



TUGAS AKHIR - TF 181801

**STUDI PENGARUH *KERR EFFECT* TERHADAP SERAT OPTIK
SMF-GIMF-SMF SEBAGAI SENSOR INDEKS BIAS**

**BASKORO PANDU GUNARSO
NRP. 02311440000105**

Dosen Pembimbing:
Agus Muhamad Hatta, S.T., M.Si., Ph.D.
Detak Yan Pratama, S.T., M.Sc.

Departemen Teknik Fisika
Fakultas Teknologi Industri Dan Rekayasa Sistem
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2020

Halaman ini sengaja dikosongkan



FINAL PROJECT - TF 181801

***KERR EFFECT STUDY ON SMF-GIMF-SMF FIBER OPTICS
AS A REFRACTIVE INDEX SENSOR***

**BASKORO PANDU GUNARSO
NRP. 02311440000105**

Supervisors:

Agus Muhamad Hatta, S.T., M.Si., Ph.D.
Detak Yan Pratama, S.T., M.Sc.

*Department of Engineering Physics
Faculty of Industrial Technology and System Engineering
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2020*

Halaman ini sengaja dikosongkan

PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

Saya yang bertanda tangan di bawah ini.

Nama : Baskoro Pandu Gunarso
NRP : 02311440000105
Departemen / Prodi : Teknik Fisika / S1 Teknik Fisika
Fakultas : Fakultas Teknologi Industri & Rekayasa Sistem (FT-IRS)
Perguruan Tinggi : Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Dengan ini menyatakan bahwa Tugas Akhir dengan judul “**STUDI PENGARUH KERR EFFECT TERHADAP SERAT OPTIK SMF-GIMF-SMF SEBAGAI SENSOR INDEKS BIAS**” adalah benar karya saya sendiri dan bukan plagiat dari karya orang lain. Apabila di kemudian hari terbukti terdapat plagiat pada Tugas Akhir ini, maka saya bersedia menerima sanksi sesuai ketentuan yang berlaku.

Demikian surat pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya-benarnya.

Surabaya, 15 Juli 2020

Yang membuat pernyataan,




Baskoro Pandu Gunarso

NRP. 02311440000105

Halaman ini sengaja dikosongkan

LEMBAR PENGESAHAN

TUGAS AKHIR

**STUDI PENGARUH *KERR EFFECT* TERHADAP SERAT OPTIK SMF-
GIMF-SMF SEBAGAI SENSOR INDEKS BIAS**

Oleh:

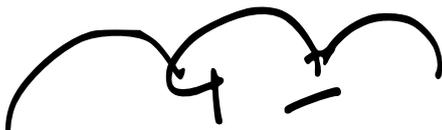


Baskoro Pandu Gunarso

NRP. 02311440000105

Surabaya,

**Menyetujui,
Pembimbing I**



Agus Muhamad Hatta, S.T., M.Si.,

Ph.D.

NIP. 197809022003121002

**Menyetujui,
Pembimbing II**



Detak Yan Pratama, S.T., Ms.C.

NIP. 198401012012121002

Mengetahui,

**Kepala Departemen
Teknik Fisika FTI RS - ITS**



Dr. Suyanto, S.T., M.T.

NIP. 197111131995121002

Halaman ini sengaja dikosongkan

LEMBAR PENGESAHAN

STUDI PENGARUH *KERR EFFECT* TERHADAP SERAT OPTIK SMF-GIMF-SMF SEBAGAI SENSOR INDEKS BIAS

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada
Program Studi S-1 Departemen Teknik Fisika
Fakultas Teknologi Industri & Rekayasa Sistem (FT-IRS)
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:



BASKORO PANDU GUNARSO

NRP. 02311440000105

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir:

1. Agus Muhamad Hatta, S.T., M.Sc., Ph.D. (Pembimbing I)
2. Detak Yan Pratama, S.T., M.Sc. (Pembimbing II)
3. Prof. Dr. Ir. Sekartedjo, M.Sc. (Ketua Penguji)
4. Dyah Sawitri, S.T., M.T. (Penguji)
5. Iwan Cony Setiadi, S.T., M.T. (Penguji)

SURABAYA

2020

Halaman ini sengaja dikosongkan

STUDI PENGARUH *KERR EFFECT* TERHADAP SERAT OPTIK SMF-GIMF-SMF SEBAGAI SENSOR INDEKS BIAS

Nama : Baskoro Pandu Gunarso
NRP : 02311440000105
Departemen : Teknik Fisika FTIRS - ITS
Dosen Pembimbing : Agus Muhamad Hatta
Detak Yan Pratama

ABSTRAK

Pengukuran indeks bias memiliki peran penting untuk berbagai industri. salah satu sensor indeks bias yang biasa digunakan adalah sensor indeks bias berbasis serat optik. pada penelitian ini digunakan serat optik dengan jenis graded-index multimode fiber dimana indeks bias pada core berubah secara bertahap. dalam penelitian ini dilakukan beberapa tahapan simulasi yaitu uji spektrum dengan variasi panjang yaitu 5cm 10cm dan 15cm, uji spektrum dengan variasi indeks bias cladding yaitu 1.35, 1.4, dan 1.44, kemudian dilakukan uji pengaruh indeks bias cladding terhadap daya keluaran. lalu dilakukan kembali uji pengaruh indeks bias terhadap daya keluaran dengan penambahan pengaruh *Kerr effect* dimana indeks bias dari core akan berubah ketika dipaparkan sinar dengan intensitas tinggi. Pada pengujian perubahan indeks bias terhadap output didapatkan hasil dengan sensitivitas sebesar 0.295 dan nilai non-linearitas sebesar 1.311 sedangkan jika diberi pengaruh *Kerr effect* terjadi peningkatan sensitivitas sebesar 17% dan penurunan nilai non-linearitas sebesar 27%. Pada penelitian ini didapatkan bahwa penambahan *Kerr effect* akan membuat hubungan antara indeks bias dengan daya keluaran menjadi lebih linear. namun untuk mendapatkan perubahan yang signifikan diperlukan daya masukan yang sangat besar.

Kata Kunci: Serat Optik, *Graded-index multimode fiber*, Indeks Bias, *Kerr effect*

Halaman ini sengaja dikosongkan

KERR EFFECT STUDY ON SMF-GIMF-SMF SERAT OPTIKS AS A REFRACTIVE INDEX SENSOR

Name : Baskoro Pandu Gunarso
NRP : 02311440000105
Department : Engineering Physics FTIRS - ITS
Supervisors : Agus Muhamad Hatta
Detak Yan Pratama

ABSTRACT

Refractive index measurement is fundamental in a lot of industries. one of which is fiber-optics based sensors. serat optik based refractive-index sensors have been extensively studied for the applications like in biomedical, chemical, and environmental fields due to their outstanding advantages, such as high sensitivity, small size, etc. in this final project experiment, a graded index multimode fiber, the one where the core's refractive index varies parabolically, which spliced between two identical singlemode fibers as a sensor. 3 graded index multimode fibers with a different length, 5cm 10cm and 15cm, were used for the sensors. 4 tests were done to determine the relation between refractive index and the output power of the serat optik sensor. from all the test we analyze the data and determine that the relation between refractive index and the output power is linear at the refractive index of 1.3 to 1.44. then a Kerr effect study was applied to understand its effect on the serat optik sensor. from this study we can conclude that the application of Kerr effect increases the serat optiks performance.

Keywords: Refractive index, Fiber Optics, Graded index, Kerr effect.

Halaman ini sengaja dikosongkan

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT atas limpahan rahmat dan karuniaNya sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir dengan judul:

“Studi Pengaruh *Kerr Effect* terhadap serat optik SMF-GIMF-SMF sebagai sensor indeks bias”

Tidak lupa juga penulis berterimakasih pada berbagai pihak yang telah membantu dan mendukung penulis untuk menyelesaikan tugas akhir ini. Untuk itu penulis mengucapkan terimakasih yang sebesar besarnya kepada:

1. Bapak Dr. Suyanto, S.T., M.T. selaku Kepala Departemen Teknik fisika FT-IRS yang juga telah membantu memotivasi penulis untuk menyelesaikan tugas akhir ini.
2. Bapak Agus Muhamad Hatta, S.T., M.Si., Ph.D. dan bapak Detak Yan Pratama, S.T., M.Sc. sebagai pembimbing yang telah mengarahkan dan membantu penulis untuk memahami tugas akhir ini.
3. Bapak Detak Yan Pratama, S.T., M.Sc. yang dengan sabar dan ikhlas menjadi dosen wali dari penulis selama 6 tahun.
4. Faiz, Basitho, Kayi, dan teman teman F49 lainnya yang selalu memberikan saran dan selalu menemani penulis.
5. Shodiq, Prita, Ais, TA-wan fotonika lainnya, dan asisten-asisten fotonika yang telah membantu pengerjaan penelitian ini.
6. Bapak, Ibu, dan kakak yang telah mendukung, membiayai, dan memberikan bantuan kepada penulis dalam berbagai masalah yang dihadapi oleh penulis.
7. Fildza, Rizka, dan Fachri yang selalu memberikan dukungan moral dan semangat kepada penulis.

Kritik dan saran untuk kesempurnaan laporan tugas akhir ini sangat diharapkan oleh penulis. Semoga laporan tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi pembaca.

Surabaya, 4 Agustus 2020

Penulis

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
COVER PAGE.....	iii
PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI	v
LEMBAR PENGESAHAN	vii
LEMBAR PENGESAHAN	ix
ABSTRAK	xi
ABSTRACT.....	xiii
KATA PENGANTAR	xv
DAFTAR ISI.....	xvii
DAFTAR GAMBAR	xix
DAFTAR TABEL.....	xxi
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan.....	2
1.4 Batasan Masalah.....	2
1.5 Sistematika Laporan	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI.....	5
2.1 Serat optik.....	5
2.2 <i>Graded Index Multimode Fiber</i>	6
2.3 Serat optik st sebagai Sensor	7
2.4 Karakteristik Statik dari Sensor.....	10
2.5 <i>Kerr Effect</i>	12
2.6 Indeks Bias	12

BAB III METODOLOGI PENELITIAN	13
3.1 Identifikasi dan Perumusan Masalah	13
3.2 Studi Literatur	14
3.3 Perancangan Sensor Indeks Bias	14
3.4 Simulasi Uji Spektrum dengan Variasi Panjang.....	14
3.5 Simulasi Uji Spektrum dengan Variasi Panjang.....	14
3.6 Simulasi Uji Spektrum dengan Varias Indeks Bias <i>Cladding</i>	14
3.7 Simulasi Uji Pengaruh Indeks Bias terhadap Daya Keluaran.....	15
3.8 Simulasi Pengaruh <i>Kerr Effect</i>	15
3.9 Analisa Data dan Pembahasan Pengujian.....	15
3.10 Pengambilan Kesimpulan Dan Saran.....	15
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	17
4.1 Simulasi Uji Spektrum dengan Varias Indeks Bias Cladding	18
4.2 Simulasi Uji Pengaruh Indeks Bias terhadap Daya Keluaran.....	18
4.3 Simulasi Pengaruh <i>Kerr Effect</i>	20
4.4 Pembahasan	23
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	25
5.1 Kesimpulan	25
5.2 Saran	25
DAFTAR PUSTAKA.....	27

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Struktur serat optik	5
Gambar 2. 2 ilustrasi dari akurasi dan tingkat kepresisian (ChemistryGod, 2019)	11
Gambar 2. 3 perbandingan grafik data ideal dan data terukur (National Instruments, 2020)	11
Gambar 3. 1 Diagram Alir Penelitian	13
Gambar 3. 2 Skema sensor indeks bias SMF-GIMF-SMF	14
Gambar 4. 1 Hasil Uji Spektrum dengan Variasi Panjang	17
Gambar 4. 2 Hasil Uji Spektrum dengan Variasi Indeks Bias <i>Cladding</i>	18
Gambar 4. 3 Hasil Uji Pengaruh Indeks Bias terhadap Daya Keluaran	19
Gambar 4. 4 grafik pengaruh indeks bias dengan intensitas masukan 100 W/ μm	20
Gambar 4. 5 grafik pengaruh indeks bias dengan intensitas masukan 1 kW/ μm	21

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR TABEL

Tabel 4. 1 variabel tetap yang digunakan.....	17
Tabel 4. 2 karakteristik statik sensor indeks bias tanpa pengaruh <i>Kerr effect</i>	19
Tabel 4. 3 karakteristik statik sensor indeks dengan intensitas masukan $100 \text{ W}/\mu\text{m}$	20
Tabel 4. 4 karakteristik statik sensor indeks bias dengan intensitas $1\text{kW}/\mu\text{m}$	21
Tabel 4. 5 karakteristik statik dari sensor indeks bias dengan pengaruh <i>Kerr effect</i>	22

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Indeks bias merupakan ukuran yang menunjukkan seberapa cepat cahaya merambat melalui medium tersebut. Indeks bias didapatkan melalui perbandingan antara kecepatan cahaya pada ruang hampa terhadap kecepatan cahaya pada medium tersebut. Namun indeks bias pada suatu medium juga berbeda pada setiap panjang gelombang, maka dari itu diperlukan pengukuran yang lebih spesifik pada suatu medium.

Pengukuran indeks bias memiliki peran penting untuk quality control pada industry, Analisa biologis, Analisa kimiawi, bidang biomedis, dan juga pendeteksian specimen (Chen, et al., 2015). Pengukuran indeks bias sendiri dapat dilakukan menggunakan berbagai macam metode seperti menggunakan interferometer Mach-zender dan menggunakan serat optik. Interferometer Mach-zender mengukur indeks bias dengan membandingkan kecepatan sinar yang merambat melalui medium yang akan diukur dengan kecepatan sinar yang merambat melalui medium acuan. Agar sifat dari sinar yang merambat pada kedua medium sama, digunakan satu sumber cahaya yang kemudian dibagi menggunakan *beam splitter*, namun untuk menggunakan metode ini diperlukan alat yang relatif besar dibandingkan dengan sensor yang menggunakan serat optik.

Sensor indeks bias berbasis serat optik sudah banyak diteliti untuk pengaplikasian pada bidang biomedik, kimia, dan dalam bidang lingkungan karena kelebihanannya seperti sensitivitas yang tinggi, dan ukurannya yang kecil (Gong, Guo, Rao, Zhao, & Wu, Fiber-Optic Fabry-Perot Sensor Based on Periodic Focusing Effect of Graded-Index Multimode Fibers, 2010). Penelitian tentang sensor pengukuran berbasis serat optik telah banyak dilakukan karena keuntungannya seperti ketahanan terhadap gangguan elektromagnetik, respon yang cepat, ringan, dan sensitif (Zhang, He, Xu, & Wang, 2018). Dalam

bidang sensor, struktur serat optik yang paling umum digunakan adalah struktur SMS (Singlemode-Multimode-Singlemode) karena aplikasinya yang beragam, mulai dari bidang Kesehatan, industri, dan lainnya.

Salah satu jenis yang digunakan pada sensor serat optik adalah *graded index multimode fiber*, jenis serat optik yang memiliki indeks bias *core* yang berubah secara parabolik dari tengah ke samping.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah ada, maka dapat diambil rumusan masalah yang dapat diambil dari tugas akhir ini, yaitu:

- a) Bagaimana pengaruh perubahan indeks bias *cladding* terhadap daya keluaran dari serat optik SMF-GIMF-SMF?
- b) Bagaimana pengaruh *Kerr effect* terhadap kemampuan pengukuran indeks bias?

1.3 Tujuan

Berdasarkan latar belakang yang telah ada, maka dapat diambil rumusan masalah yang dapat diambil dari tugas akhir ini, yaitu:

- a) Mengetahui pengaruh perubahan indeks bias *cladding* terhadap daya keluaran dari serat optik SMF-GIMF-SMF.
- b) Mengetahui pengaruh *Kerr effect* terhadap kemampuan pengukuran indeks bias.

1.4 Batasan Masalah

Berikut adalah Batasan masalah yang digunakan pada penelitian ini agar penelitian lebih terfokus:

- a) Panjang gelombang yang digunakan untuk pengujian spektrum adalah dari 550nm hingga 1725nm
- b) Indeks bias yang diukur adalah dari 1.3 hingga 1.44

- c) *Graded Index multimode fiber* yang digunakan memiliki *core diameter* sebesar $62.5\mu\text{m}$ dengan indeks bias *core* 1.496 dan indeks bias *cladding* 1.470.
- d) *Singlemode fiber* yang digunakan memiliki *core diameter* sebesar $4.4\mu\text{m}$ dengan indeks bias *core* 1.456 dan indeks bias *cladding* 1.450

1.5 Sistematika Laporan

Laporan tugas akhir ini tersusun atas lima bab berbeda dengan rincian sebagai berikut:

BAB I PENDAHULUAN

Bab ini menjelaskan tentang latar belakang dan juga Batasan masalah yang digunakan dalam tugas akhir ini.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini berisi tentang penjelasan teori teori dasar yang meunjang penelitian tugas akhir ini seperti serat optik, *graded index multimode fiber*, serat optik sebagai sensor, indeks bias, dan *Kerr effect*.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini berisi tentang tahapan tahapan yang digunakan dalam pengerjaan penelitian tugas akhir ini.

BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

Bab ini menunjukkan hasil hasil yang didapat dari berbagai macam simulasi pengujian dari sensor indeks bias SMF-GIMF-SMF yang telah dirancang dan juga pembahasan dari hasil yang telah didapat.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini berisi kesimpulan yang diapat dari penelitian tugas akhir dan juga saran yang dapat diberikan untuk penelitian penelitian selanjutnya.

Halaman ini sengaja dikosongkan

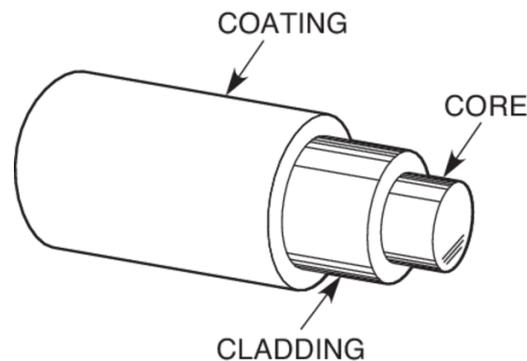
BAB II

TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

2.1 Serat optik

Serat optik adalah pemandu gelombang yang bekerja pada frekuensi optik. Satu paket gelombang elektromagnetik yang terpandu disebut dengan moda. Pemanduan gelombang optik merupakan pemanduan berkas cahaya dari suatu tempat ke tempat lain. Pemanduan cahaya tersebut memerlukan medium yang memiliki indeks bias yang berbeda (Thyagarajan & Ghatak, 1998) .

Serat optik terdiri atas *core*, *cladding*, dan jaket seperti pada Gambar 1 (Fidanboylu & Efendioglu, 2009). *Core* dan *cladding* memiliki karakteristik optik indeks bias yang berbeda. Agar dapat memandu gelombang dan tetap berada di dalam serat optik, indeks bias yang dimiliki *core* serat optik harus lebih besar dari indeks bias *cladding*.



Gambar 2. 1 Struktur serat optik

Berdasarkan moda perambatannya, serat optik dibagi menjadi dua jenis yaitu serat *singlemode* yang memiliki diameter *core* lebih kecil dan serat *multimode* yang memiliki diameter *core* lebih besar. Tipe perambatan sinar pada *core* serat optik dibagi dua yaitu *step index* dan *graded index*.

Untuk dapat memandu cahaya, perlu dipertimbangkan sinar yang masuk ke dalam serat optik seperti pada Gambar 3. Jika sudut sinar yang masuk ke serat optik lebih besar dari sudut kritis maka akan terjadi *Total Internal Reflection* (TIR). Sudut kritis adalah sudut datang dari yang mempunyai sudut bias sebesar 90° . Sudut sinar yang masuk ke serat optik dapat dihitung menggunakan persamaan :

$$\sin \theta_i = \sin^{-1} \frac{n_2}{n_1} \quad (2.1)$$

dimana :

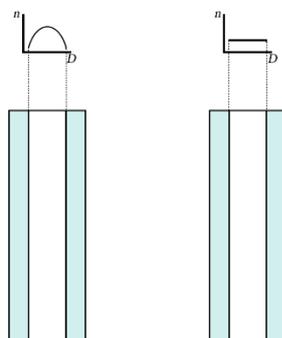
n_1 = indeks bias *core*

n_2 = indeks bias *cladding*

Serat optik menggunakan prinsip *Total Internal Reflection* (TIR) pada hukum Snellius. Sinar-sinar cahaya yang dapat memasuki serat optik harus mempunyai sudut datang yang tidak lebih dari *numerical aperture* (NA) seperti pada Gambar 3. *Numerical Aperture* adalah sudut maksimum dari sinar datang sehingga sinar dapat dipantulkan secara sempurna (TIR) pada serat optik.

2.2 Graded Index Multimode Fiber

Kebanyakan dari serat optik yang biasa digunakan adalah serat optik berjenis *step-index* dimana pola persebaran indeks bias pada *core* yang tetap. Namun juga terdapat jenis lain yang disebut dengan *graded-index multimode fiber* (GIMF) dimana indeks bias pada *core* berubah secara bertahap. Hal ini dapat terjadi akibat Teknik fabrikasi dimana komposisi dari serat optik diubah secara perlahan.



Gambar 2.1 Perbandingan indeks bias *core* dari *graded index* (kiri) dan *step index* (kanan)

Pada umumnya indeks bias core pada graded index multimode fiber memiliki perubahan nilai dengan profil parabolik dengan rumus sebagai berikut:

$$n(r) = \begin{cases} n_0 \left[2\Delta_M \frac{r^2}{a_M^2} \right]^{\frac{1}{2}} ; & r \leq a_M, \\ n_0 [1 - 2\Delta_M]^{1/2} ; & r > a_M, \end{cases} \quad (2.2)$$

dimana n_0 adalah indeks bias *core*, n_{cl} adalah indeks bias *cladding*, a_M adalah jari jari *core*, dan Δ_M adalah perbedaan indeks bias antar *core* dan *cladding* pada serat optik *multimode* dengan rumus sebagai berikut:

$$\Delta_M = \frac{n_0^2 n_{cl}^2}{2n_0^2} \quad (2.3)$$

dimana n_0 adalah indeks bias *core* dan n_{cl} adalah indeks bias *cladding*.

2.3 Serat optik st sebagai Sensor

Diasumsikan bahwa struktur serat optik GIMF disambungkan dengan dua serat optic SMF yang identik pada kedua ujungnya dengan garis tengah yang terhubung secara sempurna. Untuk mendapatkan nilai daya yang ditransmisikan dari satu serat optik ke serat optik lainnya diperlukan perhitungan *fundamental mode field*. didapatkan dari rumus:

$$\psi_s(r) = \sqrt{\frac{2}{\pi}} \frac{1}{w_s} e^{(-r^2/w_s^2)} \quad (2.4)$$

dimana w_s adalah *gaussian spot size* dan pada serat optik *step-index* dapat dihitung menggunakan rumus:

$$\frac{w_s}{a_s} = \left[0.65 + \frac{1.619}{V_s^2} - \frac{2.879}{V_s^6} \right]; \quad 0.8 \leq V_s \leq 2.5 \quad (2.5)$$

dimana a_s adalah jari jari dari *core* pada serat optic *singlemode* dan V_s adalah *V-number* dari serat optic *singlemode* tersebut.

Diasumsikan juga bagian GIMF dari struktur SMF-GIMF-SMF memiliki profil indeks bias *core* parabolik dengan rumus seperti berikut:

$$n(r) = \begin{cases} n_0 \left[2\Delta_M \frac{r^2}{a_M^2} \right]^{\frac{1}{2}} ; & r \leq a_M, \\ n_0 [1 - 2\Delta_M]^{1/2} ; & r > a_M, \end{cases} \quad (2.6)$$

dimana n_0 adalah indeks bias *core*, n_{cl} adalah indeks bias *cladding*, a_M adalah jari jari *core*, dan Δ_M adalah perbedaan indeks bias antar *core* dan *cladding* pada serat optik *multimode* dengan rumus sebagai berikut:

$$\Delta_M = \frac{n_0^2 n_{cl}^2}{2n_0^2} \quad (2.7)$$

dimana n_0 adalah indeks bias *core* dan n_{cl} adalah indeks bias *cladding*.

Kondisi diatas menyebabkan daya yang ditransmisikan dari *singlemode* ke *multimode* hanya diteruskan ke beberapa moda awal dari serat optik *multimode*. *Mode field pattern* dari moda tersebut dapat dihitung melalui rumus berikut:

$$\psi_m(r) = \sqrt{\frac{2}{\pi}} \frac{1}{w_M} L_m \left(\frac{2r^2}{w_M^2} \right) e^{(-r^2/w_M^2)} \quad (2.8)$$

Dimana L_m merupakan *Laguerre polynomial* dari m dan w_M adalah ukuran *gaussian spot* dari moda fundamental dengan rumus:

$$w_M = \left[\frac{2a_M}{k_0 n_0 \sqrt{2\Delta_M}} \right]^{1/2} = a_M \sqrt{\frac{2}{V_M}} \quad (2.9)$$

Dimana V_M adalah *V-number* dari serat optik *multimode*. Kemudian konstanta propagasi dari moda ke- m adalah sebagai berikut:

$$\beta_m = k_0 n_0 \left[1 - \frac{(2m+1)\alpha_M}{k_0^2 n_0^2} \right]^{\frac{1}{2}} ; \quad m = 0, 1, 2, \dots, \quad (2.10)$$

dengan

$$\alpha_M = \frac{k_0 n_0}{a_M} \sqrt{2\Delta_M} = V_M / a_M^2 = 2 / w_M^2 \quad (2.11)$$

Pada ujung GIMF ($z=0$) *total field* $\psi(z = 0)$ dapat dihitung menggunakan rumus sebagai berikut:

$$\psi(z = 0) = \psi_s = \sum A_m \psi_m(r) \quad (2.12)$$

Dimana A_m adalah amplitude dari moda ke- m dari serat optic multimode dapat dihitung menggunakan rumus sebagai berikut:

$$\begin{aligned} A_m &= \frac{\int_0^\infty \psi_s \psi_m^* r dr}{\int_0^\infty |\psi_m|^2 r dr} \\ &= \frac{2\mu}{1 + \mu^2} \left(\frac{1 - \mu^2}{1 + \mu^2} \right)^m \end{aligned} \quad (2.13)$$

dengan

$$\mu = w_S / w_M \quad (2.14)$$

Karena tiap moda yang terpandu memiliki konstanta propagasi yang berbeda, *total field* ψ pada ujung keluaran dari GIMF dengan panjang L dapat dihitung menggunakan:

$$\psi(z = L) = \sum A_m \psi_m e^{-i\beta_m L} \quad (2.15)$$

pada ujung akhir dari GIMF akan terdapat beberapa moda yang kemudian menyatu dan diteruskan melalui *core* dari serat optik *singlemode*. Daya yang kemudian dikeluarkan oleh serat optik *singlemode* didapatkan melalui rumus berikut:

$$\begin{aligned} P_{SM} &= \left| \int_0^\infty \psi_s^* \psi(z = L) r dr \right|^2 \\ &= \left| A_0^2 + A_1^2 e^{i(\beta_0 - \beta_1)L} + A_2^2 e^{i(\beta_0 - \beta_2)L} + \dots \right|^2 \end{aligned}$$

Daya keluaran P_{SM} akan berubah setiap Panjang gelombang dan juga Panjang GIMF.

2.4 Karakteristik Statik dari Sensor

Setiap sensor memiliki sifat sifat yang membedakan sensor tersebut dengan sensor sejenis lainnya. Perbedaan tersebut dapat digolongkan sebagai karakteristik sensor. Karakteristik sensor terbagi menjadi dua jenis yaitu karakteristik statik dan karakteristik dinamik. Karakteristik tersebut terdiri dari sensitivitas, *Range*, Non-linearitas, tingkat kepresisian, dan akurasi.

2.4.1 Sensitivitas

Sensitivitas merupakan sebuah nilai yang menunjukkan nilai masukan minimum yang dapat menyebabkan perubahan nilai luaran dari sensor. Sensitivitas dapat dihitung menggunakan rumus:

$$\text{Sensitivitas} = \Delta y / \Delta x \quad (2.17)$$

sensitivitas juga dapat didefinisikan sebagai perbandingan antara perubahan nilai luaran terhadap perubahan nilai masukan.

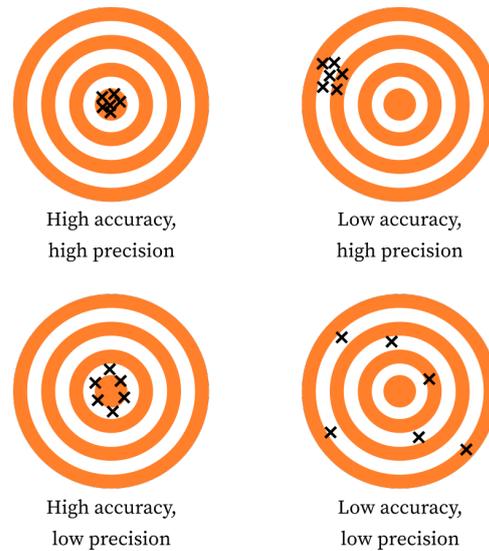
2.4.2 *Range*

Range dari suatu sensor adalah nilai maksimum dan nilai minimum dari masukan yang dapat diukur dengan baik oleh sensor. Seperti contohnya pada thermometer dengan *Range* 32°C hingga 42°C menunjukkan bahwa nilai minimum suhu yang dapat diukur adalah 32°C dan nilai maksimum yang dapat diukur adalah 42°C.

2.4.3 Tingkat Kepresisian dan Akurasi

Tingkat kepresisian dari suatu sensor menunjukkan kemampuan dari sensor tersebut untuk menghasilkan luaran yang sama setiap pengukuran dilakukan. Semakin tinggi tingkat kepresisian maka semakin konsisten hasil luaran dari sensor dengan input yang sama.

Tingkat keakurasian dari sensor menunjukkan kemampuan untuk menghasilkan luaran yang sama dengan nilai sebenarnya. Semakin tinggi nilai keakurasian maka hasil semakin dekat dengan nilai sebenarnya.



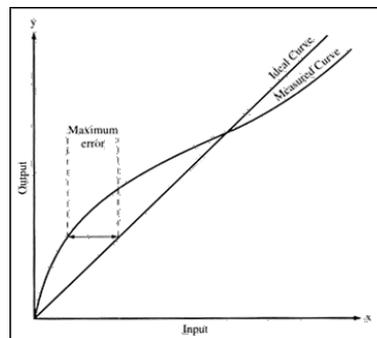
Gambar 2. 2 ilustrasi dari akurasi dan tingkat kepresisian (ChemistryGod, 2019)

2.4.4 Resolusi

Resolusi dari suatu sensor menunjukkan nilai masukan terkecil yang dapat mempengaruhi nilai keluaran dari sensor tersebut. Semakin kecil nilai resolusi menunjukkan bahwa sensor yang digunakan dapat mengukur masukan dengan perubahan yang kecil.

2.4.5 Non-Linearitas

Non-linearitas dari suatu sensor menunjukkan seberapa besar perbedaan nilai perbandingan masukan dan luaran dari sensor terhadap perbandingan masukan dan luaran yang ideal.



Gambar 2. 3 perbandingan grafik data ideal dan data terukur (National Instruments, 2020)

2.4.6 Response Time

Response Time menunjukkan waktu yang diperlukan suatu sensor untuk mencapai hasil yang akurat ketika diberikan masukan.

2.5 Kerr Effect

Kerr effect adalah sebuah peristiwa *nonlinear optics* dimana indeks bias dari suatu medium berubah ketika dilalui oleh sinar dengan intensitas tinggi. *Kerr effect* juga dapat dideskripsikan sebagai perubahan indeks bias Ketika suatu medium dipaparkan dengan medan elektrik (Paschotta, 2019).

Kerr effect terbagi menjadi 2 jenis, *Kerr electro-optic effect* dimana terdapat pengaruh medan elektrik dari luar, dan *Optical Kerr Effect* dimana tidak terdapat pengaruh dari luar. *Optical Kerr effect* dapat dijelaskan melalui rumus:

$$n_{kerr} = n_0 + (n_2 \times I) \quad (2.18)$$

Dimana n_0 adalah indeks bias medium tanpa pengaruh *Kerr effect*, n_2 adalah *nonlinear index* dari medium tersebut, dan I adalah intensitas sinar yang merambat pada medium tersebut.

2.6 Indeks Bias

Indeks bias dari suatu medium yang transparan adalah angka yang menunjukkan perbandingan kecepatan cahaya pada ruang hampa terhadap kecepatan cahaya pada medium tersebut.

$$n = C/V_m \quad (2.19)$$

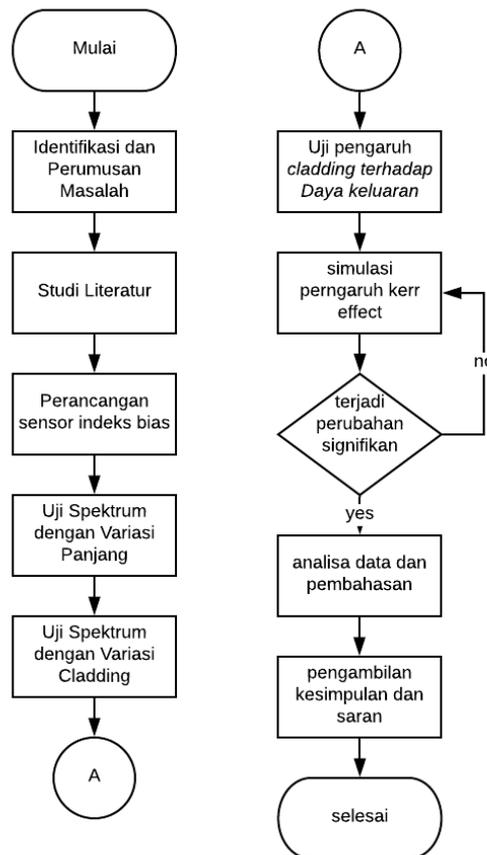
dimana n adalah indeks bias, C adalah kecepatan cahaya di ruang hampa (3×10^8 m/s) dan V_m adalah kecepatan cahaya pada medium tersebut.

Karena kecepatan cahaya pada suatu medium juga bergantung pada panjang gelombang maka indeks bias juga akan berubah tergantung pada panjang gelombang cahaya yang diteruskan. Seperti contohnya kaca dan kristal memiliki indeks bias dari 1.4 hingga 2.8 pada spektrum cahaya tampak (Kumar, Varshney, C., & Sharma, 2003).

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

Pada penelitian ini dilakukan dengan metode sebagai berikut:



Gambar 3. 1 Diagram Alir Penelitian

3.1 Identifikasi dan Perumusan Masalah

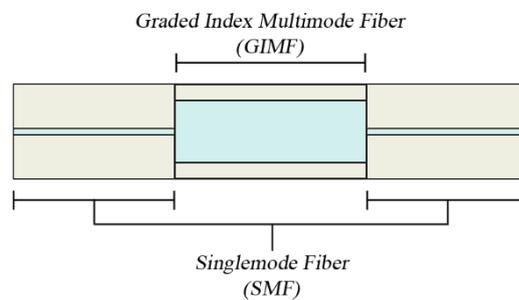
Untuk memulai suatu penelitian diperlukan identifikasi dari masalah yang akan dijadikan dasar dari penelitian tersebut. Kemudian masalah tersebut dirumuskan menjadi poin poin yang kemudian dijadikan tujuan dari penelitian tersebut.

3.2 Studi Literatur

Pada bagian ini dilakukan studi literatur untuk mendapatkan teori teori yang mendukung tercapainya tujuan dari penelitian. Hasil dari studi literatur dapat berupa rumus, teori, skema dan juga grafik yang dapat digunakan sebagai acuan.

3.3 Perancangan Sensor Indeks Bias

Pada penelitian ini digunakan dua jenis serat optik yaitu serat optik *singlemode* (SMF), dan *multimode graded index* (GIMF). Kemudian serat optik *multimode graded index* disambungkan dengan serat optik *singlemode* pada kedua ujungnya.



Gambar 3. 2 Skema sensor indeks bias SMF-GIMF-SMF

3.4 Simulasi Uji Spektrum dengan Variasi Panjang

Pada simulasi ini diambil 3 panjang dari graded index multimode fiber yaitu 5cm, 10cm, dan 15cm. lalu dilakukan simulasi uji spektrum pada panjang gelombang dari 550nm hingga 1725nm

3.5 Simulasi Uji Spektrum dengan Variasi Panjang

Pada simulasi ini diambil 3 panjang dari graded index multimode fiber yaitu 5cm, 10cm, dan 15cm. lalu dilakukan simulasi uji spektrum pada panjang gelombang dari 550nm hingga 1725nm.

3.6 Simulasi Uji Spektrum dengan Variasi Indeks Bias *Cladding*

Dari simulasi sebelumnya kemudian diambil salah satu panjang GIMF yaitu 15cm. kemudian dilakukan simulasi uji spektrum pada panjang gelombang dari 550nm hingga 1725nm dengan variasi indeks bias *cladding* yaitu 1.35, 1,40, dan 1,44.

3.7 Simulasi Uji Pengaruh Indeks Bias terhadap Daya Keluaran

Pada simulasi ini dilakukan pengujian pengaruh indeks bias terhadap daya keluaran dengan mengambil panjang gelombang yang optimal dari simulasi uji spektrum dengan variasi indeks bias cladding.

3.8 Simulasi Pengaruh *Kerr Effect*

Untuk mengetahui pengaruh *Kerr effect* dilakukan ulang simulasi yang telah dilakukan dengan menambahkan pengaruh *Kerr effect*. Kemudian hasil simulasi awal dan yang sudah dipengaruhi *Kerr effect* dibandingkan.

3.9 Analisa Data dan Pembahasan Pengujian

Data data hasil pengujian diatas kemudian dianalisa sehingga didapatkan pengaruh indeks bias *cladding* terhadap daya keluaran dari serat optik SMF-GIMF-SMF dan juga pengaruh *Kerr effect* terhadap serat optik tersebut.

3.10 Pengambilan Kesimpulan Dan Saran

Dari Analisa data dan pembahasan yang telah dilakukan terhadap data data hasil penelitian, kemudian diambil kesimpulan yang menjawab tujuan dari penelitian yang sudah ditentukan sebelumnya dan juga diberikan saran saran yang dapat membantu penelitian selanjutnya.

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB IV

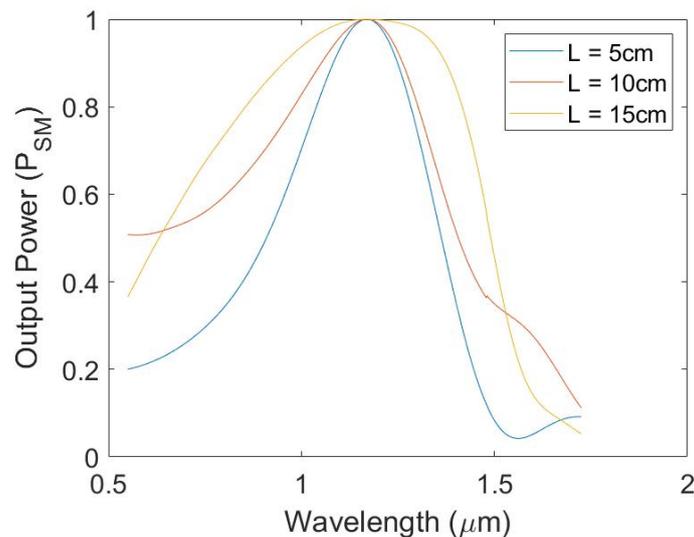
HASIL DAN PEMBAHASAN

Simulasi uji dari serat optik SMF-GIMF-SMF dilakukan dengan beberapa parameter yang tetap yaitu:

Tabel 4. 1 variabel tetap yang digunakan

No	Parameter	Nilai
1	SMF Core Refractive Index	1.456
2	SMF Cladding Refractive Index	1.450
3	SMF Core Diameter	4.4 μm
4	GIMF Core Diameter	62.5 μm
5	GIMF Core Refractive Index	1.496
6	Nonlinear index of GIMF	$30.9 \times 10^{-21} \text{ m}^2/\text{W}$

Kemudian dilakukan pengujian spektrum terhadap 3 panjang serat optik GIMF yang berbeda yaitu 5cm, 10cm, dan 15cm. dari pengujian tersebut didapatkan hasil sebagai berikut:

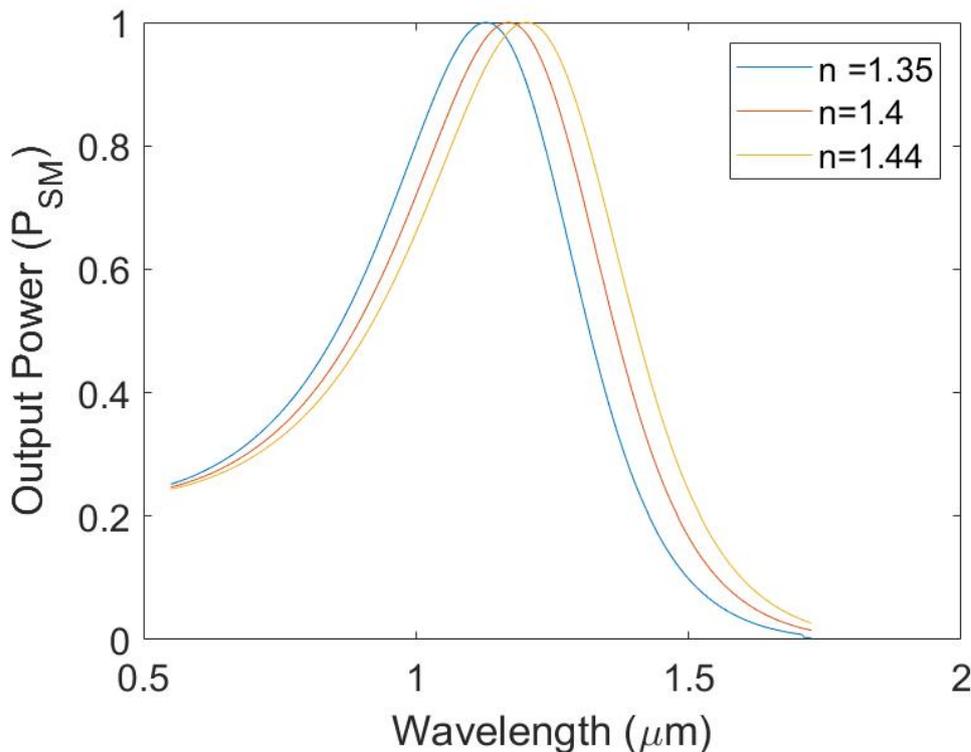


Gambar 4. 1 Hasil Uji Spektrum dengan Variasi Panjang

Dari grafik diatas dapat dilihat pada ketiga panjang yang dipilih memiliki nilai luaran maksimal pada panjang gelombang 1265.575nm.

4.1 Simulasi Uji Spektrum dengan Varias Indeks Bias Cladding

Dari ketiga panjang GIMF yang digunakan, diambil salah satu contoh pada panjang GIMF 5cm. Ketika terjadi perubahan indeks bias, maka nilai luaran maksimum dari spektrum tersebut akan bergeser seperti gambar dibawah.



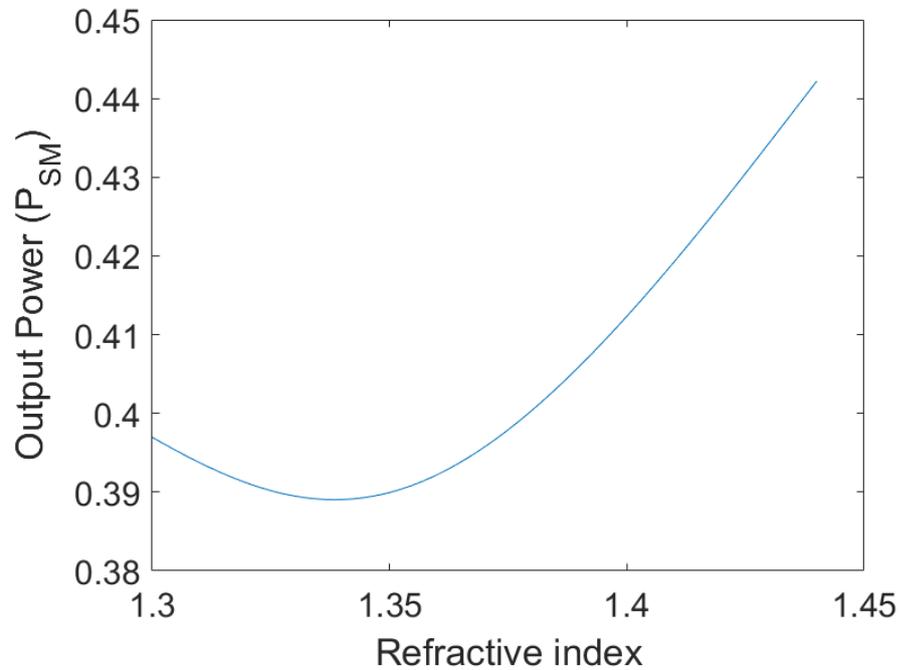
Gambar 4. 2 Hasil Uji Spektrum dengan Variasi Indeks Bias *Cladding*

Grafik diatas kemudian digunakan untuk menentukan panjang gelombang yang optimal dengan mencari perbedaan terbesar pada ketiga indeks bias pada suatu panjang gelombang yaitu 765.025 nm.

4.2 Simulasi Uji Pengaruh Indeks Bias terhadap Daya Keluaran

Setelah didapatkan Panjang gelombang yang optimal untuk pengukuran indeks bias, dilakukan simulasi untuk mendapatkan hubungan antara daya keluaran

dengan indeks bias. Simulasi ini dilakukan pada panjang gelombang 765.025 nm dengan panjang GIMF 5 cm dan didapatkan hasil seperti berikut:



Gambar 4. 3 Hasil Uji Pengaruh Indeks Bias terhadap Daya Keluaran

Dari data hasil diatas kemudian dihitung karakteristik statik dan didapatkan karakteristik statik dari sensor tanpa pengaruh *Kerr effect* sebagai berikut:

Tabel 4. 2 karakteristik statik sensor indeks bias tanpa pengaruh *Kerr effect*

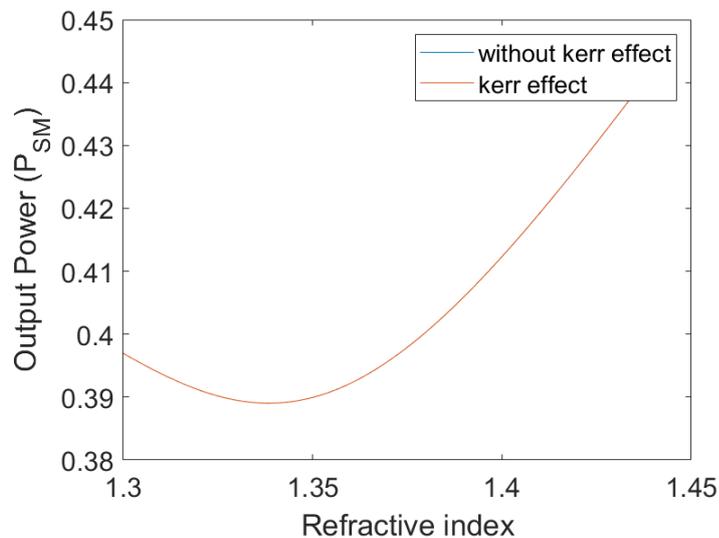
Karakteristik Statik	nilai
Sensitivitas	0.295
<i>Range</i>	1.3-1.44
Resolusi	0.00014
Non-linearitas	1.311
Akurasi	-
Tingkat kepresisian	-
<i>Response Time</i>	-

Pada data diatas nilai dari *response time* tidak dapat diukur karena untuk melakukan pengujian *response time* diperlukan pembuatan perangkat keras.

Sedangkan untuk mendapatkan nilai tingkat kepresisian dan akurasi diperlukan juga pembuatan perangkat keras dan alat ukur yang telah terkalibrasi sebagai acuan.

4.3 Simulasi Pengaruh *Kerr Effect*

Pada bagian simulasi ini didapatkan bahwa untuk mendapatkan perubahan yang signifikan diperlukan intensitas yang sangat tinggi. Seperti yang dapat dilihat pada grafik dibawah dimana pada intensitas masukan $100\text{W}/\mu\text{m}$ dan $1\text{KW}/\mu\text{m}$ tidak terlihat perubahan yang cukup signifikan. Sedangkan agar terjadi perubahan yang cukup signifikan diperlukan daya masukan sebesar $66\text{ kW}/\mu\text{m}$.



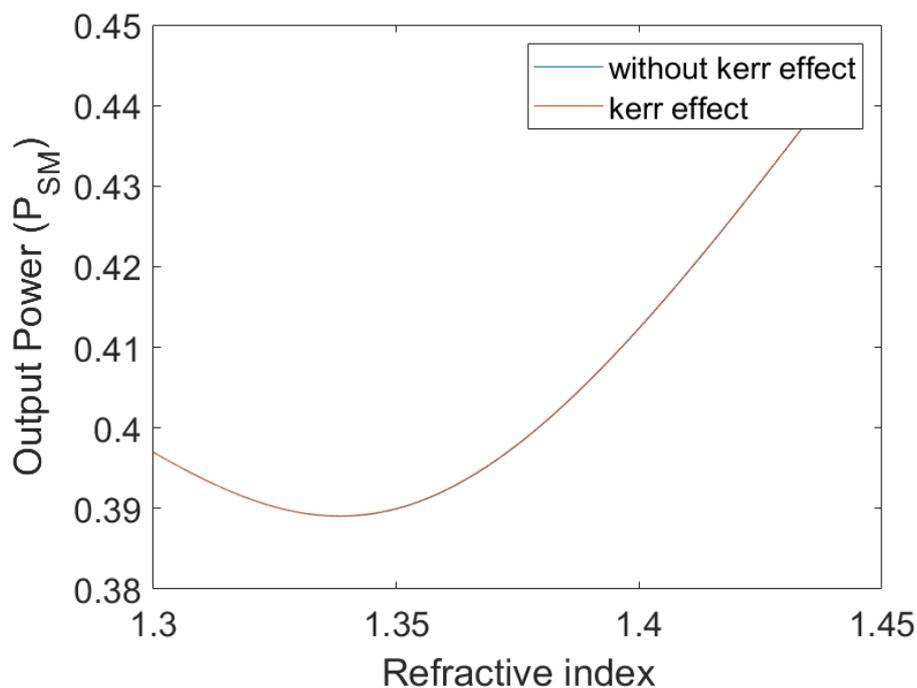
Gambar 4. 4 grafik pengaruh indeks bias dengan intensitas masukan $100\text{ W}/\mu\text{m}$

Dari data hasil diatas kemudian dihitung karakteristik statik dan didapatkan karakteristik statik dari sensor yang dpengaruhi *Kerr effect* dengan intensitas masukan sebesar $100\text{W}/\mu\text{m}$ sebagai berikut:

Tabel 4. 3 karakteristik statik sensor indeks dengan intensitas masukan $100\text{ W}/\mu\text{m}$

Karakteristik Statik	nilai
Sensitivitas	0.295
<i>Range</i>	1.3-1.44
Resolusi	0.00014
Non-linearitas	1.311
Akurasi	-
Tingkat kepresisian	-
<i>Response Time</i>	-

Dari hasil diatas dapat diambil kesimpulan bahwa, jika diberi masukan sinar dengan intensitas sebesar $100\text{W}/\mu\text{m}$ pada sensor indeks bias yang diuji, tidak terjadi perubahan pada karakteristik statik jika dibandingkan dengan sensor tanpa pengaruh Kerr effect.



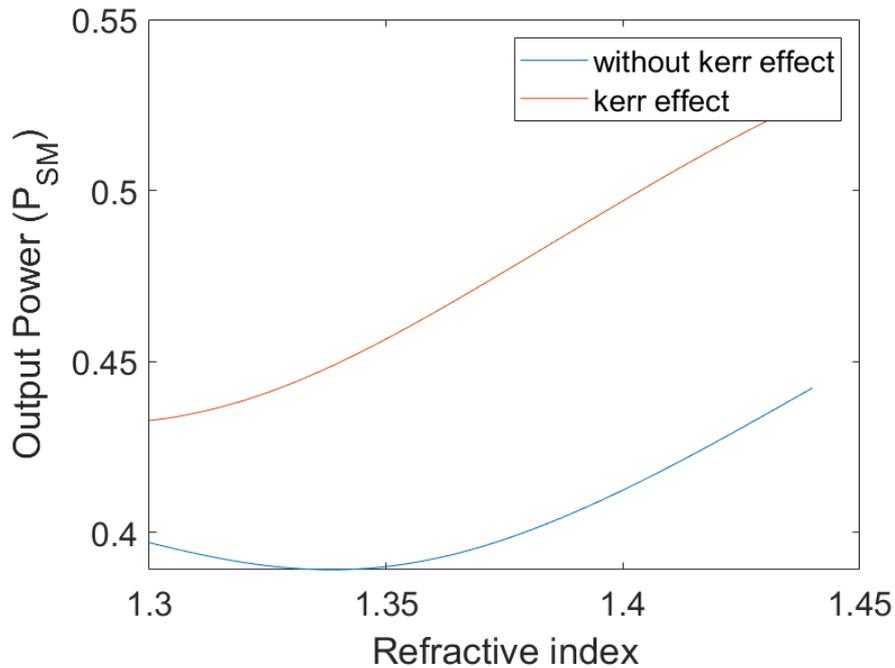
Gambar 4. 5 grafik pengaruh indeks bias dengan intensitas masukan $1\text{ kW}/\mu\text{m}$

Dari data hasil diatas kemudian dihitung karakteristik statik dan didapatkan karakteristik statik dari sensor yang dpengaruhi *Kerr effect* dengan intensitas masukan sebesar $1\text{kW}/\mu\text{m}$ sebagai berikut:

Tabel 4. 4 karakteristik statik sensor indeks bias dengan intensitas $1\text{kW}/\mu\text{m}$

Karakteristik Statik	nilai
Sensitivitas	0.295
<i>Range</i>	1.3-1.44
Resolusi	0.00014
Non-linearitas	1.311
Akurasi	-
Tingkat kepresisian	-
<i>Response Time</i>	-

Dari hasil diatas dapat diambil kesimpulan bahwa, jika diberi masukan sinar dengan intensitas sebesar $1\text{kW}/\mu\text{m}$ pada sensor indeks bias yang diuji, tidak terjadi perubahan pada karakteristik statik dari sensor.



Gambar 4.3 grafik Pengaruh Indeks Bias dengan intensitas masukan $66\text{ kW}/\mu\text{m}$

Dari hasil pengaruh *Kerr effect* pada intensitas masukan $66\text{ kW}/\mu\text{m}$ didapatkan karakteristik statik dari sensor sebagai berikut:

Tabel 4. 5 karakteristik statik dari sensor indeks bias dengan pengaruh *Kerr effect*

Karakteristik Statik	nilai
Sensitivitas	0.346
<i>Range</i>	1.3-1.44
Resolusi	0.00014
Non-linearitas	0.956
Akurasi	-
Tingkat kepresisian	-
<i>Response Time</i>	-

Dari data diatas dapat diambil kesimpulan bahwa terjadi kenaikan 17% pada nilai sensitivitas dan penurunan 27% pada nilai non-linearitas jika sensor indeks bias yang diuji diberikan sinar dengan intensitas sebesar $66\text{kW}/\mu\text{m}$.

4.4 Pembahasan

Dari grafik pengaruh *Kerr effect* dapat disimpulkan bahwa untuk terjadi perubahan yang signifikan terhadap hubungan antara daya keluaran dengan indeks bias diperlukan intensitas masukan yang cukup besar yaitu sebesar $66\text{ kW}/\mu\text{m}$. Hal tersebut disebabkan karena serat optik *graded-index* yang digunakan merupakan serat optik *graded-index* konvensional, tidak seperti serat optik serat optik *graded-index* yang digunakan oleh peneliti lain seperti contohnya menambahkan *micro-cavity* pada sambungan antara SMF dan GIMF (Gong, Guo, Rao, Zhao, & Wu, Fiber-Optic Fabry-Perot Sensor based on Periodic Focusing Effect of Graded-Index Multimode Fibers, 2010)

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengujian dan Analisa data yang telah dilakukan, dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

- Hubungan antara nilai indeks bias *cladding* dengan daya keluaran serat optik pada indeks bias 1.35 hingga 1.44 adalah linear yaitu semakin besar indeks bias dari *cladding* daya yang diteruskan akan semakin besar.
- Penambahan pengaruh *Kerr effect* menyebabkan peningkatan sensitivitas sebesar 17% dan penurunan pada nilai non-linearitas sebesar 27%. Hal itu membuktikan bahwa penambahan *Kerr effect* dapat meningkatkan karakteristik statik dari sensor tersebut.

5.2 Saran

Pada penelitian tugas akhir ini, terdapat beberapa hal yang perlu diperbaiki, saran yang dapat diberikan oleh penulis adalah sebagai berikut:

- Untuk mengatasi kebutuhan daya masukan yang tinggi agar terjadi perubahan yang signifikan, kedepannya pada serat optik GIMF perlu diberi perlakuan khusus seperti *micro cavity* atau perlakuan perlakuan lainnya.

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR PUSTAKA

- ChemistryGod. (2019, may 04). *Accuracy and Precicion in Chemistry*. Retrieved from chemistrygod.com: <https://chemistrygod.com/accuracy-and-precision-in-chemistry>
- Chen, H. R., Tsai, C. Y., Chang, C., Lin, K. H., Chang, C. S., & Hsieh, W. F. (2015). Investigation of graphene dispersion from kelly sideband in stable mode-locked erbium-doped fiber laser. *Journal of Lightwave Technologies*, 4406-4412.
- Fidanboyly, K., & Efendioglu, H. S. (2009). FIBER OPTIC SENSORS AND THEIR APPLICATIONS. *5th International Advanced Technologies Symposium (IATS'09)*, 1-6.
- Gong, Y., Guo, Y., Rao, Y.-J., Zhao, T., & Wu, Y. (2010). Fiber-Optic Fabri-Perot Sensor Based on Periodic Focusing Effect of Graded-Index Multimode Fibers. *IEEE Photonics Technology Letters*, 1708-1710.
- Gong, Y., Guo, Y., Rao, Y.-J., Zhao, T., & Wu, Y. (2010). Fiber-Optic Fabry-Perot Sensor based on Periodic Focusing Effect of Graded-Index Multimode Fibers. *IEEE photonics technology letters*, 1708.
- Kumar, A., Varshney, R. K., C., S. A., & Sharma, P. (2003). *Transmission Characteristics of SMS FIber Optic Sensor Structures*. New Delhi: elsevier.
- Liu, Y., & Wei, L. (2007). Low-cost high-sensitivity strain and temperature sensing using graded-index multimode fibers. *Applied Optics*, 2516-2519.
- National Instruments. (2020, july 15). *Sensor Terminology*. Retrieved from ni.com: <https://www.ni.com/en-id/innovations/white-papers/13/sensor-terminology.html>
- Thyagarajan, K., & Ghatak, A. (1998). *Introduction to Fiber Optics*. UK: Cambridge University Press.
- Zhang, F., He, J., Xu, X., & Wang, Y. (2018). *Highly sensitive temperature sensor based on a Mach-Zender interferometer created in graded index fiber*. Shenzen: IEEE.

Halaman ini sengaja dikosongkan