivitas sensor beban POF juga semakin tinggi. Pelapisan nanopartikel TiO_2 pada bagian *cladding* POF memperbesar pelemahan daya optik keluarannya. Sensitivitas terbaik terdapat pada POF yang berlapis nanopartikel TiO_2 pada bagian *cladding*-nya dengan diameter lintasan 6 cm dan *range* massa (350 – 750) gram.

Kata kunci: sensor beban, *polymer optical fiber*, nanopartikel TiO_2

**SENSITIVITY TEST WEIGHT SENSOR BASED ON POLYMER OPTICAL
FIBER WITH CIRCULAR FORM AND TiO_2 NANOPARTICLES AS
COATING ON CLADDING**

By:
Yohana Putri Safitri
14306141002

ABSTRACT

This research was aimed to know the influence of indentation and TiO_2 nanoparticle coating as cladding coatings to the attenuation of optical power and sensitivity test of weight sensor based on Polymer Optical Fiber (POF).

The optical fiber used in this research was POF type SH-4001-1.3 with 1.49 core refractive index and 1.41 cladding refractive index which has TiO_2 nanoparticle on its cladding. Coating method was used to coat the POF with TiO_2 nanoparticle which had 5 mM concentration. The TiO_2 coated POF was formed circular with diameter of 4 cm, 5 cm and 6 cm and it was given additional mass up to 1000 gram with interval of 50 gram. The light source used in this research was He-Ne laser with maximum power of 5 mW and 632.8 nm wavelength. The emitted light from He-Ne laser travelled through POF then received by Optical Power Meter (OPM). The light intensity measured on each laser signal attenuation, which was caused by mass variation, plotted to know the sensor's sensitivity.

The results of this research showed that the more sloping indentations of the POF, more sensitive the POF weight sensor. The TiO_2 nanoparticle coatings of the POF cladding made the attenuation of output optical power greater. The best sensitivity of TiO_2 nanoparticle coated POF on the cladding was at POF with 6 cm diameter and the mass range of (350 – 750) grams.

Keywords: weight sensor, polymer optical fiber, TiO_2 nanoparticle

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT karena berkat Rahmat dan Karunia-Nya penulis dapat menyelesaikan penyusunan tugas akhir skripsi ini. Shalawat serta salam semoga senantiasa terlimpah curahkan kepada Nabi Muhammad SAW, kepada keluarganya, para sahabatnya, dan kepada umatnya hingga akhir zaman, amin.

Penulisan tugas akhir skripsi ini diajukan untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar Sarjana pada Program Studi Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Yogyakarta. Tugas akhir skripsi ini berjudul “Uji Sensitivitas Sensor Beban Berbasis *Polymer Optical Fiber* yang Dibentuk Melingkar dengan Nanopartikel TiO₂ sebagai Pelapis *Cladding*”.

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

1. Dr. Hartono, selaku Dekan FMIPA Universitas Negeri Yogyakarta atas pemberian fasilitas dan bantuannya untuk memperlancar administrasi tugas akhir skripsi.
2. Yusman Wiyatmo, M.Si., selaku Ketua Jurusan Pendidikan Fisika FMIPA Universitas Negeri Yogyakarta yang telah memberikan ijin dalam pelaksanaan penelitian tugas akhir skripsi.
3. Nur Kadarisman, M.Si., selaku Ketua Program Studi Fisika Universitas Negeri Yogyakarta yang telah memberikan ijin penelitian tugas akhir skripsi ini.
4. Dr. Heru Kuswanto, selaku Dosen Pembimbing yang telah meluangkan banyak waktu untuk membimbing, memberikan saran, masukan, arahan, memberikan petunjuk dan diskusi yang tiada henti sehingga tugas akhir skripsi ini berhasil terselesaikan dengan baik.
5. Bambang Ruwanto, M.Si., selaku Penasehat Akademik yang telah memberikan arahan, bimbingan, serta motivasi selama menyelesaikan pendidikan di bangku perkuliahan.

6. Seluruh Dosen Jurusan Pendidikan Fisika FMIPA Universitas Negeri Yogyakarta yang senantiasa memberikan ilmu pengetahuan yang akan menjadi bekal yang sangat bermanfaat.
7. Seluruh staff dan laboran Laboratorium Pendidikan Fisika Universitas Negeri Yogyakarta yang telah memfasilitasi dan membantu dalam pelaksanaan penelitian.
8. Rekan penelitian Anggraeni Shita Nirmala, Ichwan Abimanyu dan Riska Rahmawati yang telah bersama-sama menemani dan membantu menyelesaikan tugas akhir skripsi ini.
9. Teman-teman Kolega Fisika 2014 yang selalu memberikan motivasi dan semangat.
10. Seluruh pihak yang telah membantu baik secara langsung maupun tidak langsung.

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

Yogyakarta, 10 Juli 2018

Penulis

Yohana Putri Safitri
NIM 14306141002

DAFTAR ISI

HALAMAN PERSETUJUAN	ii
HALAMAN PERNYATAAN.....	iii
HALAMAN MOTTO	v
ABSTRAK	vii
ABSTRACT.....	viii
KATA PENGANTAR.....	ix
DAFTAR ISI.....	xi
DAFTAR GAMBAR.....	xiii
DAFTAR LAMPIRAN	xv
BAB I PENDAHULUAN.....	1
A. Latar Belakang Masalah	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. Pengertian dan Struktur Serat Optik	8
2. Jenis-Jenis Serat Optik	10
3. Karakteristik Transmisi pada Serat Optik.....	13
4. Sensor	22
5. Prinsip dan Tipe Sensor Optik	23
6. Pemantulan Cahaya.....	24
7. Nanopartikel TiO₂.....	25
8. <i>Optical Power Meter (OPM)</i>	27
B. Kerangka Berpikir	27
BAB III METODE PENELITIAN	29
A. Waktu dan Tempat Penelitian	29

B.	Obyek Penelitian	29
C.	Variabel Penelitian.....	29
D.	Alat dan Bahan Penelitian.....	30
E.	Desain Penelitian.....	31
	<i>1. Setup.....</i>	<i>31</i>
	<i>2. Flow Chart</i>	<i>32</i>
F.	Prosedur Penelitian.....	33
G.	Teknik Analisis Data.....	35
BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN.....		36
A.	Karakteristik Perambatan Cahaya pada POF Tipe SH.4001-1.3	36
B.	Hasil Penelitian.....	43
1.	Hasil Pengukuran Massa Beban Terhadap Daya Optik Keluaran dengan Variasi Diameter Lintasan POF.....	43
a.	Grafik hubungan massa beban terhadap daya optik ternormalisasi pada lintasan POF berdiameter 4 cm	43
b.	Grafik hubungan massa beban terhadap daya optik ternormalisasi pada lintasan POF berdiameter 5 cm	47
c.	Grafik hubungan massa beban terhadap daya optik ternormalisasi pada lintasan POF berdiameter 6 cm	50
2.	Sensitivitas POF dengan Variasi Diameter Lintasan	54
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN		56
A.	Kesimpulan.....	56
B.	Saran	56
DAFTAR PUSTAKA.....		57
LAMPIRAN.....		59

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Skema alat sensor beban serat optik.....	4
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 Multi Mode Fiber Step Index.....	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. Sudut datang dalam bidang batas <i>core-cladding</i>	16
Gambar 10. Peristiwa rugi-rugi akibat pembengkokan makro	20
Gambar 11. Peristiwa rugi-rugi akibat pembengkokan mikro	22
Gambar 12. Skema sistem sensor serat optik.....	24
Gambar 13. Pemantulan Cahaya.....	25
Gambar 14. Nanokristal TiO ₂	26
Gambar 15. Desain Penelitian POF dengan diameter lintasan 4 cm.....	31
Gambar 16. Desain Penelitian POF dengan diameter lintasan 5 cm.....	31
Gambar 17. Desain Penelitian POF dengan diameter lintasan 6 cm.....	31
Gambar 18. Proses jalannya sinar pada POF dengan sudut 21°	38
Gambar 19. Hubungan perubahan massa terhadap daya optik ternormalisasi pada POF dan POF : TiO ₂ dengan lintasan berdiameter 4 cm.....	43
Gambar 20. Grafik hubungan perubahan massa terhadap daya optik ternormalisasi pada POF dengan lintasan berdiameter 4 cm	44
Gambar 21. Grafik hubungan perubahan massa terhadap daya optik ternormalisasi pada POF : TiO ₂ dengan lintasan berdiameter 4 cm.....	45
Gambar 22. Grafik hubungan perubahan massa terhadap sensitivitas pada POF dengan lintasan berdiameter 4 cm	46
Gambar 23. Hubungan perubahan massa terhadap daya optik ternormalisasi pada POF dan POF : TiO ₂ dengan lintasan berdiameter 5 cm	47
Gambar 24. Grafik hubungan perubahan massa terhadap daya optik ternormalisasi pada POF dengan lintasan berdiameter 5 cm	48
Gambar 25. Grafik hubungan perubahan massa terhadap daya optik ternormalisasi pada POF : TiO ₂ dengan lintasan berdiameter 5 cm.....	49

Gambar 26. Grafik hubungan perubahan massa terhadap sensitivitas pada POF dengan lintasan berdiameter 5 cm	50
Gambar 27. Hubungan perubahan massa terhadap daya optik ternormalisasi pada POF dan POF : TiO ₂ dengan lintasan berdiameter 6 cm	51
Gambar 28. Grafik hubungan perubahan massa terhadap daya optik ternormalisasi pada POF dengan lintasan berdiameter 6 cm	52
Gambar 29. Grafik hubungan perubahan massa terhadap daya optik ternormalisasi pada POF : TiO ₂ dengan lintasan berdiameter 6 cm	53
Gambar 30. Grafik hubungan perubahan massa terhadap sensitivitas pada POF dengan lintasan berdiameter 6 cm	54
Gambar 31. Grafik hubungan perubahan massa terhadap sensitivitas pada seluruh variasi diameter lintasan dan pelapisan POF	55

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Tabel data hasil pengukuran daya optik keluaran pada POF dengan lintasan berdiameter 4 cm.....	63
Lampiran 2. Tabel data hasil pengukuran daya optik keluaran pada POF dengan lintasan berdiameter 5 cm.....	64
Lampiran 3. Tabel data hasil pengukuran daya optik keluaran pada POF dengan lintasan berdiameter 6 cm	65
Lampiran 4. Tabel data hasil pengukuran daya optik keluaran pada POF berlapis nanopartikel TiO_2 pada bagian <i>cladding</i> -nya dengan lintasan berdiameter 4 cm	66
Lampiran 5. Tabel data hasil pengukuran daya optik keluaran pada POF berlapis nanopartikel TiO_2 pada bagian <i>cladding</i> -nya dengan lintasan berdiameter 5 cm	67
Lampiran 6. Tabel data hasil pengukuran daya optik keluaran pada POF berlapis nanopartikel TiO_2 pada bagian <i>cladding</i> -nya dengan lintasan berdiameter 6 cm	68
Lampiran 7. Gambar larutan nanopartikel TiO_2 5 mM	69
Lampiran 8. Gambar proses pelapisan TiO_2 pada bagian <i>cladding</i> POF	69
Lampiran 9. Gambar POF yang dililit dengan solasi hitam setelah terlapisi nanopartikel TiO_2	70
Lampiran 10. Gambar rangkaian penelitian POF dengan lintasan berdiameter 4 cm	70
Lampiran 11. Gambar rangkaian penelitian POF dengan lintasan berdiameter 5 cm	71
Lampiran 12. Gambar rangkaian penelitian POF dengan lintasan berdiameter 6 cm m	71
Lampiran 13. Struktur Serat Optik Tipe SH-4001-1.....	72
Lampiran 14. Performa Serat Optik Tipe SH-4001-1.3.....	73

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang Masalah

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 di dalam 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 di Amerika Serikat, sedangkan di Inggris lebih dari 95% trafik telepon dibawa oleh serat optik. Di seluruh dunia, sistem transmisi serat optik melewatkannya sekitar 85% dari seluruh trafik telekomunikasi (Crisp and Elliot, 2001: 7).

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/kontruksi kabel adalah pembengkokan/*bending*. Tidak semua pembengkokan menyebabkan terjadinya pelemahan. Serat optik mengalami pelemahan sinyal ketika dibengkokkan pada jari-jari tertentu. Sinyal yang melemah di tengah 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

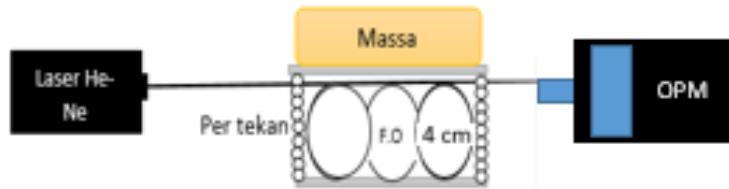
terjadinya kenaikan pelemahan di dalam serat optik yang dibengkokkan. Sinyal gelombang elektromagnetik dibangkitkan dari sumber yang biasanya berupa laser dilewatkan melalui serat optik menuju *receiver*. Gangguan berupa pembengkokan yang terjadi di tengah perjalannya menuju *receiver* menyebabkan kenaikan 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 berkarat, mempunyai bahan isolasi elektrikal, 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 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 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).

Disamping itu teknologi nanopartikel juga menarik perhatian para ilmuwan dan peneliti, salah satunya nanopartikel titanium dioksida (TiO_2). TiO_2 merupakan kristal yang berwarna putih dan juga salah satu semikonduktor oksida berlimpah nomor empat di dunia setelah aluminium, besi, dan magnesium. TiO_2 memiliki indeks bias (n) yang sangat tinggi yaitu 2,4 dalam bentuk bubuk dan 2,7 dalam bentuk lapisan tipis (https://www.chemours.com/Titanium.../en_US/.../Ti-Pure-for-coatings-overview.pdf).

Seiring dengan perkembangannya, teknologi sensor serat optik terfokus pada pelemahan sinyal laser akibat pembengkokan (mikrobending maupun makrobending) dan pengelupasan *buffer*. Oleh karena hal tersebut peneliti tertarik untuk mengkolaborasikan teknologi serat optik dengan nanopartikel TiO_2 sebagai pelapis *cladding* serat optik. Penelitian menunjukkan bahwa nilai rugi-rugi daya akibat *macrobending* dipengaruhi oleh panjang gelombang, diameter bengkokan, dan jumlah bengkokan yang tersusun dalam bentuk lilitan yang digunakan. Oleh karena itu, penelitian ini untuk mengetahui pengaruh diameter lintasan serat optik yang dibentuk melingkar serta perubahan massa terhadap besarnya intensitas cahaya yang diterima oleh *Optical Power Meter* (OPM). Adapun jumlah lintasan yang berupa lingkaran berjumlah tetap, yaitu 3 lingkaran dengan variasi diameter lintasan 4 cm, 5 cm dan 6 cm. Berikut merupakan skema alat sensor beban serat optik dengan lintasan melingkar:



Gambar 1. Skema alat sensor beban serat optik

Penelitian ini juga memberikan variasi pengelupasan *buffer* pada serat optik. Nanopartikel TiO₂ sebagai pelapis *cladding* bertujuan untuk mendapatkan serat optik yang lebih peka karena pengaruh lekukan dan pemberian massa beban. 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 lekukan semakin tajam 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 serat optik, sedangkan intensitas cahaya laser yang telah dihubungkan dengan serat optik akan dideteksi dengan menggunakan alat OPM. 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.

B. Identifikasi Masalah

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

1. Peningkatan ketajaman lekukan lintasan yang melingkar dapat melemahkan intensitas cahaya keluaran serat optik yang diterima oleh OPM.
2. Pemberian massa beban dapat mengurangi intensitas cahaya keluaran serat optik.
3. Lapisan nanopartikel TiO_2 sebagai pelapis *cladding* dapat meningkatkan pelemahan intensitas cahaya keluaran serat optik.

C. Batasan Masalah

Mengingat luasnya masalah yang terdapat dalam penelitian ini, maka penelitian ini difokuskan dan dibatasi pada penggunaan serat optik tipe SH-4001-1-1.3, pengaruh diameter lintasan (4 cm, 5 cm dan 6 cm) yang berupa lingkaran dan nanopartikel TiO_2 dengan konsentrasi tetap 5 mM sebagai pelapis *cladding* pada serat optik. Dalam penelitian ini diberikan variasi diameter lintasan melingkar yaitu 4 cm, 5 cm dan 6 cm. Tujuan pemberian variasi diameter lintasan berupa lingkaran ini untuk mengetahui apakah semakin besar diameter lingkaran yang dibentuk akan menghasilkan pelemahan intensitas cahaya yang lebih banyak atau tidak. Karena seharusnya semakin besar lekukan maka pelemahan juga akan semakin besar. Selain bentuk lintasan dan pelapis *cladding*, 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 intensitas cahaya laser yang telah dihubungkan dengan serat optik akan dideteksi dengan menggunakan alat OPM.

D. Rumusan Masalah

Rumusan masalah dalam penelitian ini yaitu :

1. Bagaimana pengaruh diameter lintasan yang berbentuk melingkar pada POF terhadap daya optik keluaran yang diterima oleh OPM saat diberikan perubahan massa?
2. Bagaimana pengaruh lapisan nanopartikel TiO_2 sebagai pelapis *cladding* terhadap daya optik keluaran yang diterima oleh OPM?
3. Berapa sensitivitas terbaik pada sensor pengukur massa POF dengan lintasan yang berbentuk melingkar?

E. Tujuan Penelitian

Tujuan pada penelitian ini adalah:

1. Mengetahui pengaruh diameter lintasan yang berbentuk melingkar pada POF terhadap daya optik keluaran yang diterima oleh OPM saat diberikan perubahan massa.
2. Mengetahui pengaruh lapisan nanopartikel TiO_2 sebagai pelapis *cladding* terhadap daya optik keluaran yang diterima oleh OPM.
3. Mengetahui sensitivitas terbaik pada sensor pengukur massa POF dengan lintasan yang berbentuk melingkar.

F. Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan:

1. Dapat memberikan informasi bagaimana sensitivitas sensor pengukur massa berbasis serat optik dengan nanopartikel TiO₂ sebagai pelapis *cladding*.
2. Dapat mengaplikasikan serat optik di bidang sensor.
3. Sebagai acuan atau referensi untuk melakukan penelitian selanjutnya pada bidang yang sama.

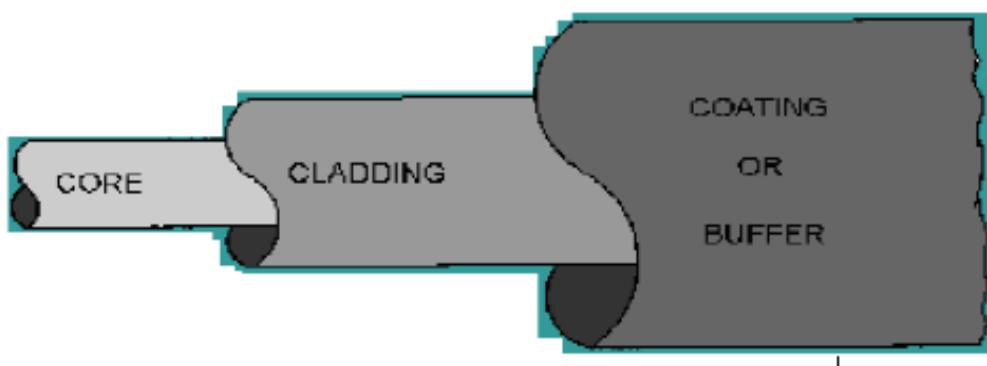
BAB II

KAJIAN PUSTAKA

A. Deskripsi Teori

1. Pengertian dan 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 memandu 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: 26).



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

Berikut merupakan susunan struktur serat optik:

- 1) Bagian yang paling utama dinamakan inti (*core*). Gelombang cahaya yang melewati *core* akan mengalami pemantulan sempurna karena *core* mempunyai indeks bias lebih besar dari lapisan kedua atau *cladding*. *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: 27).

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 (spesifikasi POF tipe SH-4001-1.3, lampiran 13). 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.

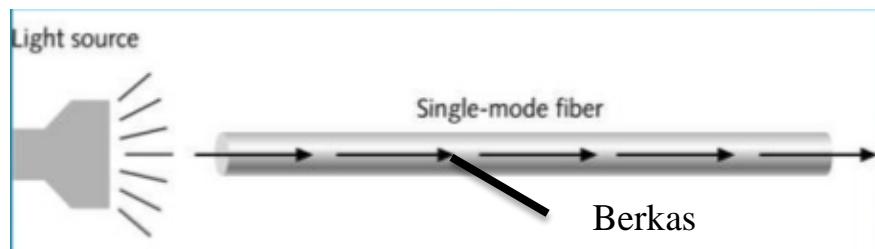
Perbedaan serat optik kaca dan plastik adalah serat optik kaca terbuat dari kaca dan tingkat kejernihannya melebihi kejernihan serat optik plastik. Serat optik kaca tidak cocok digunakan sebagai sensor karena terlalu rapuh dan ukurannya yang kecil sehingga sulit untuk diberi perlakuan (Ahmad Mulia Rambe,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

2. Jenis-Jenis Serat Optik

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

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

SMF *step index* mempunyai inti yang kecil (berdiameter 0.00035 inch atau 9 micrometer) dan berfungsi mengirimkan sinar laser dengan panjang gelombang (1300-1550) nm (Keiser, 1991: 27).

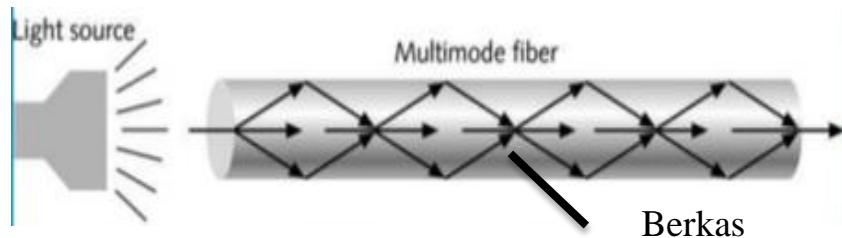


Gambar 3. Serat optik Single Mode Fiber (SMF) Step Index (Keiser, 1991: 27)

Jenis serat optik yang memiliki diameter antara (8,3 – 10) mikrometer mempunyai transmisi satu mode dengan diameter yang kecil, SMF hanya dapat mengirimkan sinar (laser) dengan panjang gelombang antara (1310 – 1550) nm. SMF dapat mentransmisikan sinyal diatas rata-rata dan 50 kali lipat lebih panjang 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, mengalami sedikit pelemahan sinyal 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 micrometer) dan berfungsi mengirimkan sinar laser dengan panjang gelombang (850-1300) nanometer (Keiser, 1991: 27).



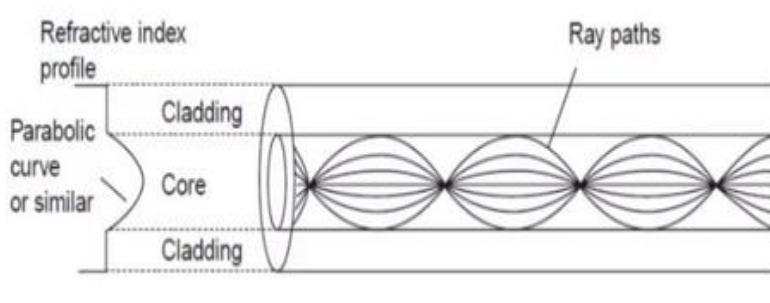
Gambar 4. Serat Optik *Multi Mode Fiber Step Index* (Keiser, 1991: 27).

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

1) *Graded-Index Multimode*

Berisi sebuah *core* dimana indeks bias tertinggi membuat cahaya bergerak lebih pelan pada porosnya dibandingkan cahaya yang lebih dekat dengan *cladding*. Lintasan yang pendek dan kecepatan yang tinggi mengijinkan cahaya di bagian luar untuk sampai ke penerima pada waktu yang sama dengan cahaya lurus yang 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 – 60) mikrometer sedangkan diameter *cladding*-nya (100 – 150) mikrometer.
- 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) .

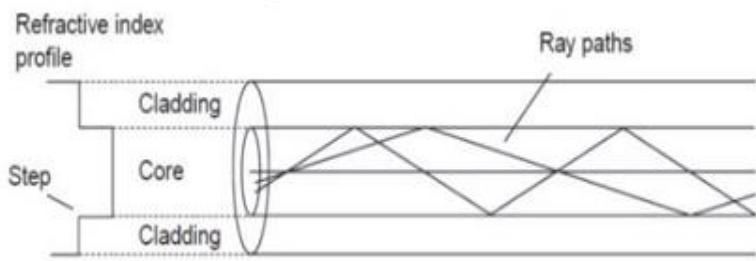


Gambar 5. Perambatan cahaya pada serat optik graded- index multimode (Jasenek, 2006)

1) *Step-Index Multimode*

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

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



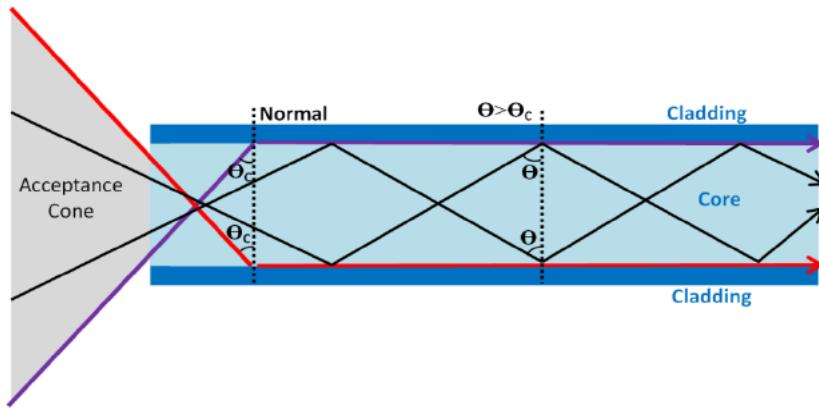
Gambar 6. Perambatan cahaya pada serat optik step-index multimode

3. Karakteristik Transmisi pada Serat Optik

a. *Numerical Aperture*

Sinar cahaya yang masuk ke dalam *core* serat optik membentuk sudut datang tertentu terhadap poros serat optik. Sinar yang menuju ke arah permukaan serat optik tidak semua akan diteruskan karena ada sebagian sinar yang mengalami pembiasan yaitu sinar yang berada di luar sudut penerimaan. Gambar 7 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. (Keiser, 1991: 31)



Gambar 7. Sudut dimana sinar dapat diterima oleh serat optik (Keiser, 1991: 31)

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

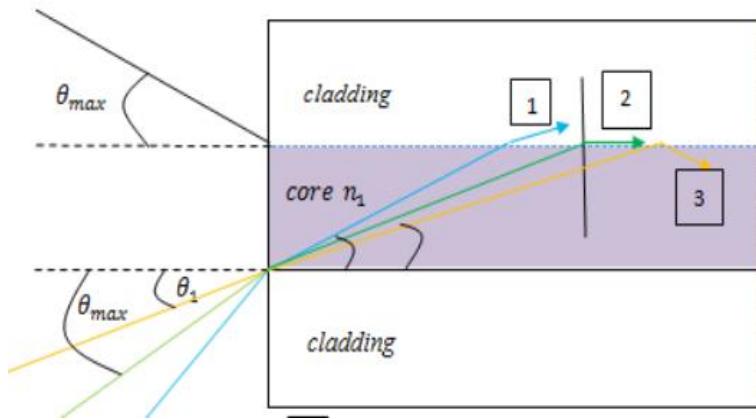
Semakin besar nilai NA menandai semakin tinggi efisiensi dari sumber optik dalam mengkopling sinar-sinar ke dalam serat optik (Mitschke, 2009:18-19). Mengacu pada persamaan (1), NA pada serat optik tipe SH.4001-1.3 sebesar:

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

$$NA = 0,48167$$

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 daya optik, dengan persamaan (2) (Horson, 2010):

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

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

$$\theta_1 = 28.79412^\circ$$

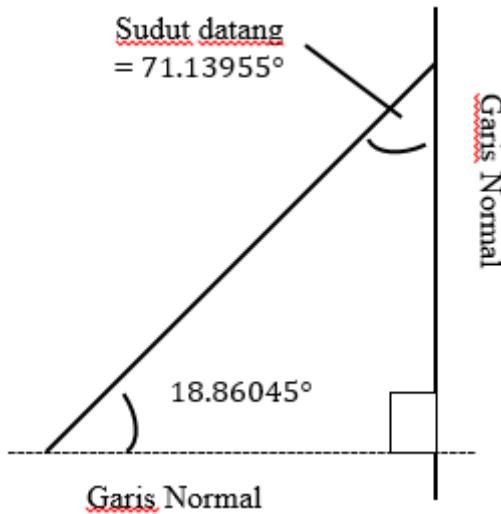
dimana θ_1 merupakan sudut penerimaan serat optik.

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. Sudut datang dalam bidang batas *core-cladding*

Ketika serat optik dalam keadaan lurus maka posisi garis normal tegak lurus pada bidang perbatasan. Gambar 9 menunjukkan bahwa antara garis normal lama dan garis normal baru membentuk sebuah segitiga siku-siku yang selanjutnya digunakan untuk mengetahui nilai sudut datang di dalam inti (θ_3). Jumlah nilai ketiga sudut di dalam sebuah segitiga adalah 180° , maka nilai dari sudut datang di dalam inti (θ_3) dapat diperoleh dengan menggunakan persamaan (4).

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

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

$$\theta_3 = 71.13955^\circ$$

c. Sudut Kritis

Sudut datang sinar cahaya 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:

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

Karena nilai $\sin 90^\circ$ adalah 1, maka dapat disusun kembali persamaan di atas untuk mendapatkan $\sin \theta_1$ dan kemudian nilai sudut (yang dalam kasus ini adalah sudut kritis yang dibicarakan).

$$\theta_4 = \text{arc sin} \frac{n_2}{n_1} \quad (6)$$

dimana $\theta_4 = \theta_c$ merupakan sudut kritis

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

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

$$\theta_c = 71.13954^\circ$$

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 and Elliot, 2001: 47).

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 (Crisp and Elliot, 2001: 50).

1) Absorpsi

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

2) Hamburan Rayleigh

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

Terdapat dua hal yang menyebabkan terjadinya fenomena ini, dan keduanya timbul di dalam proses manufaktur. Sebab pertama adalah terdapatnya ketidakmerataan di dalam adonan bahan-bahan pembuat serat optik. 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 and Elliot, 2001: 50).

3) Pemantulan Fresnel

Ketika sinar cahaya menumbuk sebuah bintik perubahan indeks bias dan terpencar ke segala arah, komponen pencaran 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 dikirimkan melalui *interface* dinyatakan dalam formula Fresnel yaitu pada Persamaan 7 (Crisp and Elliot, 2001: 51).

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

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

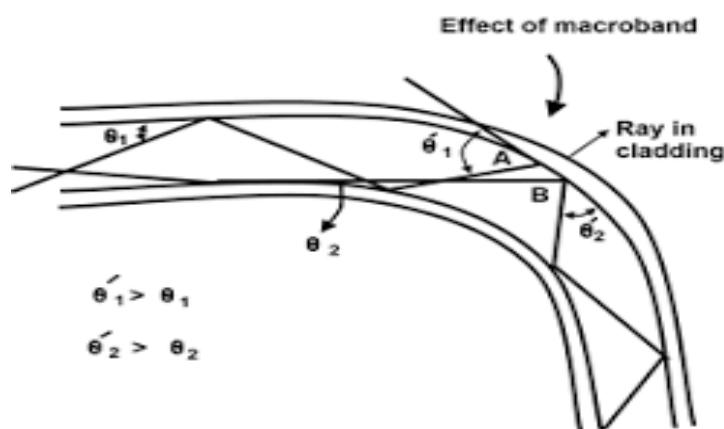
n_0 : indeks bias media perantara dari dua serat yang disambungkan

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. Pelemahan daya akibat pelengkungan serat optik dibedakan menjadi dua macam yaitu:

a. *Macro Bending* atau Pembengkokan Makro

Rugi-rugi *macro bending* 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 10. (Crisp and Elliot, 2001: 53).



Gambar 10. Peristiwa rugi-rugi akibat pembengkokan makro

Jari-jari kritis atau *critical radius* adalah jari-jari lekukan yang mendekati besar nilai jari-jari *core* serat optik itu sendiri. Jari-jari kritis pada *multi mode* sebagai:

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

Besarnya nilai pelemahan daya dapat dipengaruhi oleh selisih indeks bias. Nilai *numerical aperture* yang besar 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.

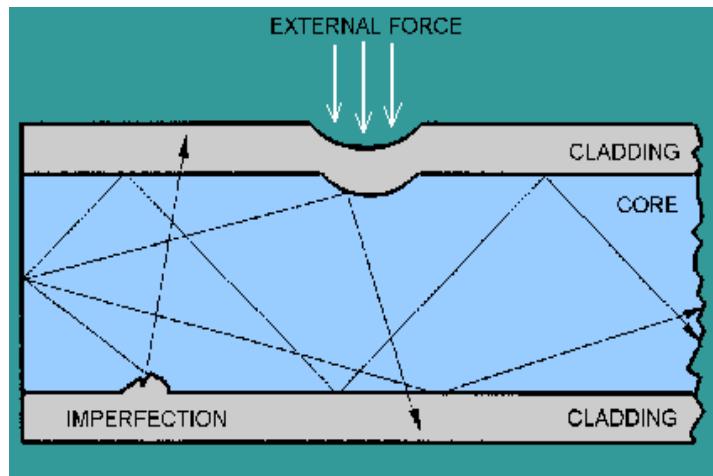
$$n' = n_{maksimal} e^{\left(\frac{x}{r}\right)} \approx n_{material} \left(1 + \frac{x}{r}\right) \quad (10)$$

Indeks bias serat optik mengalami perubahan karena pembengkokan (n') 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 and Cole, 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 pemuaian dan penyusutan antara serat optik dan pelindung-

pelindung luarnya (*buffer*). Peristiwa rugi-rugi serat optik akibat pembengkokan mikro dapat di lihat pada Gambar 11. (Crisp and Elliot, 2001: 56).



Gambar 11. Peristiwa rugi-rugi akibat pembengkokan mikro

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 (Sharon and William, 1982):

a. Sensitivitas

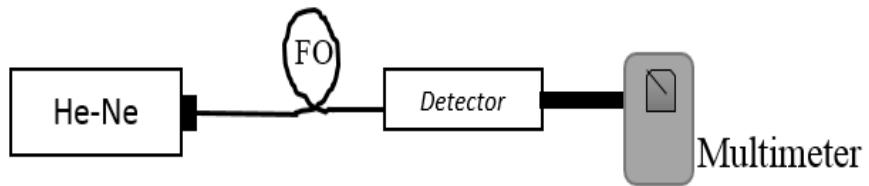
Sensitivitas adalah ukuran perubahan dalam keluaran instrumen yang terjadi ketika kuantitas yang diukur berubah dengan jumlah tertentu. Sensitivitas sering juga dinyatakan dengan bilangan yang menunjukkan “perubahan keluaran dibandingkan unit perubahan masukan” (Morris, 2001: 19).

Selain dua karakteristik di atas, karakteristik sensor yang lain yaitu: linearitas, tanggapan waktu, akurasi, presisi, resolusi, kesalahan kalibrasi,

histeresis, keluaran skala penuh, saturasi, *span*, impedansi keluaran, dan lain-lain (Fraden, 2004: 8).

5. Prinsip dan Tipe Sensor Optik

Sensor serat optik adalah jenis sensor optik yang menggunakan serat optik dalam mekanisme penginderaan atau pendektsian, 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 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 12. Skema sistem sensor serat optik

6. Pemantulan Cahaya

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

a. Pemantulan Biasa

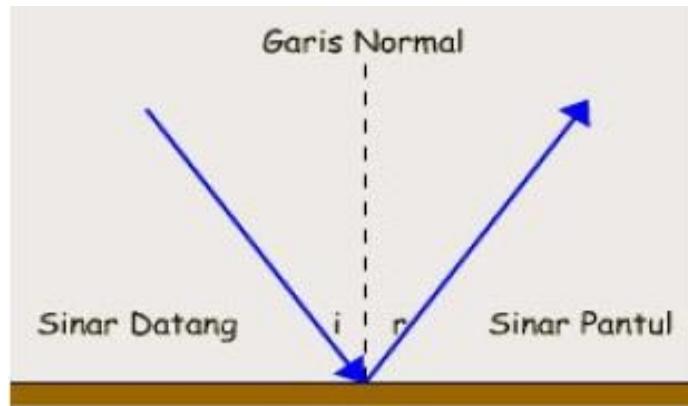
Pemantulan biasa adalah pemantulan dimana cahaya yang dipantulkan membentuk suatu pola yang teratur. Sinar-sinar sejajar yang datang pada permukaan cermin dipantulkan sebagai sinar-sinar sejajar pula. Akibatnya cermin dapat membentuk bayangan benda. Pemantulan semacam ini juga disebut pemantulan teratur.

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.

c. Hukum Pemantulan Cahaya

Menurut Snellius, hukum pemantulan cahaya adalah sebagai berikut:



Gambar 13. Pemantulan Cahaya

- 1) Sinar datang, garis normal dan sinar pantul terletak pada satu bidang datar.
- 2) Sudut datang (i) = sudut pantul (r)

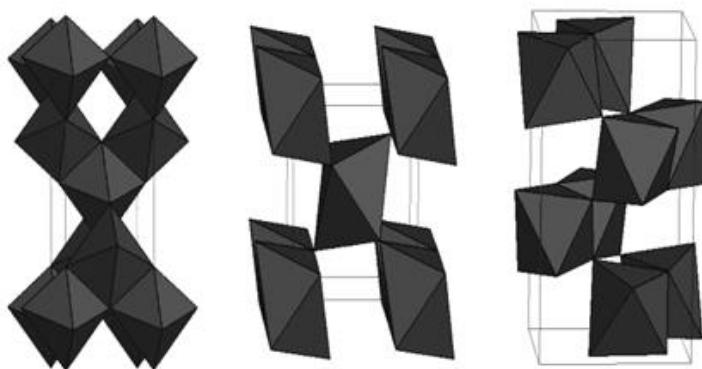
Sedangkan untuk pemantulan internal sempurna terjadi jika:

- 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 and Elliot, 2001: 11).

7. Nanopartikel TiO_2

Titanium dioksida merupakan jenis material semikonduktor yang tidak terdapat dialam secara alami, namun diekstrak dari *leucoxene* dan bijih *ilmenite*. Untuk mendapatkan fase *rutile*, *ilmenite* FeTiO_3 direduksi oleh grafit/carbon di dalam hidrogen pada suhu 510°C . Selain itu titanium dioksida bisa didapatkan dengan menggunakan proses sintesis. Ada beberapa metode sintesis yang bisa digunakan yaitu metode sol gel yang menggunakan larutan *titanium alkoxides*,

metode *hydrotermal* (Catro, 2008), metode sonokimia (Timuda, 2010), metode *solvothermal*, metode oksidasi langsung, metode *microwave* (Bryanvand, et.al., 2013) dan metode *co precipitation*. Titanium dioksida juga merupakan semikonduktor oksida yang memiliki stabilitas kimia yang baik dibawah sinar cahaya tampak (Narayan, 2011)



Gambar 14. Nanokristal TiO₂ (kiri) Anatase, (tengah) Rutile, (kanan) Brookite (ruby.colorado.edu)

Nanopartikel, *nanorods*, *nanotube*, *nanowire* dan *struktur mesoporous* merupakan macam-macam morfologi yang dimiliki oleh titanium dioksida. Secara umum TiO₂ memiliki tiga struktur kristal yaitu *anatase*, *rutile* dan *brookite* seperti tampak pada Gambar 15. Indeks bias senyawa tersebut yaitu 2,4 dalam bentuk serbuk dan 2,7 dalam bentuk lapisan (Benkstein, et al., 2003).

Kelebihan titanium dioksida adalah tidak beracun, tersedia secara luas dan biaya proses pembuatannya cukup rendah/murah (Grätzel, 2003). Sehingga titanium dioksida digunakan dalam berbagai aplikasi. Antara lain sebagai fotokatalis contohnya adalah *self cleaning*, sebagai sel surya untuk menghasilkan energi listrik, sebagai sensor biologi dan kimia, sebagai pengendalian korosi dengan menggunakan metode pelapisan, sebagai pigmen putih untuk cat atau produk

kosmetik, sebagai pelapis optik, sebagai campuran keramik dan sebagai devais elektrik (Diebold, 2003).

Ukuran partikel yang digunakan untuk pelapisan harus dalam skala nano, karena skala nano maka luas permukaan partikel secara keseluruhan semakin besar, sehingga menaikkan jumlah pewarna yang teradsorp dan akan menaikkan jumlah cahaya yang terabsorbsi.

8. *Optical Power Meter (OPM)*

Optical Power Meter merupakan peralatan penting yang digunakan untuk pengukuran daya dalam komunikasi fiber optik. OPM menggunakan bahan semikonduktor *photodetector* seperti *Silicon (Si)*, *Germanium (Ge)*, atau *Indium Gallium Arsenide (InGaAs)*, tergantung pada panjang gelombang yang digunakan. Detektor Si digunakan pada daerah panjang gelombang 850 nm, sedangkan detektor Ge dan InGaAs adalah jenis yang digunakan pada daerah panjang gelombang 1310 nm dan 1550 nm.

B. Kerangka Berpikir

Penelitian ini digunakan untuk mengetahui sensitivitas dan linieritas sensor beban berbasis POF yang dibentuk melingkar dengan nanopartikel TiO_2 sebagai pelapis *cladding* serta mengetahui pengaruh diameter lintasan terhadap sensitivitas dan linearitas sensor beban berbasis POF dan TiO_2 sebagai pelapis *cladding*. Daya keluaran akan diukur oleh OPM. Serat optik yang digunakan dalam penelitian ini adalah POF tipe SH-400-1.3.

Cahaya masuk ke dalam serat optik dengan sudut tertentu, sudut ini dinamakan sudut penerimaan. Serat optik berada pada keadaan lurus jika cahaya

dari udara ke *core* datang dengan sudut berada diluar sudut penerimaan, maka cahaya tidak keluar dari serat optik dan hilang di tengah jalan. Namun jika cahaya yang datang dari udara ke *core* berada pada kisaran nilai sudut penerimaan, maka cahaya tersebut akan merambat hingga keluar serat optik.

Pelekukan pada POF (*macrobending*) dapat dimanfaatkan melalui dua cara, yaitu dengan memanfaatkan *attenuasi* yang terjadi di dalam fiber optik dan memanfaatkan cahaya yang lolos dari fiber optik. Ketika fiber optik dilekukkan, cahaya yang mengenai bidang perbatasan *core-cladding* akan membentuk sudut datang (θ_{core}) tertentu. Karena sudah diketahui indeks bias *core* dan *cladding* dari fiber optik, maka dapat ditentukan besar sudut kritis pada fiber optik tersebut. Sudut kritis antara *core* dan *cladding* sebesar $71,14^0$ sangat penting dalam proses pembiasan dan pemantulan cahaya dalam fiber optik. Jika sudut datang yang mengenai bidang perbatasan *core-cladding* lebih kecil dari sudut kritis, maka cahaya keluar dari *core* dan masuk ke dalam *cladding*. Besar sudut pembiasan cahaya yang terjadi di dalam *cladding* ditentukan dengan menggunakan hukum Snellius. Cahaya yang merambat di dalam *cladding* dan akhirnya mengenai bidang perbatasan membentuk sudut datang ($\theta_{cladding}$) tertentu. Selanjutnya nilai sudut kritis berubah karena medium tempat cahaya merambat tidak lagi *core-cladding*, melainkan *cladding*-lapisan TiO₂. Indeks bias lapisan TiO₂ sebesar 2,7 yang lebih besar dari *cladding* mengakibatkan sinar yang mengalami pembiasan dari *core* ke *cladding* tidak dapat dipantulkan kembali. Hal tersebut yang mengakibatkan pelemahan daya optik pada sensor POF yang berlapis TiO₂ pada bagian *claddingnya*.

BAB III

METODE PENELITIAN

A. Waktu dan Tempat Penelitian

1. Waktu Penelitian

Penelitian tentang Uji Sensitivitas Sensor Beban Berbasis *Polymer Optical Fiber* yang Dibentuk Melingkar dengan Nanopartikel TiO_2 sebagai Pelapis *Cladding* dilakukan pada bulan Januari 2018 sampai April 2018.

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 150 cm yang kemudian dikupas sebagian *buffernya* untuk *dicoating* dengan nanopartikel TiO_2 . Variasi diameter lintasan *Polymer Optical Fiber* (POF) yang melingkar yaitu 4 cm, 5 cm dan 6 cm dengan jumlah lingkaran tetap (3 lingkaran).

C. Variabel Penelitian

1. Variabel bebas : perubahan massa dan diameter lintasan.

2. Variabel terikat : intensitas cahaya keluaran POF yang diterima oleh

OPM

3. Variabel kontrol: intensitas cahaya laser He-Ne, jumlah lintasan dan konsentrasi nanopartikel TiO_2

D. Alat dan Bahan Penelitian

1. Bahan

- a. Kabel serat optik tipe SH-4001-1.3
- b. TiO_2 (Titanium Dioksida) 0,2 gram
- c. Aquades 500 ml
- d. Papan kayu yang digunakan sebagai penyangga serat optik dan beban
- e. Pegas digunakan sebagai penyangga papan kayu (4 buah)
- f. Mur dan baut (4 buah)
- g. Solasi kabel hitam
- h. Lakban hitam
- i. Lem kayu
- j. Pasir digunakan sebagai beban
- k. Wadah sebagai tempat pasir

2. Alat

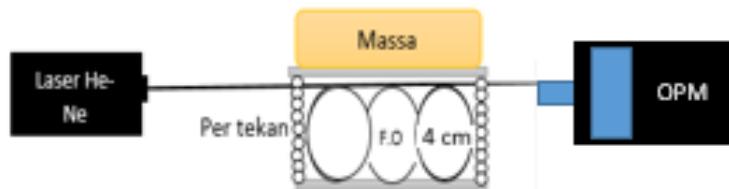
- a. *Optical Power Meter* (OPM) digunakan sebagai alat ukur intensitas cahaya keluaran POF
- b. Timbangan *Scout Pro* digunakan untuk menimbang massa TiO_2
- c. Laser Helium-Neon digunakan sebagai sumber cahaya
- d. Oven digunakan sebagai alat *coating* TiO_2 pada *cladding*
- e. Penggaris digunakan untuk mengukur panjang dan diameter POF
- f. Gunting dan *cutter* digunakan untuk memotong POF
- g. Gelas ukur 500 ml digunakan untuk mengukur volume dan tempat pembuatan larutan

- h. Pengaduk digunakan untuk mengaduk larutan
- i. Pasir kering digunakan sebagai massa beban

E. Desain Penelitian

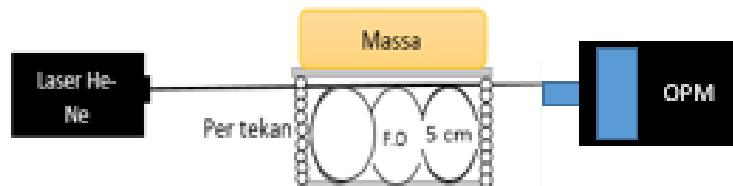
1. Setup

- 1) Diameter lintasan 4 cm



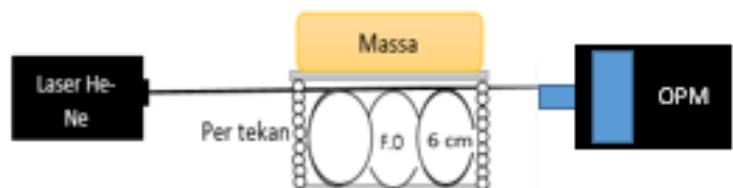
Gambar 15. Desain Penelitian POF dengan diameter lintasan 4 cm

- 2) Diameter lintasan 5 cm



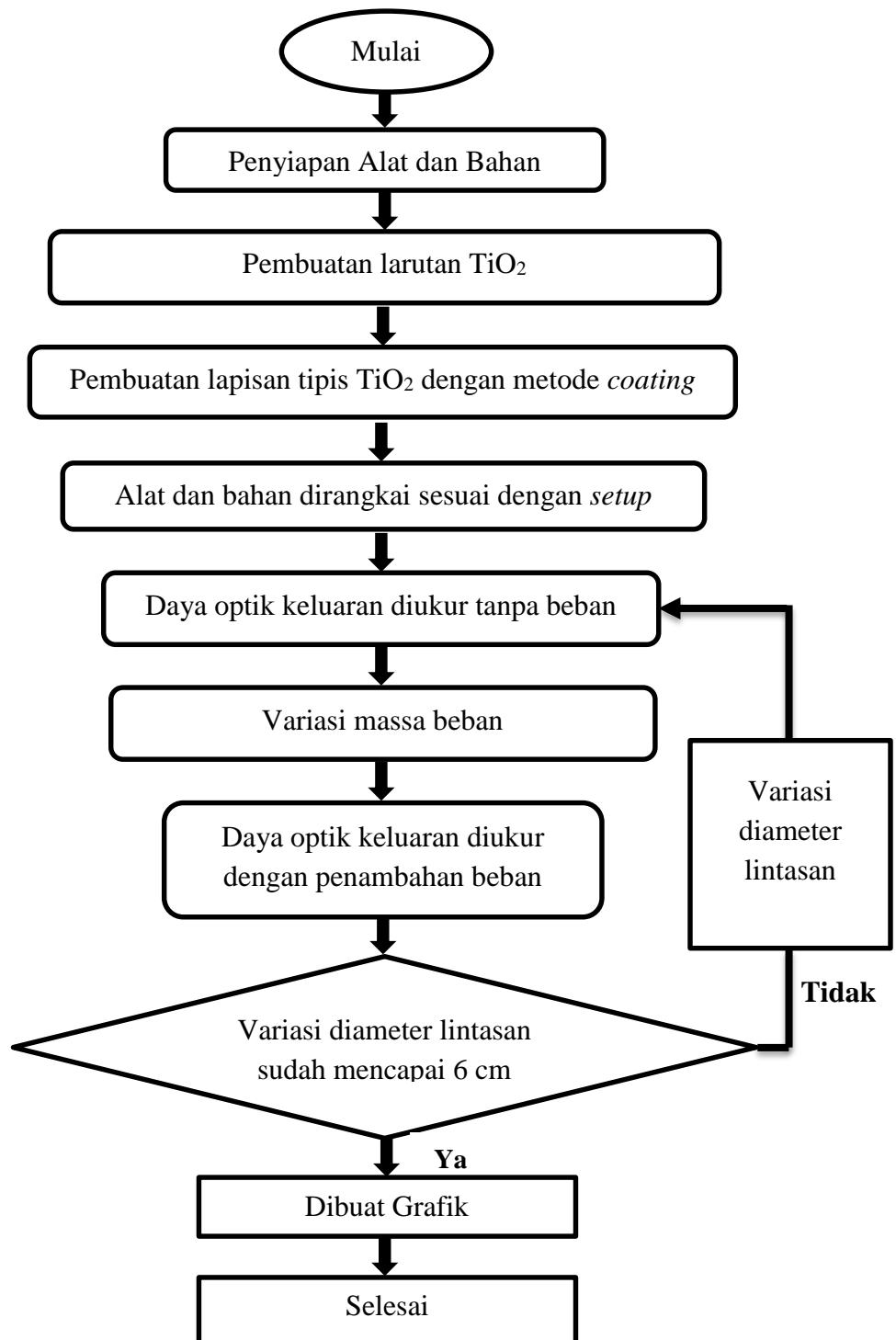
Gambar 16. Desain Penelitian POF dengan diameter lintasan 5 cm

- 3) Diameter lintasan 6 cm



Gambar 17. Desain Penelitian POF dengan diameter lintasan 6 cm

2. *Flow Chart*



Sebelum memulai penelitian, peneliti menyiapkan alat dan bahan.

Kemudian memulai untuk merangkai alat dan bahan sesuai dengan *setup*.

Selanjutnya mengukur daya optik keluaran yang diterima oleh OPM baik setelah diperoleh data daya optik keluaran tanpa pemberian massa beban, dilanjutkan menimbang pasir sebesar 200 gram sampai 1000 gram dengan kelipatan 50 gram setiap penambahan. Kemudian meletakkan pasir yang telah ditimbang di atas sensor beban POF. Selanjutnya mencatat kembali hasil daya optik keluaran yang diterima oleh OPM. Langkah tersebut dilakukan dengan memvariasi perlakuan terhadap *buffer* dari serat optik, dimana *buffer* tersebut dibiarkan utuh dan sebagian telah *dicoating* dengan nanopartikel TiO₂. Langkah selanjutnya yaitu mengulangi semua langkah dengan memvariasi diameter lintasan POF dengan variasi diameter 4 cm, 5 cm dan 6 cm. Kemudian data yang diperoleh dibuat grafik.

F. Prosedur Penelitian

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

1. Memotong POF sepanjang 1,5 meter, kemudian diampelas ujung-ujungnya supaya permukaannya rata.
2. Mengelupas *buffer* POF sepanjang 75 cm pada bagian tengah.
3. Menimbang massa beban yang akan digunakan sebagai variabel bebas penelitian.
4. Memotong triplek yang digunakan sebagai penampang atas dan penampang bawah.
5. Membuat larutan nanopartikel TiO₂ dengan molaritas 5 mM sebagai bahan pelapis *cladding* dengan langkah sebagai berikut:
 - a. Menimbang massa TiO₂ 0,2 gram.

- b. Melarutkan TiO_2 dengan aquades 500 ml.
 - c. Merebus larutan tersebut hingga suhu $85^\circ C$ kemudian diangkat dan siap digunakan untuk proses pembentukan lapisan tipis TiO_2 .
6. Melakukan proses pelapisan TiO_2 pada *cladding* dengan metode *coating* pada kabel POF yang telah dikupas *buffernya* dengan langkah sebagai berikut:
 - a. Merendam kabel yang dikupas dengan larutan nanopartikel TiO_2 5 ml lebih kurang 50 ml pada gelas *beaker*.
 - b. Mengoven *beaker* pada suhu tetap $100^\circ C$ selama (45 – 60) menit atau sampai larutan menguap dan POF terlapisi nanopartikel TiO_2 .
7. Membentuk lintasan POF melingkar dengan diameter 4 cm sebanyak 3 lingkaran yang diletakkan berdiri diantara penampang atas dan penampang bawah.
8. Salah satu ujung serat optik disambungkan pada laser Helium-Neon dan satu ujung yang lain disambungkan pada OPM.
9. Mengukur intensitas keluaran POF sebelum diberi beban dan setelah diberi beban dengan menggunakan OPM, kemudian mencatatnya.
10. Pengukuran intensitas keluaran POF selanjutnya dengan mengganti diameter lintasan POF yang berbeda kemudian mengulangi langkah 7 - 9.
11. Mengulangi langkah 7 sampai 10 pada sensor beban POF murni atau tidak dikupas *buffernya*.

G. Teknik Analisis Data

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

1. *Output* POF dideteksi menggunakan OPM.
2. Intensitas cahaya keluaran yang diterima oleh OPM dicatat setiap adanya penambahan massa.
3. Informasi nilai indeks bias yang dimiliki *core* dan *cladding* dari serat optik, digunakan untuk menghitung *Numerical Aperture* (NA), sudut penerimaan, sudut datang, dan sudut kritis FO.
4. Semua perhitungan dalam analisis data dilakukan menggunakan *Microsoft Excel*.
5. Membuat grafik hubungan antara massa (gram) dan intensitas keluaran pada setiap variasi FO dengan menggunakan *Origin 6.1*.
6. *Pemfittingan* polinomial pada grafik yang diperoleh untuk mengetahui sensitivitas yang bergantung pada nilai B_2 untuk setiap variasi FO.

BAB IV

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Dalam penelitian ini jenis serat optik yang digunakan yaitu *Polymer Optical Fiber* (POF) tipe SH-4001-1.3. Pada bab ini akan diuraikan hasil penelitian yang sudah dilakukan yang kemudian dibahas dengan mengacu pada hasil analisis data yang telah diperoleh dan memberikan interpretasi terhadap kecenderungan grafik yang muncul setelah data dianalisis.

A. Karakteristik Perambatan Cahaya pada POF Tipe SH.4001-1.3

Proses perambatan cahaya dimulai dari penentuan nilai *numerical aperture* (NA). Nilai NA dari sebuah serat optik berguna untuk mengetahui parameter yang mengukur kemampuan POF 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.

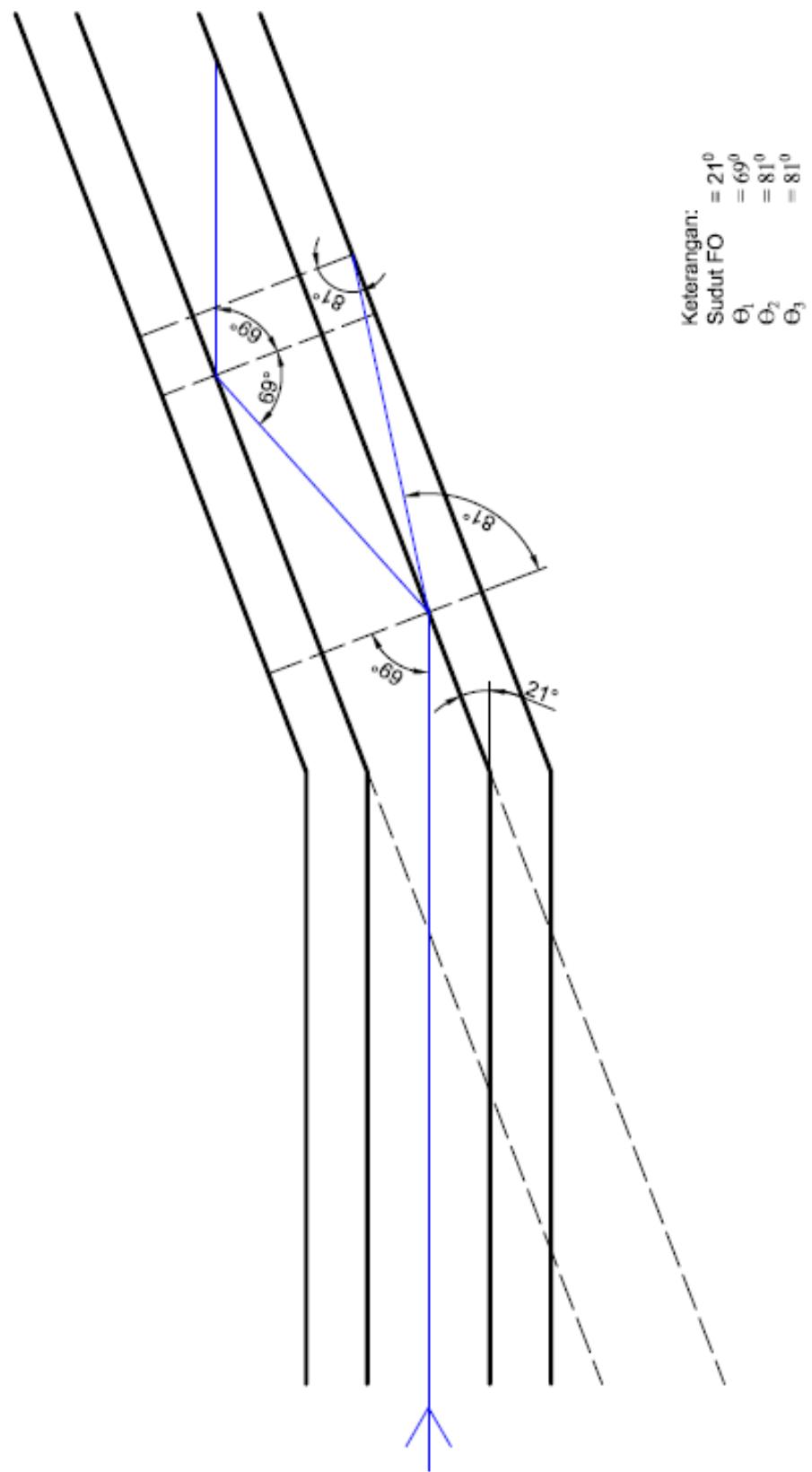
Karena sudut penerimaan juga mengindikasikan kisaran nilai sudut datang untuk sebuah cahaya yang masuk ke dalam serat optik yang masih memungkinkan untuk dapat merambat di dalam inti hingga mencapai ujung *output*, maka seharusnya terdapat hubungan yang erat antara NA dan sudut penerimaan. Karena sudut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

Setelah sudut penerimaan diperoleh, maka dengan menggunakan persamaan (3) sudut datang pun dapat diperoleh. Sudut datang yang diperoleh sebesar 18,87°. Nilai sudut datang ini dapat memantulkan kembali cahaya ke dalam *core* (medium

pertama) saat serat optik berada pada keadaan lurus dan pemantulan dari lengkungan 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 $71,14^\circ$. Karena sudut datang lebih besar daripada sudut kritis maka cahaya akan dipantulkan kembali oleh bidang perbatasan ke dalam medium pertama (*core*).

Gambar 18 merupakan pembuktian hasil perhitungan di atas dengan mengukur serta menghitung jalannya sinar yang melewati POF pada bagian yang mengalami lekukan serta mempertimbangkan sudut kritis yang mendekati perhitungan.



Gambar 18. Proses jalannya sinar pada POF dengan sudut 21°

Besar sudut datang yang diperoleh dari POF dengan lekukan 21° sebesar θ_1 yaitu 69° , dimana nilai tersebut lebih kecil dari sudut kritis perhitungan maka cahaya mengalami pembiasan sebesar θ_2 . Besar nilai θ_2 dapat dihitung dengan persamaan hukum Snellius (persamaan 3) sebagai berikut:

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

$$1,49 \sin 69^\circ = 1,41 \sin \theta_2$$

$$\theta_2 = 80,59206356^\circ$$

$$\theta_2 = 81^\circ$$

Dari nilai θ_2 dapat ditarik garis normal untuk mengetahui nilai θ_3 sebesar 81° . Karena indeks bias *cladding* lebih kecil dari indeks bias lapisan TiO_2 , maka cahaya mengalami pembiasan pada medium 3 (medium di luar *cladding*) namun cahaya tersebut tidak mengalami pemantulan kembali. Disamping itu, perlu dihitung juga besar sudut yang terpantul, dimana sudut yang terpantul sebesar 69° yang sama dengan sudut datang awal. Karena sudut datang selalu lebih kecil dari sudut kritis, maka cahaya mengalami pembiasan yang mengakibatkan pelemahan intensitas cahaya yang diterima oleh *detector*.

Pemantulan gelombang (refleksi) terjadi pada saat gelombang cahaya yang merambat di dalam inti sampai di bidang batas antara inti dan *cladding*. Koefisien refleksi (R) adalah perbandingan intensitas cahaya yang dipantulkan dibandingkan intensitas cahaya yang datang pada bidang perbatasan. Nilai koefisien refleksi dipakai untuk mengetahui persentasi intensitas cahaya yang dipantulkan masuk ke dalam inti, kemudian cahaya hasil pemantulan tersebut mengalami perambatan kembali pada inti fiber optik dan sampai pada bidang perbatasan *core-cladding*

sehingga mengalami pemantulan dan pembiasan kembali, dan begitu seterusnya hingga cahaya sampai pada ujung fiber optik. Berikut merupakan perhitungan koefisien refleksi untuk setiap batas medium:

a. *Core : Cladding*

$$\begin{aligned}
 R_{\perp} &= \left[\frac{(n_1 \cos \theta_1 - \sqrt{n_2^2 \sin \theta_1})^2}{(n_1 \cos \theta_1 + \sqrt{n_2^2 \sin \theta_1})^2} \right]^2 \\
 &= \left[\frac{(1,49 \cos 69^\circ - \sqrt{1,41^2 \sin 69^\circ})^2}{(1,49 \cos 69^\circ + \sqrt{1,41^2 \sin 69^\circ})^2} \right]^2 \\
 &= \left[\frac{(0,533968244 - 0,290760906)^2}{(0,533968244 + 0,290760906)^2} \right]^2 \\
 &= \left[\frac{0,059149809}{0,68017817} \right]^2 \\
 &= 7,562429073 \times 10^{-3} \\
 &= 0,76\%
 \end{aligned}$$

Koefisien pemantulan yang tegak lurus bidang gambar (medium 1 ke medium 2) R_{\perp} sebesar 0,76%.

$$\begin{aligned}
 R_{\parallel} &= \left[\frac{(n_2 \cos \theta_1 - \frac{n_1}{n_2} \sqrt{n_2^2 - n_1^2 \sin \theta_1})^2}{(n_2 \cos \theta_1 + \frac{n_1}{n_2} \sqrt{n_2^2 - n_1^2 \sin \theta_1})^2} \right]^2 \\
 &= \left[\frac{(1,41 \cos 69^\circ - \frac{1,49}{1,41} \sqrt{1,41^2 - 1,49^2 \sin 69^\circ})^2}{(1,41 \cos 69^\circ + \frac{1,49}{1,41} \sqrt{1,41^2 - 1,49^2 \sin 69^\circ})^2} \right]^2 \\
 &= \left[\frac{(0,505298808 - (1,056737589 \times 0,290760906))^2}{(0,505298808 + (1,056737589 \times 0,290760906))^2} \right]^2
 \end{aligned}$$

$$= \left[\frac{(0,198040829)^2}{(0,812556786)^2} \right]^2$$

$$= \left[\frac{0,03922017}{0,660248531} \right]^2$$

$$= 3,5286 \times 10^{-3}$$

$$= 0,35\%$$

Koefisien pemantulan yang sejajar bidang gambar (medium 1 ke medium 2) R_{\parallel} sebesar 0,35%.

b. *Cladding* : TiO₂

Cahaya yang mengenai bidang batas antara *cladding* dan TiO₂ diukur dengan menggunakan busur sehingga dapat diketahui sudut datang cahaya (θ_3) pada bidang perbatasan tersebut sebesar 81°. Cahaya yang mengenai bidang batas antara *cladding* dan TiO₂ memiliki pemantulan sebesar:

$$\begin{aligned} R_{\perp} &= \left[\frac{(n_2 \cos \theta_3 - \sqrt{n_3^2 \sin \theta_3})^2}{(n_2 \cos \theta_3 + \sqrt{n_3^2 \sin \theta_3})^2} \right]^2 \\ &= \left[\frac{(1,49 \cos 81^\circ - \sqrt{2,7^2 \sin 81^\circ})^2}{(1,49 \cos 81^\circ + \sqrt{2,7^2 \sin 81^\circ})^2} \right]^2 \\ &= \left[\frac{(0,233087352 - 2,683327785)^2}{(0,233087352 + 2,683327785)^2} \right]^2 \\ &= \left[\frac{6,00367818}{8,505477251} \right]^2 \\ &= 0,498238672 \\ &= 49,82 \% \end{aligned}$$

Koefisien pemantulan yang tegak lurus bidang gambar (medium 1 ke medium 2)

R_{\perp} sebesar 49,82 %.

$$\begin{aligned}
 R_{\parallel} &= \left[\frac{(n_3 \cos \theta_3 - \frac{n_2}{n_3} \sqrt{n_3^2 - n_2^2 \sin \theta_3})^2}{(n_3 \cos \theta_3 + \frac{n_2}{n_3} \sqrt{n_3^2 - n_2^2 \sin \theta_3})^2} \right]^2 \\
 &= \left[\frac{(2,7 \cos 81^{\circ} - \frac{1,49}{2,7} \sqrt{2,7^2 - 1,41^2 \sin 81^{\circ}})^2}{(2,7 \cos 81^{\circ} + \frac{1,49}{2,7} \sqrt{2,7^2 - 1,41^2 \sin 81^{\circ}})^2} \right]^2 \\
 &= \left[\frac{(0,422373055 - (0,551851851 \times 5,32637681))^2}{(0,422373055 + (0,551851851 \times 5,32637681))^2} \right]^2 \\
 &= \left[\frac{(6,33527816)^2}{(11,30132243)^2} \right]^2 \\
 &= \left[\frac{40,13574937}{127,7198887} \right]^2 \\
 &= 0,314248233 \\
 &= 31,42\%
 \end{aligned}$$

Koefisien pemantulan yang sejajar bidang gambar (medium 1 ke medium 2) R_{\parallel}

sebesar 31,42%.

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

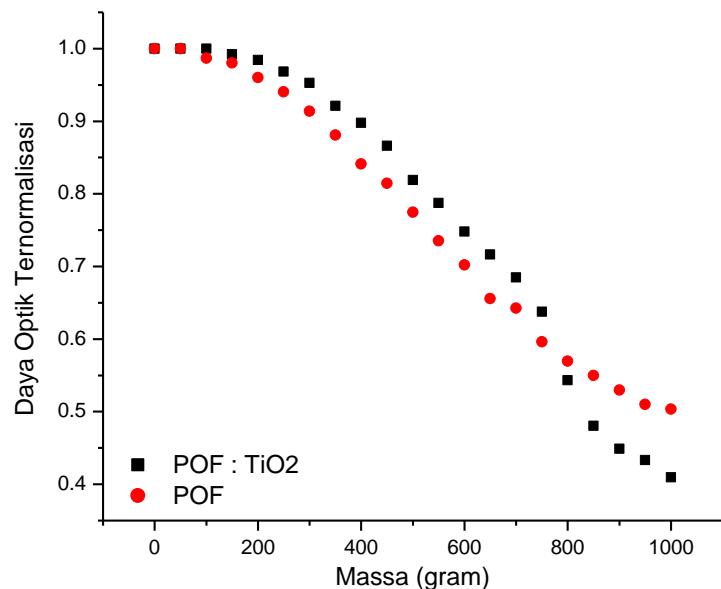
B. Hasil Penelitian

Pada penelitian ini cahaya dari laser He-Ne ditransmisikan ke dalam serat optik yang keluarannya diterima oleh OPM dengan satuan dBm. Hasil keluaran yang diperoleh diolah untuk mendapatkan data daya optik ternormalisasi sesuai analisis yang terlampir.

1. Hasil Pengukuran Massa Beban Terhadap Daya Optik Keluaran dengan Variasi Diameter Lintasan POF

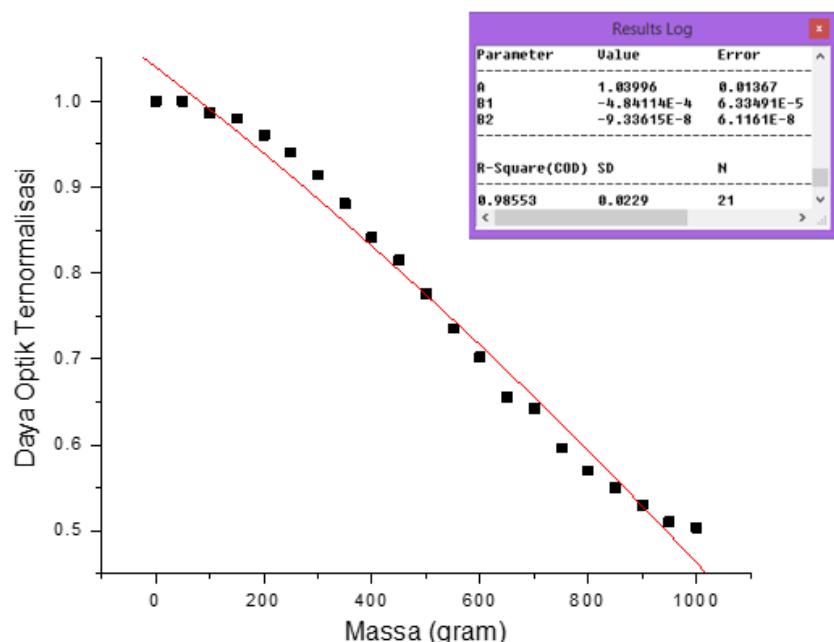
Sub-bab ini menjelaskan hasil pengukuran POF yang dibentuk melingkar yang dilapisi nanopartikel TiO_2 pada bagian *cladding* maupun yang murni. Berdasarkan penelitian diperoleh hasil sebagai berikut:

- Grafik hubungan massa beban terhadap daya optik ternormalisasi pada lintasan POF berdiameter 4 cm



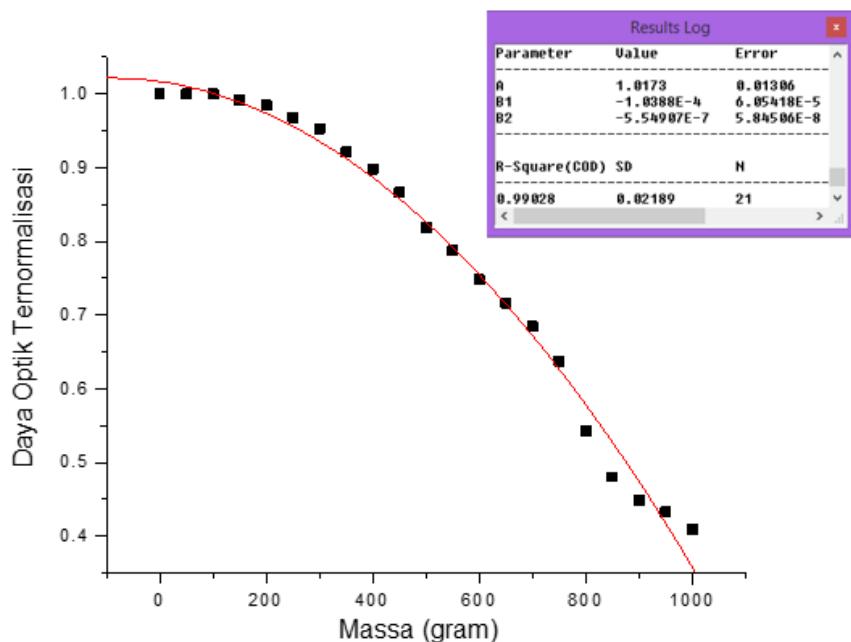
Gambar 19. Hubungan perubahan massa terhadap daya optik ternormalisasi pada POF dan POF : TiO_2 dengan lintasan berdiameter 4 cm

Gambar 19 menunjukkan adanya penurunan daya optik keluaran yang terdeteksi oleh OPM saat lintasan POF berdiameter 4 cm. POF memiliki kecenderungan respon yang kecil ketika penambahan massa 0 sampai 200 gram yaitu sebesar (0,01 – 0,05) dBm dengan rata-rata nilai daya optik keluaran sebesar 0,14 dBm untuk setiap penambahan massa beban. Hal tersebut terjadi karena terdapatnya *buffer* pada POF yang berfungsi sebagai pelindung POF dari lekukan ataupun retakan. Penambahan massa beban juga mempengaruhi lekukan pada lintasan dimana semakin bertambahnya massa beban maka POF semakin pipih yang mengakibatkan daya optik yang masuk *core* dari POF berkurang sehingga menurunkan daya optik keluaran yang terdeteksi oleh OPM. Hasil *plot* (lampiran 1) polinomial orde 2 pada POF berdiameter lintasan 4 cm diperoleh data sebagai berikut:



Gambar 20. Grafik hubungan perubahan massa terhadap daya optik ternormalisasi pada POF dengan lintasan berdiameter 4 cm

Perlakuan kedua yaitu POF berlapis nanopartikel TiO_2 pada bagian *cladding*-nya, dimana pada perlakuan ini *buffer* dari POF dikupas untuk dilakukan pelapisan atau *coating* dengan nanopartikel TiO_2 yang memiliki indeks bias 2,7 dimana indeks bias bahan tersebut lebih tinggi dari indeks bias *core* maupun *cladding* yang berfungsi sebagai penghambat cahaya mengalami pembiasan serta pemantulan pada medium sebelumnya. Perlakuan ini juga memiliki kecenderungan yang sama dengan perlakuan sebelumnya, dimana memiliki respon yang rendah ketika penambahan massa 0 sampai 200 gram yaitu sebesar $(0 - 0,03)$ dBm yang lebih kecil dari perlakuan sebelumnya (POF $d = 4$ cm). Rata-rata nilai daya optik keluaran sebesar 0,19 dBm untuk setiap penambahan massa jauh lebih besar dari perlakuan sebelumnya (POF $d = 4$ cm). Hal tersebut tentu mempengaruhi nilai sensitivitas yang ditunjukkan pada grafik dari data (lampiran 4) yang telah di-*plot* sebagai berikut:



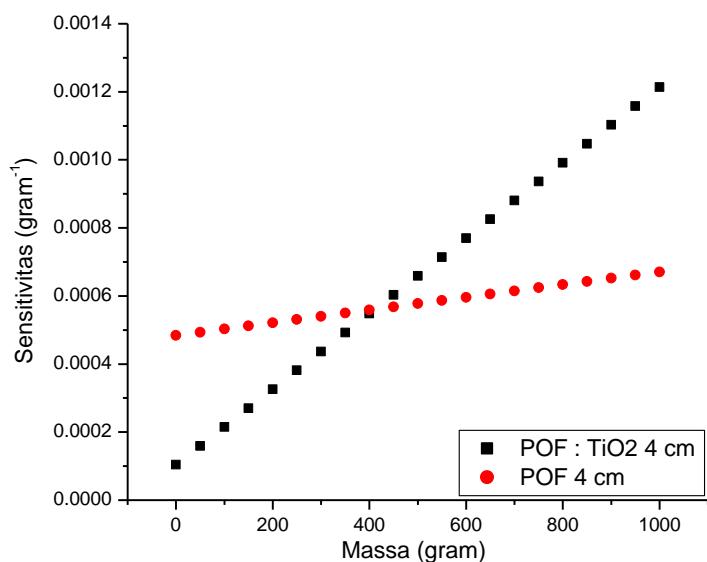
Gambar 21. Grafik hubungan perubahan massa terhadap daya optik ternormalisasi pada POF : TiO_2 dengan lintasan berdiameter 4 cm

Gambar 20 dan Gambar 21 merupakan hasil *plot* polinomial orde-2 dari data (lampiran 1 dan lampiran 4) hubungan massa dengan daya optik ternormalisasi. Sensitivitas dari hasil *plot* polinomial dapat dihitung di masing-masing titik perubahan dengan penurunan x (massa) pada persamaan kuadratik sebagai berikut:

$$y = A + B_1x + B_2x^2 \quad (11)$$

$$y' = B_1 + 2B_2x \quad (12)$$

y' merupakan nilai sensitivitas untuk masing-masing titik data yang mengacu pada informasi nilai B_1 dan B_2 dalam *plot* polinomial orde 2 di atas. Besar sensitivitas kedua grafik dibandingkan dengan *plot* data sensitivitas masing-masing titik terhadap massa. Berikut merupakan grafik hubungan massa terhadap sensitivitas pada diameter 4 cm untuk kedua perlakuan (POF dan POF : TiO₂):

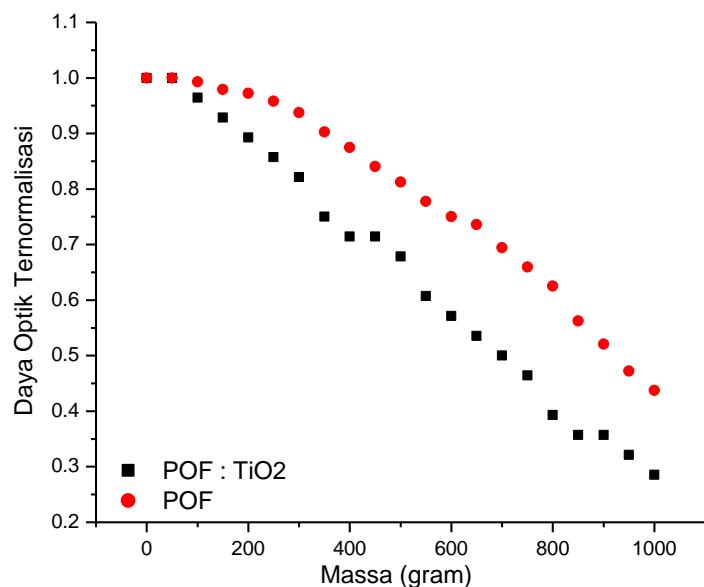


Gambar 22. Grafik hubungan perubahan massa terhadap sensitivitas pada POF dengan lintasan berdiameter 4 cm

Gambar 22 menunjukkan bahwa sensitivitas POF berlapis TiO_2 lebih besar dari POF yang murni. Range terbaik sensitivitas sensor POF berlapis TiO_2 pada perubahan massa (450 – 1000) gram.

b. Grafik hubungan massa beban terhadap daya optik ternormalisasi pada lintasan POF berdiameter 5 cm

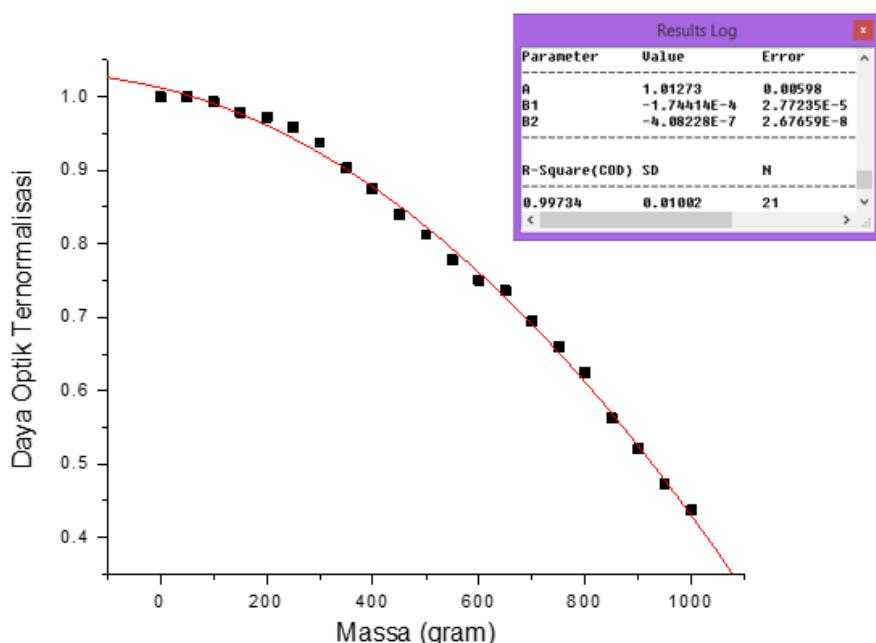
Percobaan kedua yaitu membentuk lintasan POF berdiameter 5 cm dengan jumlah tetap 3 lintasan melingkar. Langkah percobaan yang dilakukan sama dengan percobaan pertama, perbedaannya hanya pada diameter lintasan yang melingkar. Berikut merupakan grafik hasil *plot* data untuk kedua perlakuan (POF dan berlapis nanopartikel TiO_2 pada bagian *cladding*-nya):



Gambar 23. Hubungan perubahan massa terhadap daya optik ternormalisasi pada POF dan POF : TiO_2 dengan lintasan berdiameter 5 cm

Gambar 23 menunjukkan adanya penurunan daya optik keluaran yang terdeteksi oleh OPM saat lintasan POF berdiameter 5 cm. POF memiliki

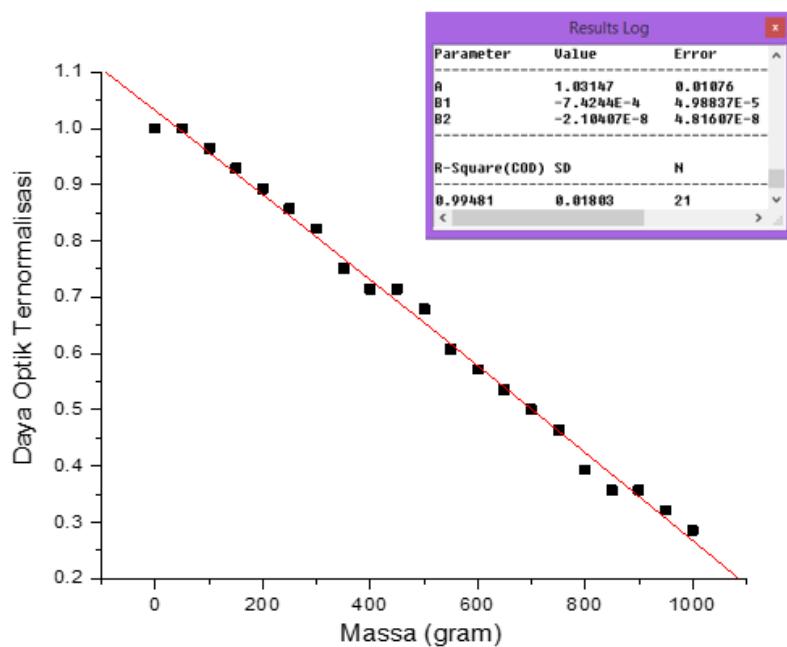
kecenderungan respon yang rendah ketika penambahan massa 0 sampai 200 gram yaitu sebesar (0,02 – 0,05) dBm dengan rata-rata nilai daya optik keluaran sebesar 0,17 dBm untuk setiap penambahan massa beban. Nilai tersebut lebih besar daripada POF dengan lintasan berdiameter 4 cm yang berarti penambahan diameter berpengaruh terhadap pelemahan daya yang terjadi sehingga daya optik keluaran semakin melemah. Dari hasil *plot* polinomial data (lampiran 2) POF diperoleh grafik sebagai berikut:



Gambar 24. Grafik hubungan perubahan massa terhadap daya optik ternormalisasi pada POF dengan lintasan berdiameter 5 cm

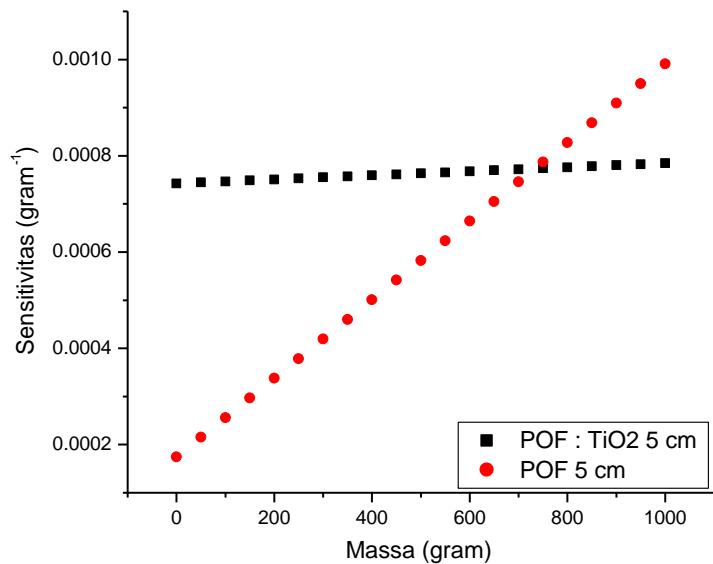
Perlakuan kedua yaitu POF berlapis nanopartikel TiO_2 pada bagian *cladding*-nya, dimana pada perlakuan ini sama dengan perlakuan pada POF berlapis nanopartikel TiO_2 pada bagian *cladding*-nya pada lintasan berdiameter 4 cm. Perlakuan ini bisa dikatakan baik karena setiap ada perubahan massa beban, sensor memberikan respon yang baik daripada perlakuan sebelumnya. Perubahan sudah terlihat dari penambahan beban massa 50 gram yaitu 0,02 dBm dan terjadi

penambahan yang signifikan 0,13 dBm pada penambahan beban 100 gram dan seterusnya. Rata-rata daya optik keluaran sebesar 0,26 dBm, nilai tersebut lebih besar dari POF dengan lintasan berdiameter 5 cm serta POF berlapis nanopartikel TiO_2 pada bagian *cladding*-nya pada lintasan berdiameter 4 cm. Hal ini membuktikan bahwa penambahan diameter serta pelapisan POF dengan nanopartikel TiO_2 pada bagian *cladding*-nya mempengaruhi sensitivitas dari sensor beban POF. Besar nilai sensitivitas bergantung pada nilai B_1 dan B_2 yang diperoleh dari grafik berikut berdasarkan data (lampiran 5) yang di-*plot* polinomial orde-2:



Gambar 25. Grafik hubungan perubahan massa terhadap daya optik ternormalisasi pada POF : TiO_2 dengan lintasan berdiameter 5 cm

Gambar 24 dan Gambar 25 merupakan hasil *plot* polinomial dari data (lampiran 2 dan lampiran 5) hubungan massa dengan daya optik ternormalisasi. Besar nilai sensitivitas untuk setiap titik dapat ditentukan dengan persamaan (12). Berikut merupakan grafik hubungan massa terhadap sensitivitas pada diameter 5 cm untuk kedua perlakuan (POF dan POF : TiO_2):

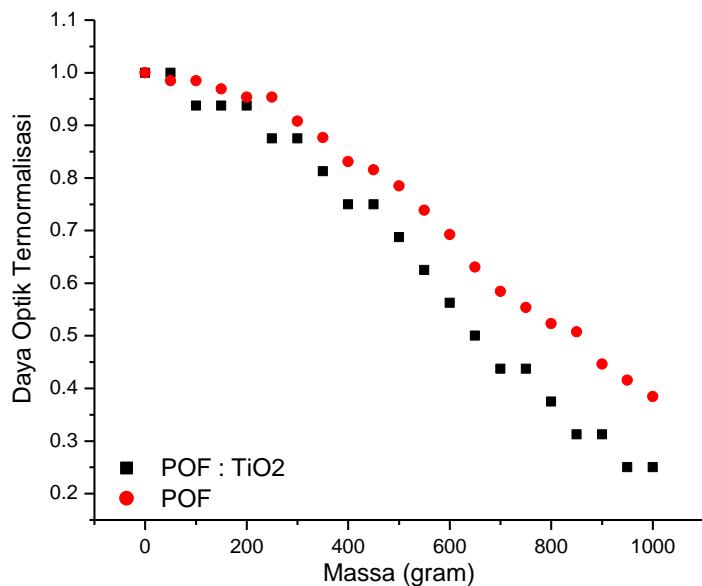


Gambar 26. Grafik hubungan perubahan massa terhadap sensitivitas pada POF dengan lintasan berdiameter 5 cm

Gambar 26 menunjukkan bahwa range terbaik sensitivitas sensor POF berlapis TiO₂ dengan lintasan berdiameter 5 cm pada perubahan massa (0 - 750) gram.

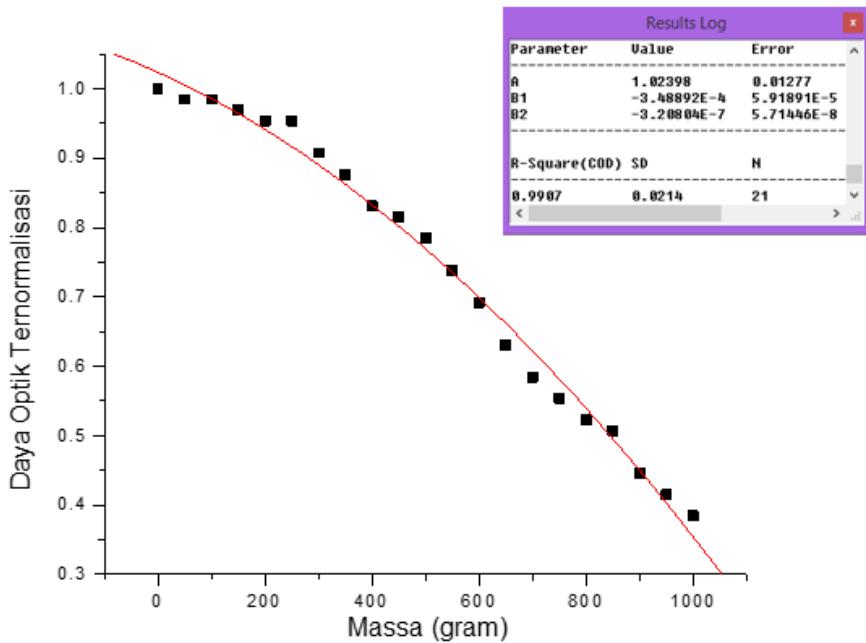
- c. Grafik hubungan massa beban terhadap daya optik ternormalisasi pada lintasan POF berdiameter 6 cm

Percobaan ketiga yaitu membentuk lintasan POF berdiameter 6 cm dengan jumlah tetap 3 lintasan melingkar. Langkah percobaan yang dilakukan sama dengan percobaan sebelumnya, perbedaannya hanya pada diameter lintasan. Berikut merupakan grafik hasil *plot* data untuk kedua perlakuan (POF dan berlapis nanopartikel TiO₂ pada bagian *cladding*-nya):



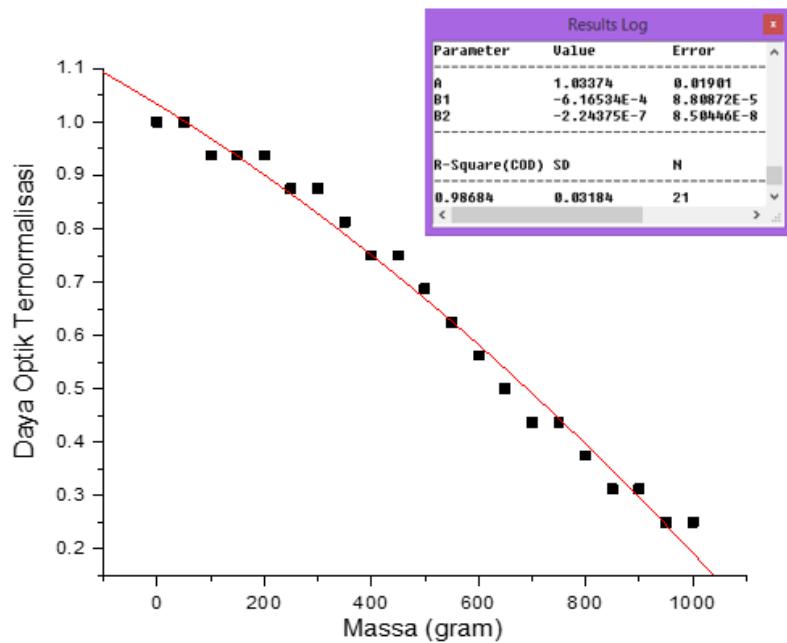
Gambar 27. Hubungan perubahan massa terhadap daya optik ternormalisasi pada POF dan POF : TiO₂ dengan lintasan berdiameter 6 cm

Gambar 27 menunjukkan adanya penurunan daya optik keluaran yang terdeteksi oleh OPM saat lintasan POF berdiameter 6 cm. POF memiliki respon yang baik mulai dari awal penambahan beban yaitu sebesar 0,05 dBm pada penambahan massa 50 gram dan sebesar 0,03 dBm pada penambahan massa 100 gram. Rata-rata nilai daya optik keluaran sebesar 0,19 dBm setiap penambahan massa beban. Nilai tersebut lebih besar daripada POF dengan lintasan berdiameter 4 cm dan 5 cm yang berarti penambahan diameter berpengaruh terhadap pelemahan daya yang terjadi sehingga p daya optik keluaran semakin melemah. Dari hasil *plot* polinomial orde 2 POF (lampiran 3) diperoleh data sebagai berikut:



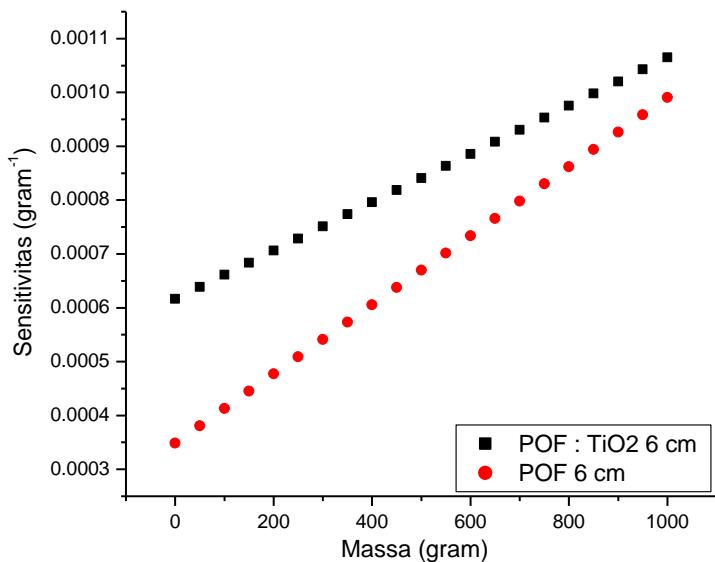
Gambar 28. Grafik hubungan perubahan massa terhadap daya optik ternormalisasi pada POF dengan lintasan berdiameter 6 cm

Perlakuan kedua yaitu POF berlapis nanopartikel TiO_2 pada bagian *cladding*-nya, dimana pada perlakuan ini sama dengan perlakuan pada POF berlapis nanopartikel TiO_2 pada bagian *cladding*-nya pada lintasan berdiameter 4 cm maupun 5 cm. Perlakuan ini bisa dikatakan baik karena setiap ada perubahan beban massa, sensor memberikan respon yang lebih baik dari perlakuan sebelumnya. Perubahan sudah terlihat dari penambahan beban massa 50 gram yaitu 0,12 dBm, 0,16 dBm pada penambahan beban 100 gram dan seterusnya. Rata-rata daya optik keluaran sebesar 0,29 dBm, nilai tersebut lebih besar dari POF dengan lintasan berdiameter 6 cm serta POF berlapis nanopartikel TiO_2 pada bagian *cladding*-nya pada lintasan berdiameter 5 cm. Dari hasil *plot* polinomial orde 2 POF : TiO_2 (lampiran 6) diperoleh data sebagai berikut:



Gambar 29. Grafik hubungan perubahan massa terhadap daya optik ternormalisasi pada POF : TiO₂ dengan lintasan berdiameter 6 cm

Gambar 28 dan Gambar 29 merupakan hasil *plot* polinomial dari data (lampiran 3 dan lampiran 6) hubungan massa dengan daya optik ternormalisasi. Besar nilai sensitivitas untuk setiap titik dapat ditentukan dengan persamaan (12). Berikut merupakan grafik hubungan massa terhadap sensitivitas pada diameter 6 cm untuk kedua perlakuan (POF dan POF : TiO₂):



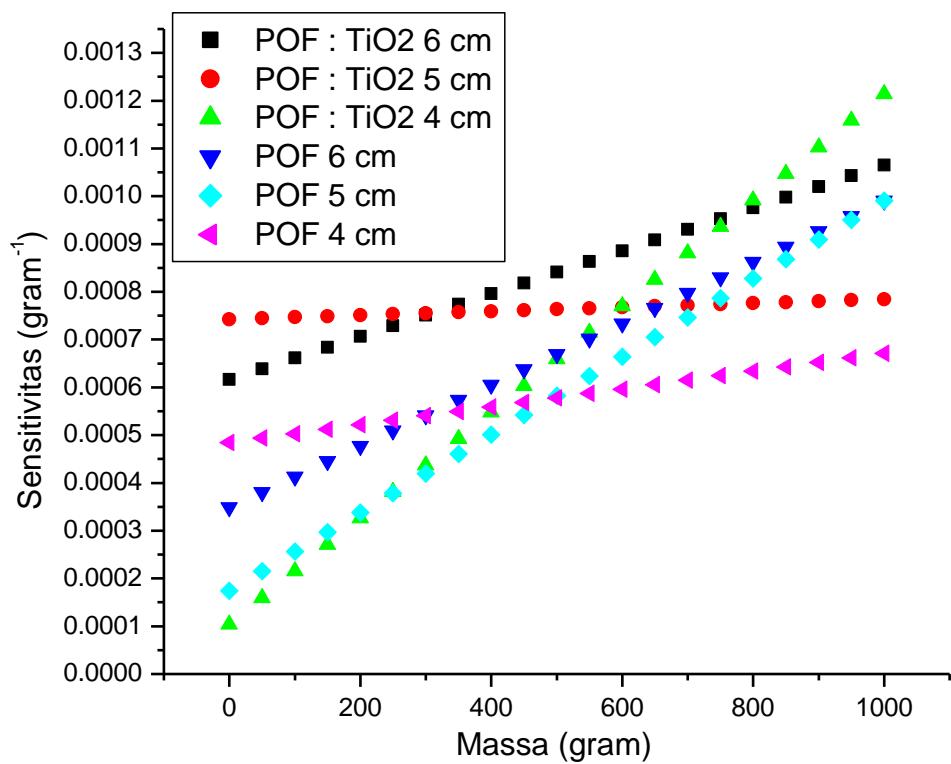
Gambar 30. Grafik hubungan perubahan massa terhadap sensitivitas pada POF dengan lintasan berdiameter 6 cm

Gambar 30 menunjukkan bahwa sensitivitas POF berlapis TiO_2 lebih besar dari POF yang murni. Range terbaik sensitivitas sensor POF berlapis TiO_2 pada perubahan massa (0 – 1000) gram.

2. Sensitivitas POF dengan Variasi Diameter Lintasan

Sensitivitas adalah ukuran perubahan dalam keluaran instrumen yang terjadi ketika kuantitas yang diukur berubah dengan jumlah tertentu atau kepekaan (respon) dalam menerima perubahan. Sensitivitas juga sering dinyatakan dengan bilangan yang menunjukkan perubahan keluaran dibandingkan unit perubahan masukan. Besar nilai sensitivitas dari masing-masing perlakuan diperoleh dari hasil *plot* polinomial data keluaran setiap penambahan massa yang ternormalisasi menggunakan aplikasi *Origin 6.1* dan diperoleh nilai sensitivitas (y') yang besar nilainya bergantung pada konstanta B_1 dan B_2 . Semakin besar nilai konstanta tersebut maka semakin besar pula nilai sensitivitasnya. Berikut merupakan grafik

nilai sensitivitas setiap titik perubahan massa untuk seluruh variasi diameter lintasan dan pelapisan:



Gambar 31. Grafik hubungan perubahan massa terhadap sensitivitas pada seluruh variasi diameter lintasan dan pelapisan POF

Gambar 31 menunjukkan bahwa nilai sensitivitas terbaik pada POF berlapis TiO₂ dengan diameter lintasan 6 cm pada range massa (350 - 750) gram.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan, dapat disimpulkan bahwa:

1. Semakin landai lekukan pada lintasan POF, maka sensitivitas sensor beban POF juga semakin tinggi.
2. Pelapisan nanopartikel TiO_2 pada bagian *cladding*-nya memperbesar pelemahan daya optik keluaran serta memiliki tingkat sensitivitas yang lebih tinggi dari yang murni.
3. Sensitivitas terbaik terjadi pada POF yang berlapis nanopartikel TiO_2 pada bagian *cladding*-nya dengan diameter lintasan 6 cm dan range massa (350 – 750) gram.

B. Saran

Beberapa saran untuk penelitian selanjutnya:

1. Memasang sedemikian rupa agar POF benar-benar menyatu pada sumber cahaya atau memastikan POF tidak geser saat pengambilan data.
2. Memastikan POF benar-benar dalam keadaan bersih dan tidak cacat atau retak.
3. Memvariasi konsentrasi TiO_2 untuk mendapatkan lapisan yang tepat.
4. Diameter lintasan lebih dari 6 cm untuk mendapatkan sensor yang lebih sensitif.

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.
- Akhirudin. 2007. *Pengembangan Sensor Untuk Teknik*, Fakultas Teknik Universitas Indonesia, Jakarta.
- Benkstein, K.D., Kopodakis, N., Lagemaat, J.V.D., Frank, A.J., 2003. *Influence of the Percolation Network Geometry on Electron Transport in Dye-Sensitized Titanium Dioxide Solar Cells* . *J. Phys. Chem. B*, Vol. 107, No. 31, pp 7759-7767.
- Byranvand, M.M., Kharat, A.N., Fatholahi, L., Beiranvand, Z.M., 2013. *A Review on Synthesis of Nano-TiO₂ via Different Methods*. JNS Vol 3, pp. 1-9.
- Crisp, John & Elliot, Barry. 2001. *Introduction to Fiber Optics 2nd edition*. Butterworth Heinemann. Oxford.
- Diebold, U., 2003. *The Surface Science Of Titanium Dioxsode*. Surface Science Reports, vol 48, hal 53-229.
- Fraden, J. 2010. *Handbook of Modern Sensor : Physics, Design Springer*.California.
- Keiser, Gerd. (1991). *Optical Fiber Communication 2nd Edition*. New Delhi: Mc Graw-Hill, pp. 20–33.
- Grätzel, M., 2003. *Dye-sensitized solar cells*. Journal of Photochemistry and Photobiology C: Photochemistry Reviews, vol 4, pp. 145–153.
- Horson, 2010. *Rugi-Rugi Pada Serat Optik Bermode Tunggal Dan Jamak Dengan Sebaran Indeks Bias Undakan Akibat Pelilitan Pada Silinder Secara Malar*. Tesis. Universitas Sebelas Maret, Surakarta.
- <http://ruby.colorado.edu/~smyth/min/tio2.htm>. Diunduh pada 21 April 2018
- https://www.chemours.com/Titanium.../en_US/.../Ti-Pure-for-coatings-overview.pdf. Diunduh pada 21 April 2018.
- Jasenek, Josef. 2006. *The Theory and Application Of The Fiber Optik Sensor With Spread Parameter*. Journal Sensors No. 10063-CP-1-2000-1-PT-ERASMUS-ETNE.
- Malla R.B. et al. 2008. *A special Fiber Optik For Measuring Wheel Loads of Vehicles on Highways*. Diakses dari mpdl.com/journal/sensors.

- Morris. 2001. *Measurement and Instrumentation Principles 3rd edition*. Butterworth Heinemann. Oxford.
- Narayan, M.R., 2011. *Dye Sensitized Solar Cells Based on Natural Photosensitizers*. Renewable and Sustainable Energy Reviews vol.16, issue 1, pp. 208-215.
- Schermer, R. T. dan J. H. Cole. 2007. *Improved Bend Loss Formula Verified for Optical Fiber by Simulation and Experiment*. IEEE Journal of Quantum Electronics, vol. 43.
- Sharon, D., William, D. C. 1982. *Sensor and Tranducer*. Jurnal <http://journal.mercubuana.ac.id/data/Sensor%20&%Tranduser.pdf>.
- Timuda, G.E., 2010. *Sintesis Partikel Nanokristalline TiO₂ untuk Aplikasi Sel Surya Menggunakan Metode Sonokimia*. Prosiding pertemuan ilmiah XXIV HFI jateng dan DIY, hal 104-109.
- Triyono, Gandung. 2011. *Pertimbangan Melakukan Denormalisasi Pada Model Basis Data Relasi*. Fakultas Teknologi Informasi Universitas Budi Luhur.Jurnal TELEMATIKA MKOM, Vol.3 No.2 ISSN 2085-725X.
- Xingou and Ma, Bin, Zou. 2010. *Study of Vehicle Weight-In-motion System Based on Fiber-optik Microbend Sensor*. International Conference on Intelligent Computation Technology and Automation.

LAMPIRAN

Lampiran 1. Tabel data hasil pengukuran daya optik keluaran pada POF dengan lintasan berdiameter 4 cm

Data akhir yang digunakan merupakan hasil daya optik (P) ternormalisasi yang nilai daya (P)-nya dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

$$dBm = 10 \log \frac{P}{1 \text{ mW}}$$

dari persamaan tersebut dapat diketahui daya (P) untuk setiap perubahan beban massa.

Nilai sensitivitas (gram^{-1}) bergantung pada nilai B_1 dan B_2 yang didapat dari hasil plot polinomial orde-2 data P ternormalisasi sebagai berikut:

$$B_1 = (4,84 \pm 0,63) \times 10^{-4}$$

$$B_2 = (9,34 \pm 6,12) \times 10^{-8}$$

Massa (gr)	DO1	DO2	DO3	DO (dBm)	P (dBm)	P Ternormalisasi	Sensitivitas (gram^{-1})
0	-18.15	-18.23	-18.25	-18.2100	0.0151	1.0000	0.00048411
50	-18.16	-18.24	-18.26	-18.2200	0.0151	1.0000	0.00049345
100	-18.19	-18.28	-18.31	-18.2611	0.0149	0.9868	0.00050279
150	-18.25	-18.33	-18.35	-18.3100	0.0148	0.9801	0.00051212
200	-18.33	-18.41	-18.43	-18.3889	0.0145	0.9603	0.00052146
250	-18.42	-18.51	-18.53	-18.4867	0.0142	0.9404	0.00053079
300	-18.55	-18.63	-18.66	-18.6133	0.0138	0.9139	0.00054013
350	-18.69	-18.77	-18.79	-18.7489	0.0133	0.8808	0.00054947
400	-18.91	-18.99	-19.01	-18.9711	0.0127	0.8411	0.00055880
450	-19.05	-19.13	-19.15	-19.1100	0.0123	0.8146	0.00056814
500	-19.25	-19.34	-19.36	-19.3178	0.0117	0.7748	0.00057748
550	-19.46	-19.55	-19.58	-19.5300	0.0111	0.7351	0.00058681
600	-19.68	-19.77	-19.80	-19.7489	0.0106	0.7020	0.00059615
650	-19.99	-20.07	-20.10	-20.0511	0.0099	0.6556	0.00060548
700	-20.08	-20.17	-20.19	-20.1467	0.0097	0.6424	0.00061482
750	-20.41	-20.50	-20.52	-20.4778	0.0090	0.5960	0.00062416
800	-20.61	-20.69	-20.70	-20.6667	0.0086	0.5695	0.00063349
850	-20.74	-20.83	-20.85	-20.8078	0.0083	0.5497	0.00064283
900	-20.92	-21.01	-21.03	-20.9856	0.0080	0.5298	0.00065216
950	-21.06	-21.14	-21.16	-21.1189	0.0077	0.5099	0.00066150
1000	-21.15	-21.24	-21.27	-21.2189	0.0076	0.5033	0.00067084

Lampiran 2. Tabel data hasil pengukuran daya optik keluaran pada POF dengan lintasan berdiameter 5 cm

Nilai sensitivitas (gram⁻¹) bergantung pada nilai B_1 dan B_2 yang didapat dari hasil plot polinomial orde-2 data P ternormalisasi sebagai berikut:

$$B_1 = (1,74 \pm 0,28) \times 10^{-5}$$

$$B_2 = (4,08 \pm 0,27) \times 10^{-7}$$

Massa (gr)	DO1	DO2	DO3	DO (dBm)	P (dBm)	P Ternormalisasi	Sensitivitas (gram ⁻¹)
0	-18.34	-18.39	-18.50	-18.4100	0.0144	1.0000	0.00017441
50	-18.36	-18.41	-18.52	-18.4311	0.0144	1.0000	0.00021524
100	-18.38	-18.43	-18.54	-18.4489	0.0143	0.9931	0.00025606
150	-18.43	-18.48	-18.59	-18.5000	0.0141	0.9792	0.00029688
200	-18.45	-18.51	-18.62	-18.5267	0.0140	0.9722	0.00033771
250	-18.54	-18.59	-18.70	-18.6100	0.0138	0.9583	0.00037853
300	-18.63	-18.68	-18.79	-18.7011	0.0135	0.9375	0.00041935
350	-18.79	-18.85	-18.96	-18.8656	0.0130	0.9028	0.00046017
400	-18.90	-18.96	-19.08	-18.9800	0.0126	0.8750	0.00050100
450	-19.08	-19.14	-19.25	-19.1567	0.0121	0.8403	0.00054182
500	-19.25	-19.30	-19.42	-19.3244	0.0117	0.8125	0.00058264
550	-19.45	-19.50	-19.62	-19.5244	0.0112	0.7778	0.00062346
600	-19.58	-19.63	-19.74	-19.6489	0.0108	0.7500	0.00066429
650	-19.69	-19.74	-19.85	-19.7600	0.0106	0.7361	0.00070511
700	-19.91	-19.97	-20.08	-19.9867	0.0100	0.6944	0.00074593
750	-20.14	-20.20	-20.32	-20.2200	0.0095	0.6597	0.00078676
800	-20.41	-20.46	-20.57	-20.4800	0.0090	0.6250	0.00082758
850	-20.83	-20.87	-20.99	-20.8967	0.0081	0.5625	0.00086840
900	-21.16	-21.22	-21.34	-21.2389	0.0075	0.5208	0.00090922
950	-21.62	-21.66	-21.78	-21.6867	0.0068	0.4722	0.00095005
1000	-21.92	-21.98	-22.09	-21.9978	0.0063	0.4375	0.00099087

Lampiran 3. Tabel data hasil pengukuran daya optik keluaran pada POF dengan lintasan berdiameter 6 cm

Nilai sensitivitas (gram^{-1}) bergantung pada nilai B_1 dan B_2 yang didapat dari hasil plot polinomial orde-2 data P ternormalisasi sebagai berikut:

$$B_1 = (3,49 \pm 0,59) \times 10^{-4}$$

$$B_2 = (3,21 \pm 0,57) \times 10^{-8}$$

Massa (gr)	DO1	DO2	DO3	DO (dBm)	P (dBm)	P Ternormalisasi	Sensitivitas (gram^{-1})
0	-21.78	-21.87	-22.00	-21.8833	0.0065	1.0000	0.00034889
50	-21.80	-21.88	-22.05	-21.9100	0.0064	0.9846	0.00038097
100	-21.86	-21.94	-22.08	-21.9600	0.0064	0.9846	0.00041305
150	-21.90	-21.98	-22.12	-22.0000	0.0063	0.9692	0.00044513
200	-21.94	-22.03	-22.16	-22.0433	0.0062	0.9538	0.00047721
250	-22.00	-22.09	-22.22	-22.1033	0.0062	0.9538	0.00050929
300	-22.18	-22.26	-22.40	-22.2811	0.0059	0.9077	0.00054137
350	-22.36	-22.45	-22.58	-22.4633	0.0057	0.8769	0.00057345
400	-22.54	-22.62	-22.76	-22.6411	0.0054	0.8308	0.00060554
450	-22.64	-22.72	-22.86	-22.7400	0.0053	0.8154	0.00063762
500	-22.85	-22.94	-23.08	-22.9567	0.0051	0.7846	0.00066970
550	-23.12	-23.21	-23.35	-23.2278	0.0048	0.7385	0.00070178
600	-23.36	-23.45	-23.58	-23.4633	0.0045	0.6923	0.00073386
650	-23.79	-23.89	-24.02	-23.9000	0.0041	0.6308	0.00076594
700	-24.07	-24.17	-24.30	-24.1789	0.0038	0.5846	0.00079802
750	-24.28	-24.37	-24.50	-24.3833	0.0036	0.5538	0.00083010
800	-24.55	-24.65	-24.78	-24.6611	0.0034	0.5231	0.00086218
850	-24.77	-24.84	-24.98	-24.8633	0.0033	0.5077	0.00089426
900	-25.22	-25.46	-25.50	-25.3933	0.0029	0.4462	0.00092634
950	-25.64	-25.72	-25.85	-25.7367	0.0027	0.4154	0.00095842
1000	-25.91	-26.00	-26.14	-26.0167	0.0025	0.3846	0.00099050

Lampiran 4. Tabel data hasil pengukuran daya optik keluaran pada POF berlapis TiO_2 pada bagian *cladding*-nya dengan lintasan berdiameter 4 cm

Nilai sensitivitas (gram^{-1}) bergantung pada nilai B_1 dan B_2 yang didapat dari hasil plot polinomial orde-2 data P ternormalisasi sebagai berikut:

$$B_1 = (1,04 \pm 0,60) \times 10^{-4}$$

$$B_2 = (5,55 \pm 0,58) \times 10^{-7}$$

Massa (gr)	DO1	DO2	DO3	DO (dBm)	P (dBm)	P Ternormalisasi	Sensitivitas (gram^{-1})
0	-18.75	-18.91	-19.23	-18.9633	0.0127	1.0000	0.00010388
50	-18.75	-18.92	-19.23	-18.9678	0.0127	1.0000	0.00015937
100	-18.76	-18.93	-19.24	-18.9767	0.0127	1.0000	0.00021486
150	-18.79	-18.96	-19.27	-19.0067	0.0126	0.9921	0.00027035
200	-18.84	-18.99	-19.30	-19.0433	0.0125	0.9843	0.00032584
250	-18.89	-19.05	-19.36	-19.1000	0.0123	0.9685	0.00038133
300	-18.95	-19.12	-19.44	-19.1700	0.0121	0.9528	0.00043682
350	-19.09	-19.25	-19.56	-19.3000	0.0117	0.9213	0.00049231
400	-19.21	-19.37	-19.68	-19.4189	0.0114	0.8976	0.00054781
450	-19.36	-19.52	-19.83	-19.5700	0.0110	0.8661	0.00060330
500	-19.60	-19.76	-20.07	-19.8100	0.0104	0.8189	0.00065879
550	-19.80	-19.97	-20.28	-20.0178	0.0100	0.7874	0.00071428
600	-19.99	-20.15	-20.47	-20.2033	0.0095	0.7480	0.00076977
650	-20.21	-20.37	-20.68	-20.4200	0.0091	0.7165	0.00082526
700	-20.38	-20.55	-20.87	-20.6011	0.0087	0.6850	0.00088075
750	-20.71	-20.88	-21.20	-20.9300	0.0081	0.6378	0.00093624
800	-21.41	-21.58	-21.90	-21.6300	0.0069	0.5433	0.00099173
850	-21.91	-22.08	-22.40	-22.1300	0.0061	0.4803	0.00104722
900	-22.20	-22.36	-22.67	-22.4111	0.0057	0.4488	0.00110271
950	-22.42	-22.57	-22.87	-22.6211	0.0055	0.4331	0.00115820
1000	-22.67	-22.83	-23.14	-22.8800	0.0052	0.4094	0.00121369

Lampiran 5. Tabel data hasil pengukuran daya optik keluaran pada POF berlapis TiO_2 pada bagian *cladding*-nya dengan lintasan berdiameter 5 cm

Nilai sensitivitas (gram^{-1}) bergantung pada nilai B_1 dan B_2 yang didapat dari hasil *plot* polinomial orde-2 data P ternormalisasi sebagai berikut:

$$B_1 = (7,42 \pm 0,49) \times 10^{-4}$$

$$B_2 = (2,10 \pm 4,82) \times 10^{-7}$$

Massa (gr)	DO1	DO2	DO3	DO (dBm)	P (dBm)	P Ternormalisasi	Sensitivitas (gram^{-1})
0	-25.27	-25.41	-25.88	-25.5200	0.0028	1.0000	0.00074244
50	-25.32	-25.46	-25.90	-25.5600	0.0028	1.0000	0.00074454
100	-25.43	-25.56	-26.03	-25.6717	0.0027	0.9643	0.00074665
150	-25.60	-25.74	-26.21	-25.8500	0.0026	0.9286	0.00074875
200	-25.71	-25.85	-26.33	-25.9633	0.0025	0.8929	0.00075086
250	-25.96	-26.10	-26.57	-26.2111	0.0024	0.8571	0.00075296
300	-26.04	-26.18	-26.65	-26.2900	0.0023	0.8214	0.00075506
350	-26.51	-26.65	-27.12	-26.7600	0.0021	0.7500	0.00075717
400	-26.67	-26.81	-27.30	-26.9267	0.0020	0.7143	0.00075927
450	-26.83	-26.98	-27.46	-27.0889	0.0020	0.7143	0.00076138
500	-27.06	-27.20	-27.69	-27.3178	0.0019	0.6786	0.00076348
550	-27.37	-27.52	-28.00	-27.6300	0.0017	0.6071	0.00076558
600	-27.71	-27.85	-28.33	-27.9633	0.0016	0.5714	0.00076769
650	-27.93	-28.07	-28.54	-28.1800	0.0015	0.5357	0.00076979
700	-28.25	-28.38	-28.85	-28.4917	0.0014	0.5000	0.00077190
750	-28.53	-28.68	-29.16	-28.7911	0.0013	0.4643	0.00077400
800	-29.31	-29.45	-29.92	-29.5600	0.0011	0.3929	0.00077611
850	-29.64	-29.76	-30.24	-29.8800	0.0010	0.3571	0.00077821
900	-29.87	-30.02	-30.50	-30.1300	0.0010	0.3571	0.00078031
950	-30.44	-30.58	-31.05	-30.6889	0.0009	0.3214	0.00078242
1000	-30.73	-30.87	-31.34	-30.9800	0.0008	0.2857	0.00078452

Lampiran 6. Tabel data hasil pengukuran daya optik keluaran pada POF berlapis TiO_2 pada bagian *cladding*-nya dengan lintasan berdiameter 6 cm

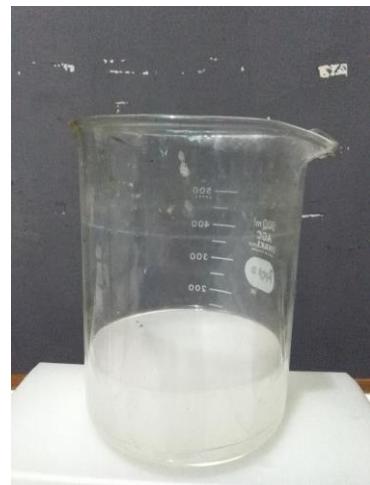
Nilai sensitivitas (gram^{-1}) bergantung pada nilai B_1 dan B_2 yang didapat dari hasil plot polinomial orde-2 data P ternormalisasi sebagai berikut:

$$B_1 = (6,16 \pm 0,88) \times 10^{-4}$$

$$B_2 = (2,24 \pm 0,85) \times 10^{-7}$$

Massa (gr)	DO1	DO2	DO3	DO (dBm)	P (dBm)	P Ternormalisasi	Sensitivitas (gram^{-1})
0	-27.98	-28.11	-28.15	-28.0800	0.0016	1.0000	0.00061653
50	-28.19	-28.06	-28.03	-28.0956	0.0016	1.0000	0.00063897
100	-28.02	-28.15	-28.19	-28.1200	0.0015	0.9375	0.00066141
150	-28.28	-28.15	-28.11	-28.1800	0.0015	0.9375	0.00068385
200	-28.18	-28.31	-28.35	-28.2800	0.0015	0.9375	0.00070628
250	-28.51	-28.37	-28.33	-28.4033	0.0014	0.8750	0.00072872
300	-28.48	-28.61	-28.65	-28.5800	0.0014	0.8750	0.00075116
350	-28.97	-28.84	-28.80	-28.8700	0.0013	0.8125	0.00077360
400	-28.99	-29.12	-29.16	-29.0900	0.0012	0.7500	0.00079603
450	-29.42	-29.29	-29.25	-29.3200	0.0012	0.7500	0.00081847
500	-29.61	-29.74	-29.79	-29.7133	0.0011	0.6875	0.00084091
550	-30.24	-30.12	-30.09	-30.1489	0.0010	0.6250	0.00086335
600	-30.37	-30.49	-30.53	-30.4633	0.0009	0.5625	0.00088578
650	-30.98	-30.86	-30.82	-30.8867	0.0008	0.5000	0.00090822
700	-31.17	-31.30	-31.35	-31.2733	0.0007	0.4375	0.00093066
750	-31.87	-31.73	-31.68	-31.7600	0.0007	0.4375	0.00095310
800	-32.28	-32.41	-32.45	-32.3811	0.0006	0.3750	0.00097553
850	-33.04	-32.91	-32.87	-32.9389	0.0005	0.3125	0.00099797
900	-33.35	-33.48	-33.52	-33.4511	0.0005	0.3125	0.00102041
950	-34.08	-33.95	-33.91	-33.9789	0.0004	0.2500	0.00104285
1000	-34.17	-34.30	-34.34	-34.2722	0.0004	0.2500	0.00106528

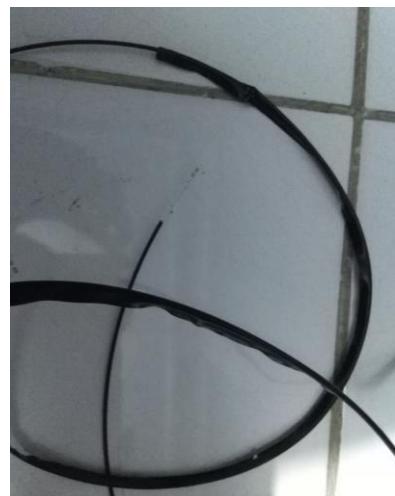
Lampiran 7. Gambar larutan TiO_2 5 mM



Lampiran 8. Gambar proses pelapisan TiO_2 pada bagian *cladding* POF



Lampiran 9. Gambar POF yang dililit dengan solasi hitam setelah terlapisi nanopartikel TiO_2



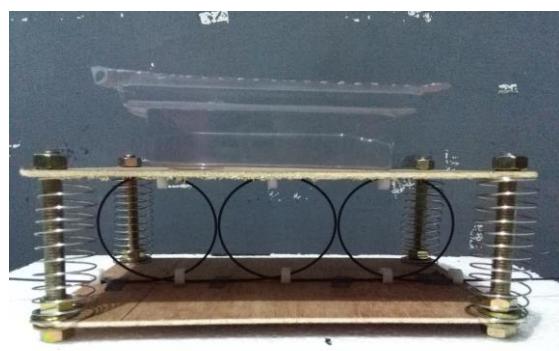
Lampiran 10. Gambar rangkaian penelitian POF dengan lintasan berdiameter 4 cm



Lampiran 11. Gambar rangkaian penelitian POF dengan lintasan berdiameter 5 cm



Lampiran 12. Gambar rangkaian POF dengan lintasan berdiameter 6 cm



Lampiran 13. Struktur serat optik tipe SH-4001-1.3 (Sumber: <http://i-fiberoptiks.com>)

Item	Specification			
	Unit	Min.	Typ.	Max.
Optical Fiber	Core Material	—	Polymethyl - 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
	Cladding Diameter	μm	940	1,000
Jacket	Material and Color	—	Polyethylene , Black	
	Diameter	mm	2.13	2.20
	Indication on the Jacket	—	SUPER ESKA ; Blue	
Approximate Weight		g / m	4	

Lampiran 14. Performa 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	Ø50 nm Collimated Light]	dB/km	—	—	190
	Transmission Loss under 95 %RH	Ø50 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.