



TESIS - TF 142510

PEMANFAATAN FIBER OPTIK *SINGLEMODE-MULTIMODE-SINGLEMODE* (SMS) SEBAGAI SENSOR ALKOHOL DALAM LARUTAN

MEFINA YULIAS ROFIANINGRUM
NRP. 2414201009

Pembimbing I:
Agus Muhammad Hatta, M.Si, Ph.D
Pembimbing II:
Prof. Dr. Ir. Sekartedjo

PROGRAM MAGISTER
BIDANG KEAHLIAN REKAYASA INSTRUMENTASI INDUSTRI
JURUSAN TEKNIK FISIKA
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOVEMBER
SURABAYA
2016



TESIS - TF 142510

**APPLICATION OF FIBER OPTIC SINGLEMODE-
MULTIMODE-SINGLEMODE (SMS) STRUCTURE AS
ALCOHOL SENSOR IN ALCOHOL-WATER
SOLUTION**

MEFINA YULIAS ROFIANINGRUM
NRP. 2414201009

Supervisor I:
Agus Muhammad Hatta, M.Si, Ph.D
Supervisor II:
Prof. Dr. Ir. Sekartedjo

MASTER PROGRAM
INDUSTRIAL INSTRUMENTATION ENGINEERING
DEPARTMENT OF ENGINEERING PHYSICS
FACULTY OF INDUSTRIAL TECHNOLOGY
INSTITUTE OF TECHNOLOGY SEPULUH NOVEMBER
SURABAYA
2016

Tesis disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar
Magister Teknik (M.T.)

di

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

oleh :

MEFINA YULIAS ROFIANINGRUM

NRP. 2414 201 009

Tanggal Ujian : 20 Juli 2016

Periode Wisuda : September 2016

Disetujui oleh :

1. Agus M. Hatta, S.T, M.Si, Ph.D
NIP. 19780902200312 1 002 (Pembimbing I)
2. Prof. Dr. Ir. Sekartedjo, M.Sc.
NIP. 19500402 197901 1 001 (Pembimbing II)
3. Dr.rer.nat.Ir . Aulia M.T. Nasution, M.Sc (Penguji I)
NIP. 1967117199702 1 001
4. Dr. Bambang L.Widjiantoro,S.T,MT (Penguji II)
NIP. 19690507 199512 1 001

Direktur Program Pascasarjana,



Djauhar
Prof. Ir. Djauhar Manfaat, M.Sc., Ph.D.

NIP. 19601202 198701 1 001

PEMANFAATAN FIBER OPTIK SINGLEMODE-MULTIMODE-SINGLEMODE (SMS) SEBAGAI SENSOR ALKOHOL DALAM LARUTAN

Nama Mahasiswa : Mefina Yulias Rofianingrum
NRP : 2414201009
Pembimbing 1 : Agus Muhammad Hatta, ST, M.Si, Ph.D
Pembimbing 2 : Prof. Dr. Ir Sekartedjo, M.Sc

ABSTRAK

Alkohol telah banyak digunakan dalam berbagai macam bidang baik industri makanan, industri obat-obatan dan bioteknologi. Namun, pada kadar tertentu alkohol juga dapat membahayakan manusia. Oleh karena itu diberlakukan aturan mengenai batas maksimal kandungan alkohol yang diperbolehkan dalam masing-masing bidang, misalnya dalam industri makanan. Di Indonesia, kadar maksimal alkohol pada makanan yang diperbolehkan oleh BPOM adalah 5%. Oleh karena itu, analisis kadar alkohol sangat diperlukan agar tidak terjadi konsumsi alkohol berlebih dan untuk mencegah dampak buruk dari konsumsi alkohol tersebut. Dalam melakukan pengujian kadar alkohol pada minuman BPOM tidak bisa mengetahui langsung kadar alkohol yang terkandung dalamnya. Minuman tersebut diuji di Laboratorium untuk mengetahui kelayakannya. Proses uji Laboratorium membutuhkan waktu yang cukup lama, sehingga bagi para pedagang tidak bisa langsung mengetahui apakah minumannya diperbolehkan untuk dijual. Dalam penelitian ini dikembangkan biosensor berbasis fiber optik berstruktur *Singlemode-Multimode-Singlemode* (SMS) untuk mengetahui konsentrasi alkohol pada campuran alkohol-air. Sensor fiber optik SMS ini memanfaatkan prinsip *sensing* indeks bias. Cahaya laser ditransmisikan pada fiber optik SMS yang bagian *cladding* multimodenya dimodifikasi dengan larutan alkohol sehingga daya output yang dihasilkan akan berubah seiring perubahan konsentrasi alkohol dalam larutan. Fiber optik SMS yang telah difabrikasi memiliki panjang multimode 3 mm ; 5 mm; 7 mm, 8 mm; 10 mm ; 12,5 mm; 14 mm dan 15 mm; 40 mm dan 60 mm. Dari penelitian ini, diketahui bahwa fiber optik SMS dengan panjang multimode 15 mm memiliki sensitivitas yang paling baik yaitu sebesar 0,858 dB per % v/v dengan range pengukuran 0 hingga 5 % v/v pada panjang gelombang 1310 nm dan struktur dengan panjang multimode 10 mm memiliki sensitivitas mencapai 1,425 dB per % v/v dengan range pengukuran 2,5 hingga 5 % v/v pada panjang gelombang 1550 nm.

Kata Kunci : Alkohol, sensor, fiber optik SMS, larutan alkohol-air

APPLICATION OF SINGLEMODE-MULTIMODE- SINGLEMODE
(SMS) FIBER OPTIC AS ALCOHOL SENSOR IN ALCOHOL-WATER
SOLUTION

By : Mefina Yulias Rofianingrum
Student Identity Number : 2414201009
Supervisor 1 : Agus Muhammad Hatta, ST, M.Si, Ph.D
Supervisor 2 : Prof. Dr. Ir Sekartedjo, M.Sc

ABSTRACT

Alcohol has been used in various field such as food industry, medicine industry and biotechnology. However, it also has some disadvantages if it overly consumed. Therefore, there are some limitation of allowed alcohol concentration in each field. In Indonesia, allowed alcohol concentration in food is 5%. Food and also beverages are being tested before they are sold. But the testing procedure takes long time in laboratory. In this research, *Singlemode-Multimode-Singlemode* (SMS) fiber optic was developed to sense alcohol concentration in alcohol-water solution. Fiber optic SMS structure sensor used refractive index sensing principle. Laser light was transmitted through fiber optic SMS structure with modified multimode cladding by alcohol solution. The power output would change due to alcohol concentration's changing. Fabricated SMS fiber optic has multimode length 3 mm ; 5 mm; 7 mm, 8 mm; 10 mm ; 12,5 mm; 14 mm dan 15 mm; 40 mm and 60 mm. From this research, we got the fiber optic SMS structured with 40 mm of multimode length with sensitivity 0,858 dB per % v/v with measure range 0% to 5% v/v at 1310 nm and 10 mm of multimode length with sensitivity 1,425 dB per % v/v with measure range 2,5% to 5% v/v at 1550 nm.

Keyword : Alcohol, sensor, SMS fiber optic, alcohol-water solution

DAFTAR ISI

ABSTRAK.....	iv
ABSTRACT.....	v
KATA PENGANTAR.....	vi
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR GAMBAR.....	x
DAFTAR TABEL.....	xi
BAB 1	
PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Perumusan Masalah.....	3
1.3 Tujuan Penelitian.....	3
1.4 Manfaat Penelitian.....	3
1.5 Batasan Masalah.....	3
BAB 2	
KAJIAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI.....	5
2.1 Kajian Pustaka.....	5
2.2 Alkohol.....	6
2.3 Fiber Optik SMS.....	7
2.4 Karakteristik Statik Sensor.....	10
2.4.1 Range.....	10
2.4.2 Span.....	10
2.4.3 Sensitivitas.....	10
2.4.4 Repeatabilitas.....	11
2.4.5 Resolusi.....	11
BAB 3	
METODE PENELITIAN.....	13
3.1 Studi Literatur.....	13
3.2 Perancangan Sensor Alkohol berbasis Fiber Optik SMS secara Teoritis.....	14

3.2.1	Penentuan Parameter Sensor Alkohol dalam Larutan.....	15
3.2.2	Perhitungan Konstanta Propagansi.....	16
3.2.3	Perhitungan Daya Output.....	17
3.3	Pengujian Sensor secara Eksperimen.....	18
3.3.1	Fabrikasi Fiber Optik struktur SMS.....	18
3.3.2	Karakterisasi Fiber Optik Berstruktur SMS.....	18
3.3.3	Pengujian Fiber Optik SMS sebagai Sensor Alkohol.....	19
BAB 4		
HASIL DAN PEMBAHASAN		21
4.1	Analisa Perancangan Sensor Alkohol berbasis Fiber Optik SMS...21	21
4.2	Analisa Sensor Alkohol berbasis Fiber Optik SMS.....	28
4.2.1	Karakteristik Fiber Optik SMS.....	28
4.2.2	Analisa Respon Sensor Fiber Optik SMS terhadap Larutan Uji.....	29
BAB 5		
KESIMPULAN.....		37
DAFTAR PUSTAKA.....		39
LAMPIRAN.....		41
BIODATA PENULIS		

DAFTAR GAMBAR

Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian	13
Gambar 3.2 Diagram Alir Perhitungan.....	14
Gambar 3.3 Hubungan antara Indeks Bias Larutan dengan Konsentrasi Alkohol dalam Larutan.....	15
Gambar 3.3 Diagram Alir Eksperimen.....	18
Gambar 3.4 Set Up Alat Pengujian Respon Struktur terhadap Larutan Alkohol....	19
Gambar 4.1 Respon Pout tiap panjang multimode yang berbeda pada konsentrasi alkohol 0% dan 5 % dengan panjang gelombang 1310 nm dan Pin -6 dBm.....	22
Gambar 4.2 Respon Pout tiap panjang multimode yang berbeda pada konsentrasi alkohol 0% dan 5 % dengan panjang gelombang 1550 nm dan Pin -6 dBm.....	22
Gambar 4.3 Selisih Daya Output tiap Struktur dengan Daya Input -6 dBm.....	23
Gambar 4.4 Respon Pout terhadap konsentrasi alkohol pada panjang gelombang 1310 nm secara teoritis.....	24
Gambar 4.5 Respon Pout terhadap konsentrasi alkohol pada panjang gelombang 1550 nm secara teoritis.....	24
Gambar 4.6 Respon linier daya output terhadap konsentrasi alkohol pada L=15 mm dan panjang gelombang 1310 nm.....	25
Gambar 4.7 Respon linier daya output terhadap konsentrasi alkohol pada L=15 mm dan panjang gelombang 1550 nm.....	26
Gambar 4.8 Respon daya output terhadap konsentrasi alkohol pada 1310 nm.....	30
Gambar 4.9 Respon daya output terhadap konsentrasi alkohol pada 1550 nm.....	30
Gambar 4.10 Daya output ternormalisasi tiap konsentrasi pada 1310 nm.....	31
Gambar 4.11 Daya output ternormalisasi tiap konsentrasi pada 1550 nm.....	32
Gambar 4.12 Respon struktur SMS dengan L=15 mm pada 1310 nm.....	32
Gambar 4.13 Respon struktur SMS dengan L=15 mm pada 1550 nm.....	33

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Indeks Bias Alkohol pada 20 °C.....	6
Tabel 3.1 Karakteristik Fiber Optik.....	16
Tabel 4.1 Karakteristik Struktur SMS secara Teoritis	27
Tabel 4.2 Karakteristik Fiber Optik SMS	29
Tabel 4.3 Karakteristik tiap struktur secara eksperimen.....	33

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Alkohol telah banyak digunakan dalam berbagai macam bidang baik industri makanan, industri obat-obatan dan bioteknologi. Oleh karena itu, analisis kadar alkohol sangat diperlukan untuk menentukan efek dari konsumsi alkohol tersebut. Metode yang biasanya digunakan dalam pengukuran kadar alkohol pada larutan di antaranya adalah teknik kromatografi yaitu gas chromatography, *High Performance Liquid Chromatography* (HPLC), kemudian capillary electro, Raman spectrometry, metode enzimatik dan metode kolonmetrik. Namun metode-metode tersebut memiliki kelemahan yaitu biaya peralatan yang mahal, waktu analisis yang lama, kestabilan yang rendah dan banyaknya sistem yang kompleks yang akan mempengaruhi pengukuran (Saad, 2013).

Seiring perkembangan teknologi, fiber optik mengalami perkembangan yang sangat pesat dan mendapatkan perhatian yang besar karena dianggap mudah digunakan, lebih sensitif, non-konduktif, tidak terpengaruh oleh adanya gelombang elektromagnetik di sekitar sistem, fast response dan *low cost*. Perkembangan fiber optik yang pesat menyebabkan aplikasi fiber optik saat ini tidak hanya dimanfaatkan sebagai media transmisi cahaya namun juga sebagai sensor.

Secara umum, sensor fiber optik dibagi menjadi dua tipe, yaitu intrinsik dan ekstrinsik. Dalam jenis sensor ekstrinsik fiber optik hanya digunakan sebagai media transportasi cahaya untuk sistem penginderaan eksternal yaitu struktur fiber tidak diubah dengan cara apapun sebagai fungsi penginderaan. Sensor fiber optik intrinsik berbeda dengan bentuk sensor fiber optik ekstrinsik. Pada fiber optik ekstrinsik, cahaya tidak harus meninggalkan fiber optik untuk menjalankan fungsi penginderaan. Sedangkan pada sensor fiber optik intrinsik, struktur fiber optik dimodifikasi dan memainkan peran aktif dalam fungsi penginderaan. Sensor fiber optik intrinsik memberikan banyak keuntungan dibandingkan sensor konvensional, meliputi ketahanan terhadap interferensi elektromagnetik, ukurannya kecil dan kuat, sensitivitas tinggi, selektivitas, dapat melakukan pengukuran di lokasi tertentu

dan real time, penginderaan jauh, memiliki kemampuan multiplexing dan juga fleksibel (El-sherif, 2003). Oleh karena itu telah banyak dikembangkan biosensor fiber optik intrinsik. Rosenzweig membuat sensor glukosa fiber berbasis fluorescent dengan menggunakan photomultiplier dan photon counter pada fluorescent microscope, diperoleh respon time 1,5 detik dan range pengukuran 18 -180 mg/dl dengan linearitas tinggi (Kopelman, Z and Rosenzweig, R., 1996) . Wang menggunakan *bifurcated fiber* dan *sensing membrane* untuk menganalisa konsentrasi glukosa dengan mengukur perubahan fasa dari sinyal fluorescence akibat penyerapan oksigen pada membran. Dari penelitian tersebut diperoleh *detection limit* 50 mg/dl (Wang, H., J. Huang, Y. Yuan, L. Ding, and D. Fan, 2010).

Beberapa penelitian menggunakan fiber optik sebagai sensor alkohol telah menunjukkan hasil yang menarik. Coradin, dkk menggunakan Long Period Grating (LPG) dan etched Fiber Bragg Grating (FBG) untuk mengetahui konsentrasi etanol pada larutan dengan pelarut air dan konsentrasi etanol pada campuran etanol dan bensin. Dari penelitian tersebut diketahui bahwa fiber optik tersebut memiliki sensitivitas yang tinggi terhadap indeks bias medium sekitarnya namun memiliki range pengukuran yang kecil (Coradin, 2010). Kemudian Saad, dkk menggunakan tapered plastic optical fiber (POF) untuk mendeteksi konsentrasi etanol pada air. Dari struktur ini diperoleh sensitivitas hingga 35,67 per wt% (Saad, 2013). Meskipun memiliki sensitivitas yang tinggi, struktur ini memiliki kelemahan yaitu daerah sensing yang rapuh dan tingginya kesulitan dalam fabrikasi.

Untuk mengatasi kelemahan ini, telah banyak dikembangkan penelitian mengenai pemanfaatan fiber optik singlemode-multimode-singlemode (SMS) dalam berbagai aplikasi misalnya sebagai sensor pergeseran yang dilakukan oleh (A. Mehta, W. S. Mohammed, and E. G. Johnson, 2003) dan sebagai *band pass filter* (Waleed S. Mohammed, Peter W. E. Smith, and Xijia Gu, 2006). Dari penelitian tersebut diperoleh hasil yang memuaskan dibandingkan struktur lainnya. Oleh karena itu, dalam penelitian ini digunakan fiber optik silika berstruktur singlemode-multimode-singlemode (SMS) sebagai sensor alkohol pada larutan alkohol-air.

1.2 Perumusan Masalah

Permasalahan dalam penelitian ini adalah bagaimana merancang dan mengkarakterisasi fiber optik berstruktur SMS untuk sensing alkohol pada larutan.

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah merancang dan mengkarakterisasi sensor alkohol berbasis fiber optik SMS.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah dapat mengembangkan teknologi sensor berbasis fiber optik dan dapat menghasilkan sensor yang memiliki respon yang baik untuk analisis kualitatif kadar alkohol pada larutan.

1.5 Batasan Masalah

Batasan masalah dalam penelitian ini meliputi:

1. Konfigurasi fiber optik yang digunakan berstruktur Singlemode-Multimode- Singlemode (SMS)
2. Larutan yang diuji berupa campuran alkohol dengan air dengan konsentrasi alkohol 0 % sampai dengan 5%
3. Panjang gelombang sumber cahaya yang digunakan adalah 1310 nm dan 1550 nm

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB 2

KAJIAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

2.1 Kajian Pustaka

Penelitian tentang penggunaan fiber optik untuk deteksi alkohol dalam larutan telah dilakukan oleh Coradin, dkk menggunakan Long Period Grating (LPG) dan etched Fiber Bragg Grating (FBG) untuk mengetahui konsentrasi etanol pada larutan dengan pelarut air dan konsentrasi etanol pada campuran etanol dan bensin. Dari penelitian tersebut diketahui bahwa fiber optik tersebut memiliki sensitivitas yang tinggi terhadap indeks bias medium sekitarnya namun memiliki range pengukuran yang kecil (Coradin, 2010). Kemudian dilanjutkan oleh Saad, dkk dengan menggunakan Tapered Plastic Optical Fiber sebesar 0.5 cm yang kemudian dilapisi dengan material sensing poly-vinyl alcohol (PVA) dan SiO₂. Penggunaan tapered POF bertujuan untuk meningkatkan sensitivitas dimana POF peka terhadap perubahan lingkungan karena reduksi diameter fiber dapat secara kuat meningkatkan gelombang evanescent. Dengan melapisi POF menggunakan PVA yang dicampurkan dengan SiO₂ dan diaplikasikan menggunakan metode dip-coating maka sensor dapat lebih efektif digunakan pada perbedaan panjang gelombang UV-Vis dan daerah dekat inframerah. Sensor tersebut menghasilkan sensitivitas sebesar 35.67% per wt% pada rentang konsentrasi alkohol 2% - 10% dan 0.2% - 1% konsentrasi etanol (Saad, 2013). Penelitian menggunakan fiber multimode taper telah dilakukan oleh (Girei, 2013). Prinsip kerja sensor berdasarkan absorpsi spektroskopi dalam rentang panjang gelombang tampak. Variasi konsentrasi etanol antara 5% - 40 % dan profil taper sebesar 40 μ m dan 20 mm dimaksudkan agar absorpsi fiber meningkat secara linear. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sensor memiliki respon yang cepat sekitar 14 detik akan tetapi recovery time nya rendah sebesar 27 detik. Meskipun memiliki sensitivitas yang tinggi, struktur ini memiliki kelemahan yaitu daerah sensing yang rapuh dan tingginya kesulitan dalam fabrikasi.

2.2 Alkohol

Alkohol merupakan senyawa organik yang mempunyai gugus – OH yang terkait pada atom C dari rangkaian alifatik atau siklik. Sebagian alkohol digunakan sebagai pelarut, mempunyai sifat asam lemah, mudah menguap dan mudah terbakar. Pada alkohol primer (1°), atom karbon yang membawa gugus -OH hanya terikat pada satu gugus alkil. Pada alkohol sekunder (2°), atom karbon yang mengikat gugus –OH berikatan langsung dengan dua gugus alkil, kedua gugus alkil ini bisa sama atau berbeda. Pada alkohol tersier (3°), atom karbon yang mengikat gugus -OH berikatan langsung dengan tiga gugus alkil, yang bisa merupakan kombinasi dari alkil yang sama atau berbeda (Betram, 2002).

Makin besar konsentrasi alkohol dalam sebuah larutan maka akan mempengaruhi cepat rambat cahaya melewati larutan tersebut sehingga mempengaruhi indeks bias larutan tersebut. Indeks bias larutan alkohol dalam air tiap konsentrasi ditunjukkan pada Tabel 2.1 (Nowakoska, 1939).

Tabel 1.1 Indeks Bias Alkohol pada 20 °C

Konsentrasi (% v/v)	Indeks Bias		
	589,29 nm	1310 nm	1550 nm
0	1,3330	1,3247	1,3235
0,5	1,3333	1,3250	1,3238
1	1,3335	1,3252	1,3240
1,5	1,3338	1,3255	1,3243
2	1,3341	1,3258	1,3246
2,5	1,3344	1,3261	1,3249
3	1,3347	1,3264	1,3252
3,5	1,3350	1,3267	1,3255
4	1,3353	1,3270	1,3258
4,5	1,3356	1,3273	1,3261
5	1,3359	1,3276	1,3264

Sumber : (Nowakoska, 1939)

2.3 Fiber Optik SMS

Seiring dengan perkembangan jaringan fiber optik, penting untuk menyediakan interkoneksi dengan bandwidth yang besar pada jaringan tersebut. Untuk aplikasi tersebut perlu diciptakan device fotonik terintegrasi dengan harga murah, ukuran dan insertion loss yang lebih kecil. Pembagi daya adalah device dasar dalam optika terintegrasi seperti device optik pasif dalam jaringan distribusi, rangkaian fotonik yang kompleks serta sebagai komponen optik aktif. Beberapa solusi telah diusulkan dan direalisasikan untuk memecah atau menggabungkan sinyal optik, salah satunya adalah device MMI. Pada beberapa tahun terakhir, device MMI telah menarik perhatian dikarenakan beberapa kelebihan antara lain ukurannya yang kecil (ringkas), toleransi yang besar dalam proses fabrikasi dan bandwidth yang besar.

Prinsip kerja dari *device* MMI berdasarkan pada self-imaging effect. Bringdahl adalah orang pertama yang mengusulkan penggunaan pipa cahaya untuk membentuk multiple self-image dari sebuah objek yang simetri, Wrich melanjutkan konsep refleksi gambar dari objek yang random pada pandu gelombang multimode dan memungkinkan terciptanya fiber interferometer berdasarkan pada fenomena yang sama.

Prinsip self imaging merupakan sifat dari pandu gelombang multimode dimana profil dari medan input diciptakan kembali dalam bentuk single atau multiple image pada interval periode tertentu sepanjang propagasinya. Pada device MMI terjadinya peristiwa interferensi konstruktif diantara moda-moda disebabkan adanya fenomena *self imaging*. Karena antar moda merambat dengan kecepatan fase yang berbeda-beda, sehingga moda-moda tersebut berinterferensi membentuk 1 atau lebih bentuk interferensi, maka disebut multiple image yang bergantung pada posisi disepanjang sumbu propagasi. *Self imaging* terjadi pada struktur 3 dimensi, dan dengan metode tertentu dapat disederhanakan menjadi menjadi 2 dimensi.

Pada fiber optik MMI dapat diimplementasikan dengan menggunakan fiber optik hetero-structure dengan singlemode-multimode-singlemode (SMS) yang step indeks (Wang, 2008). Adapun analisis modal propagation pada fiber optik SMS dapat menggunakan cylindrical coordinates dengan asumsi cahaya input fiber multimode memiliki distribusi medan $\psi(r,0)$ sama dengan pada fiber singlemode.

Medan input fiber multimode diwakili oleh eigenmode LP_{nm} ketika cahaya masuk daerah multimode. Akibat *circular simetry* medan input, hanya LP_{0m} yang dapat diteruskan. Jika profil distribusi medan dalam serat optic multimode diasumsikan $\psi_m(r)$, maka persamaan profil medan adalah sebagai berikut :

$$\psi(z = 0) = \psi_s = \sum A_m \psi_m(r) \quad (2.1)$$

dimana A_m merupakan koefisien eksitasi setiap moda atau amplitude penjalaran cahaya pada setiap moda yang dapat didekati dengan persamaan berikut

$$A_m = \frac{\int_0^\infty \psi(r,0)\psi_m(r)rdr}{\int_0^\infty \psi_m(r)^2rdr} \quad (2.2)$$

Dalam serat optic multimode pada jarak tertentu ($z=L$) maka distribusi gelombang cahaya dapat didekati dengan persamaan berikut

$$\psi(z = L) = \sum A_m \psi_m e^{-i\beta_m L} \quad (2.3)$$

Nilai daya output dari serat optik SMS dapat dihitung dengan Persamaan 2.4 berikut (Kumar, 2013)

$$P_{SM} = \left| \int_0^\infty \psi_s \psi(z = L) r dr \right|^2 \quad (2.4)$$

dimana $\psi(r, L)$ adalah profil distribusi medan ($z=L$); L = panjang serat optic *multimode*; A_m adalah koefisien eksitasi tiap moda; ψ_m adalah profil distribusi medan *multimode*; j adalah bilangan imajiner dan β_m merupakan konstanta propagasi moda ke- m .

Efek pemecahan daya optik pada bagian output divais MMI memiliki nilai panjang layangan tertentu secara periodik. Panjang layangan atau beat Length (L_π) dari dua moda terendah adalah

$$L_\pi = \frac{\pi}{\beta_0 - \beta_1} \quad (2.5)$$

(Soldano, 1995)

Fiber optik berstruktur Singlemode-Multimode-Singlemode (SMS) difabrikasi dengan cara menyambungkan fiber optik singlemode dengan multimode dan kemudian menyambungkannya kembali dengan fiber optik singlemode. Fiber optik struktur SMS dapat memanfaatkan profil fiber optik multimode graded-index maupun step-index. Fiber optik jenis step index adalah fiber optik yang memiliki indeks bias seragam sepanjang core sedangkan pada jenis graded index, indeks bias core beragam sebagai fungsi jarak dari pusatnya. Dapat dikatakan bahwa indeks bias graded-index fiber semakin menurun seiring dengan bertambahnya jari-jari. Indeks bias cladding bernilai tetap dan lebih kecil dibandingkan core, walaupun indeks bias core menurun namun penurunannya tidak akan lebih kecil atau sama dengan indeks bias cladding. Adapun besarnya loss transmisi pada fiber optik SMS ditunjukkan pada persamaan berikut

$$L(l) = 10 \log \left(\left| \sum_{n=1}^N A_n^2 \exp(j\beta_n l) \right|^2 \right) \quad (2.6)$$

dimana l adalah panjang fiber optik multimode, A_n dan β_n merupakan koefisien eksitasi dan konstanta propagansi moda LP_{0n} dan N adalah jumlah moda yang terpandu dalam fiber optik multimode. Banyaknya moda yang terpandu dalam fiber optik multimode step indeks ditentukan oleh frekuensi ternormalisasi sebagai berikut

$$V = k_0 a_M \sqrt{n_{core}^2 - n_{clad}^2} \quad (2.7)$$

dengan a_M merupakan jari-jari fiber optik multimode, k_0 adalah bilangan gelombang di ruang hampa, serta n_{core} dan n_{clad} adalah indeks bias core dan cladding fiber optik multimode. Untuk moda tertentu, konstanta propagansi ditentukan dengan persamaan

$$\beta_n = k_0 n_{eff}^{(n)} \quad (2.8)$$

dimana $n_{eff}^{(n)}$ merupakan indeks bias pada moda LP_{0n} yang berkaitan dengan indeks bias *surrounding medium* (Wang, 2008).

2.4 Karakteristik Statik Sensor

Sensor merupakan salah satu bagian dari *transducer* yang berfungsi untuk melakukan *sensing* atau “menangkap” adanya perubahan energi *external* yang masuk pada bagian input *transducer*, sehingga perubahan energi yang ditangkap oleh sensor akan dikirim ke konverter agar bisa diubah menjadi energi listrik (Stoylen). Karakteristik sensor dibagi menjadi dua yaitu karakteristik statik dan dinamik. Karakteristik statik ditentukan oleh sifat sensor yang perubahannya tidak berubah terhadap waktu yaitu

2.4.1 Range

Range adalah nilai minimal dan maksimal masukan (I_{min} , I_{max}) dan keluaran (O_{min} , O_{max}) sensor (Bentley, 1995).

2.4.2 Span

Span adalah variasi maksimum input atau output suatu sistem pengukuran. Span dihitung berdasarkan persamaan berikut (Bentley, 1995)

$$\text{Input Span} = \text{Input max} - \text{Input min} \quad (2.7)$$

$$\text{Output Span} = \text{Output max} - \text{Output min} \quad (2.8)$$

2.4.3 Sensitivitas

Sensitivitas akan menunjukkan seberapa jauh kepekaan sensor terhadap kuantitas yang diukur. Sensitivitas sering juga dinyatakan dengan bilangan yang menunjukkan perubahan keluaran dibandingkan unit perubahan masukan. Linearitas sensor juga mempengaruhi sensitivitas dari sensor. Apabila tanggapannya linear, maka sensitivitasnya juga akan sama untuk jangkauan pengukuran keseluruhan. Sensitivitas merupakan perbandingan antara perubahan output dengan perubahan input dari suatu sistem pengukuran. Sensitivitas dapat dihitung menggunakan persamaan (Bentley, 1995)

$$\text{Sensitivitas} = \frac{\text{Output}_{max} - \text{Output}_{min}}{\text{Input}_{max} - \text{Input}_{min}} \quad (2.9)$$

2.4.4 Repeatabilitas

Penyebab error repeatability adalah ketika sensor tidak mampu lagi memberikan nilai yang sama pada kondisi yang identik. Error repeatability dinyatakan sebagai:

$$\delta = \frac{\Delta}{FS} \times 100\% \quad (2.10)$$

dimana δ adalah error repeatability (%), Δ adalah daerah dengan stimulus berbeda memberikan tegangan yang hampir sama dan FS adalah jangkauan pengukuran (Bentley, 1995).

2.4.5 Resolusi

Resolusi merupakan kemampuan suatu sensor untuk membedakan nilai terkecil dari hasil pembacaan sensor. Resolusi sensor (R) dapat didefinisikan melalui persamaan berikut

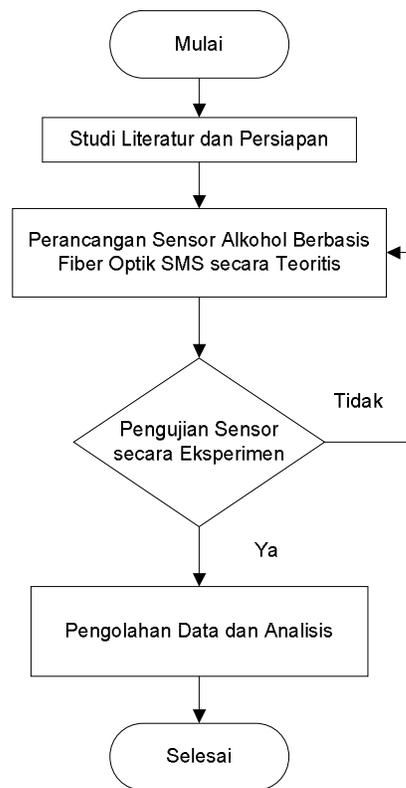
$$Resolusi = \frac{\Delta\phi}{sensitivitas} \quad (2.11)$$

dimana $\Delta\phi$ adalah resolusi alat ukur yang digunakan (Bentley, 1995).

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB 3 METODE PENELITIAN

Dalam bab ini dijelaskan mengenai langkah-langkah yang dilakukan dalam penelitian. Gambar 3.1 menunjukkan prosedur yang dilakukan dalam pengerjaan tesis ini meliputi metode teoritis dan eksperimen.



Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

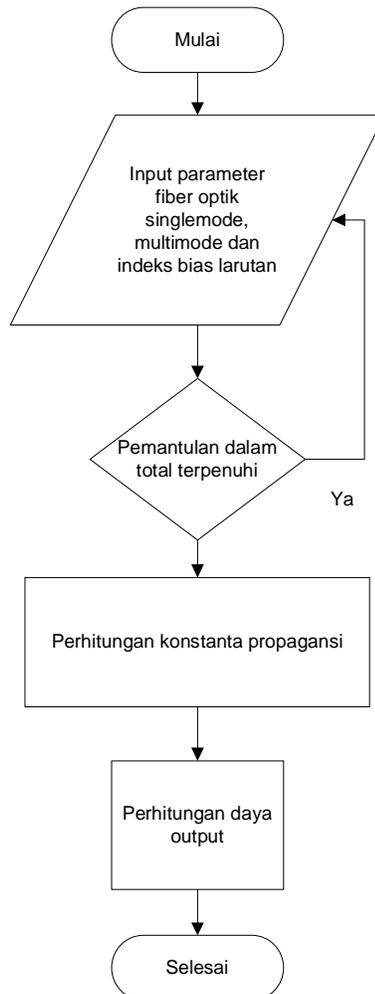
3.1 Studi Literatur

Studi literatur merupakan langkah awal yang dilakukan dalam penelitian ini. Hal ini bertujuan untuk menunjang keberhasilan topik yang akan dibahas. Dalam tahapan ini dilakukan studi literatur mengenai teori dan penelitian terkait metode *sensing* alkohol, struktur fiber optik yang digunakan sebagai sensor, mekanisme

sensing, prinsip pemanduan cahaya pada sensor fiber optik dan karakteristik sensor SMS.

3.2 Perancangan Sensor Alkohol berbasis Fiber Optik SMS secara Teoritis

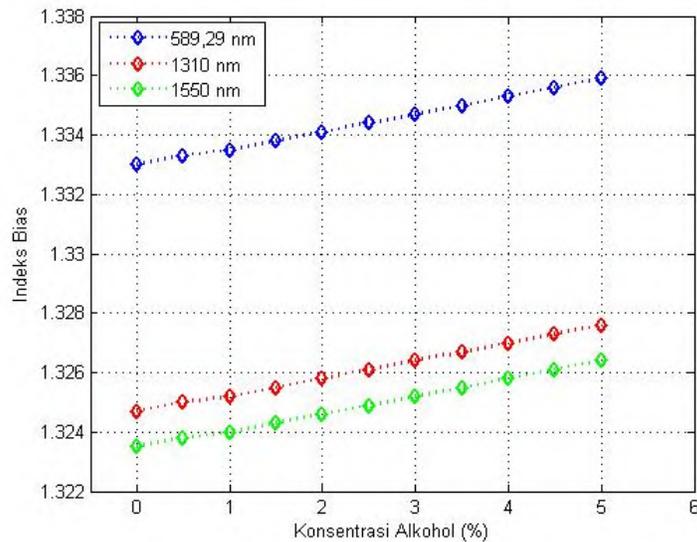
Dalam tahapan ini dilakukan perhitungan secara teoritis untuk mengetahui struktur fiber optik SMS yang memiliki karakteristik terbaik sebagai sensor alkohol dalam larutan alkohol-air. Karakteristik sensor yang diutamakan dalam mempertimbangkan struktur yang digunakan dalam penelitian ini adalah sensitivitas struktur terhadap perubahan konsentrasi alkohol dalam larutan. Adapun diagram alir perhitungan ditunjukkan pada Gambar 3.2.



Gambar 3.2 Diagram Alir Perhitungan

3.2.1 Penentuan Parameter Sensor Alkohol dalam Larutan

Parameter-parameter sensor alkohol berbasis fiber optik SMS ditentukan sebagai nilai input yang akan mempengaruhi output sensor. Parameter-parameter ini meliputi suhu lingkungan, konsentrasi alkohol dalam larutan, panjang gelombang sumber cahaya yang digunakan, panjang multimode serta parameter dalam fiber optik struktur SMS yaitu diameter *core* dan *cladding*, indeks bias *core*, dan jenis fiber optik yang digunakan. Suhu lingkungan yang digunakan dalam perancangan ini adalah 20°C, kemudian panjang gelombang cahaya yang digunakan adalah 1310 nm dan 1550 nm, serta konsentrasi alkohol dalam larutan yang digunakan adalah 0% sampai dengan 5%v/v. Adapun hubungan antara konsentrasi alkohol dalam larutan alkohol-air dengan indeks bias larutan ditunjukkan pada Gambar 3.3 sebagai berikut.



Gambar 3.3 Hubungan antara Indeks Bias Larutan dengan Konsentrasi Alkohol dalam Larutan

Kemudian dari Gambar tersebut diperoleh Persamaan (3.1), Persamaan (3.2) dan Persamaan (3.3), dimana n_1 adalah indeks bias larutan pada panjang gelombang 589,29 nm; n_2 adalah indeks bias larutan pada panjang gelombang 1310 nm; dan n_3 adalah indeks bias larutan pada panjang gelombang 1550 nm serta C adalah

konsentrasi alkohol dalam larutan. Ketiga persamaan ini hanya berlaku pada suhu lingkungan 20°C dan rentang konsentrasi 0% sampai dengan 5%v/v. Persamaan dapat berubah pada rentang konsentrasi yang lebih tinggi.

$$n_1 = 0,0006 C + 1,3329 \quad (3.1)$$

$$n_2 = 0,0006 C + 1,3246 \quad (3.2)$$

$$n_3 = 0,0006 C + 1,3234 \quad (3.3)$$

Range panjang multimode yang akan digunakan mulai dari 3 mm hingga 60 mm. Pemilihan panjang minimum multimode sebesar 3 mm berkaitan dengan kemampuan fabrikasi yang memungkinkan untuk dilakukan. Adapun fiber optik yang digunakan memiliki karakteristik yang ditunjukkan pada Tabel 3.1.

Tabel 3.1 Karakteristik Fiber Optik

No.	Fiber Optik	Jenis	Diameter <i>core</i> (μm)	Diameter <i>cladding</i> (μm)	Indeks bias <i>core/cladding</i>
1	Singlemode	SMF pigtail step index	9	125	1,45/1,44
2	Multimode	MMF <i>coreless</i> step index	-	125	- /1,444

3.2.2 Perhitungan Konstanta Propagansi

Sensor alkohol dalam larutan berbasis fiber optik struktur SMS ini menggunakan prinsip *sensing indeks bias*. Fiber optik multimode pada struktur SMS ini berperan sebagai daerah *sensing*. Larutan uji akan berperan sebagai daerah *cladding* pada bagian multimode tersebut. Adanya perubahan konsentrasi alkohol dalam larutan uji akan menyebabkan perubahan indeks bias pada larutan sehingga indeks bias *cladding*nya akan berubah. Perubahan indeks bias *cladding* ini lah yang menyebabkan perubahan konstanta propagansi yang berarti moda-moda yang terpandu dalam fiber optik SMS ini akan berubah dan indeks bias efektifnya akan

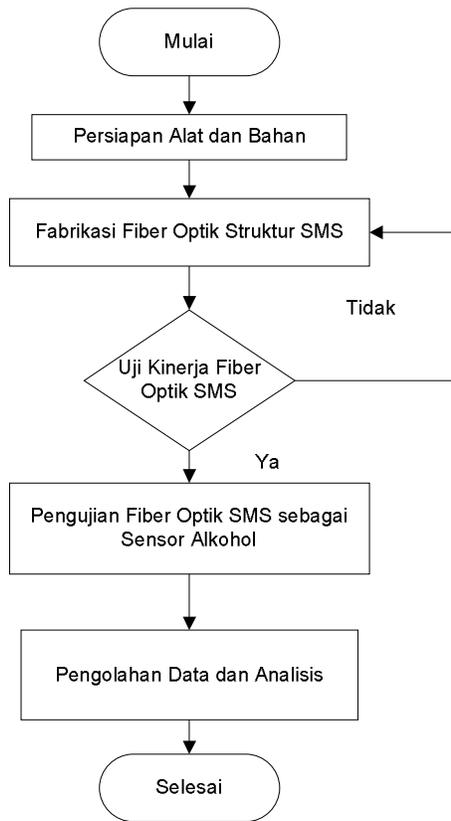
berubah. Adapun nilai indeks bias alkohol dalam tiap konsentrasi ditunjukkan pada Tabel 2.1 pada bab sebelumnya. Karena dalam sensor fiber optik ini perlu memperhatikan prinsip pemantulan dalam total maka konsentrasi alkohol yang dapat disensing terbatas pada indeks biasnya yaitu indeks bias larutan uji tidak boleh melebihi indeks bias 'core' fiber optik multimode. Perhitungan konstanta propagansi dilakukan dengan memasukkan input parameter fiber optik struktur SMS pada Persamaan 2.7 dan 2.8.

3.2.3 Perhitungan Daya Output

Perhitungan respon daya output dilakukan dengan melakukan perhitungan *coupling loss* untuk tiap titik sambungan. Perhitungan daya output ini menggunakan Persamaan 2.6 pada bab sebelumnya. Dengan mengetahui respon daya output tiap struktur terhadap perubahan konsentrasi larutan maka akan diketahui sensitivitas dari struktur tersebut dimana nilai sensitivitas merupakan perbandingan antara selisih output maksimal dan minimal dengan selisih input maksimal dan minimal. Dengan melakukan perhitungan daya output untuk tiap struktur SMS dengan panjang multimode yang berbeda maka akan diketahui struktur dengan panjang gelombang yang memiliki sensitivitas terbesar. Dari hasil perhitungan secara teoritis yang dilakukan, akan diambil empat buah struktur yang memiliki respon terbaik terhadap perubahan konsentrasi alkohol dalam larutan dibandingkan struktur lainnya untuk diuji secara eksperimen.

3.3 Pengujian Sensor secara Eksperimen

Dalam tahapan ini dilakukan pengujian terhadap empat buah sensor fiber optik struktur SMS dengan panjang multimode yang berbeda. Adapun langkah-langkah pengujian secara eksperimen ditunjukkan pada Gambar 3.3.



Gambar 3.4 Diagram Alir Eksperimen

3.3.1 Fabrikasi Fiber Optik struktur SMS

Fiber optik SMS difabrikasi dengan menyambungkan ujung fiber optik singlemode dengan multimode menggunakan alat penyambung Fussion Splicer dan kemudian menghubungkan dengan fiber optik singlemode. Sebelum disambung, coating pada ujung-ujung fiber optik dikupas terlebih dahulu, kemudian dibersihkan dengan alkohol 96% dan dipotong ujungnya dengan rapi. Dalam tahap ini, diberikan variasi panjang multimode untuk tiap struktur SMS.

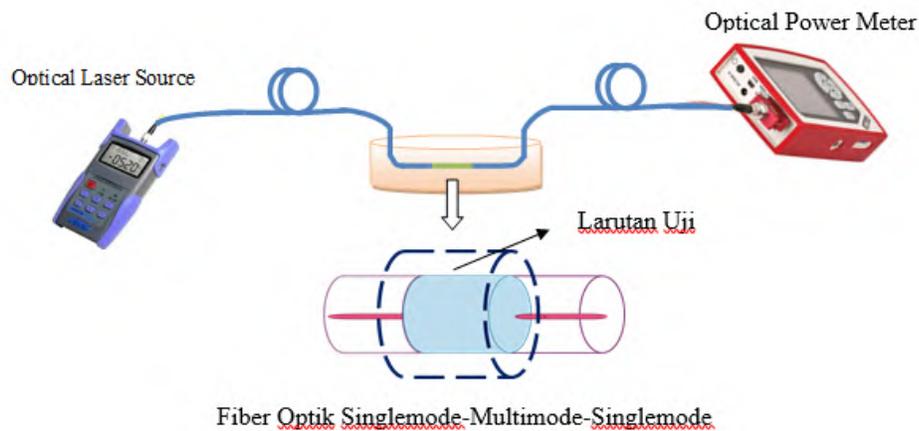
3.3.2 Karakterisasi Fiber Optik Berstruktur SMS

Sebelum dilakukan pengujian respon struktur terhadap larutan uji, dilakukan karakterisasi tiap struktur hasil sambungan di udara untuk mengetahui kinerja struktur tersebut. Dalam tahap ini data yang diukur berupa daya output dari struktur dengan daya input sebesar -6 dBm. Variasi yang diberikan dalam tahapan ini adalah

panjang multimode struktur SMS dan panjang gelombang input yaitu 1310 nm dan 1550 nm. Pengambilan data dilakukan selama 17 menit dengan interval waktu 10 detik.

3.3.3 Pengujian Fiber Optik SMS sebagai Sensor Alkohol

Dalam tahapan ini dilakukan persiapan pembuatan larutan alkohol dengan melakukan pengenceran terhadap larutan alkohol 70% dengan menggunakan pelarut aquades. Kemudian struktur dicelupkan ke dalam larutan uji dan kedua ujungnya dihubungkan dengan *Optical Laser Source* dan *Optical Power Meter* seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.4.



Gambar 3.5 Set Up Alat Pengujian Respon Struktur terhadap Larutan Alkohol

Variasi yang diberikan pada tahapan ini adalah variasi panjang multimode, variasi konsentrasi larutan yaitu 0 hingga 5% v/v dengan rentang 0,5% v/v dan variasi panjang gelombang input yaitu 1310 nm dan 1550 nm. Daya input yang diberikan oleh laser adalah sebesar -6 dBm dan pengambilan data dilakukan selama 8 menit dengan interval 5 detik dan pengulangan sebanyak 3 kali tiap konsentrasi pada masing-masing struktur.

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB 4

HASIL DAN PEMBAHASAN

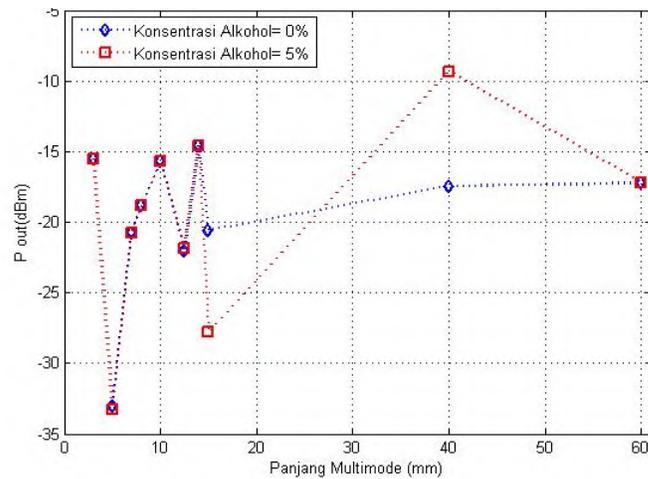
Dalam bab ini akan ditunjukkan data hasil penelitian beserta analisa data pengujian kinerja fiber optik SMS secara teoritis dan eksperimen. Melalui analisa data dari pengujian ini akan diperoleh karakteristik dari fiber optik SMS sebagai sensor alkohol dalam larutan alkohol-air.

4.1 Analisa Perancangan Sensor Alkohol berbasis Fiber Optik SMS

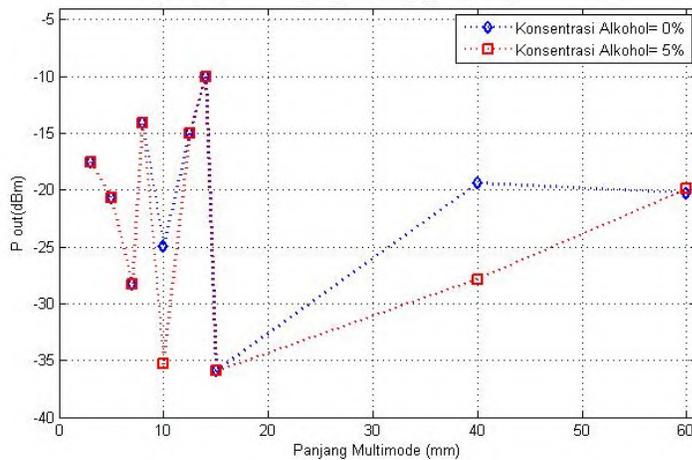
Analisa perancangan sensor ini mengacu pada sub bab 3.2 mengenai perancangan sensor alkohol berbasis fiber optik SMS secara teoritis. Seperti yang telah dijelaskan sebelumnya, penggunaan fiber optik SMS sebagai sensor alkohol ini memanfaatkan prinsip *sensing* indeks bias. Fiber optik multimode pada struktur ini berperan sebagai daerah *sensing*. Fiber optik multimode yang digunakan dalam penelitian ini adalah fiber optik multimode *coreless* dimana tidak terdapat *core* pada fiber dan *cladding* pada fiber langsung berperan sebagai daerah *core* sehingga tidak memerlukan proses etsa kimiawi yang relatif sulit dan berbahaya. Dalam metode ini, daerah *core* pada fiber optik multimode akan langsung berinteraksi dengan larutan uji (*surrounding medium*) yang berperan sebagai daerah *cladding*. Adanya perubahan konsentrasi pada larutan maka akan mengakibatkan terjadinya perubahan indeks bias pada *surrounding medium* atau daerah *cladding*. Seiring perubahan indeks bias *surrounding medium* maka konstanta propagansi tiap moda yang terpandu dalam fiber optik multimode akan berubah sehingga akan mempengaruhi daya output yang terukur pada *Optical Power Meter* (OPM). Ketika indeks bias *surrounding medium* lebih kecil daripada indeks bias *core* maka fiber tersebut dapat dikatakan fiber optik multimode tersebut *weakly guiding* dengan profil step indeks, sehingga struktur menjadi seperti struktur SMS konvensional dengan ukuran *core* yang lebih besar.

Dalam penelitian ini, larutan uji yang digunakan adalah campuran antara alkohol dngan aquades dengan konsentrasi 0% v/v hingga 5 % v/v dengan interval 0,5% v/v. Dari hasil perhitungan secara teoritis yaitu dengan menggunakan

Persamaan 2.6, diperoleh respon daya output terhadap panjang multimode struktur SMS pada konsentrasi alkohol 0% v/v dan konsentrasi alkohol 5% v/v pada panjang gelombang 1310 nm dan 1550 nm seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.1 dan Gambar 4.2 sebagai berikut

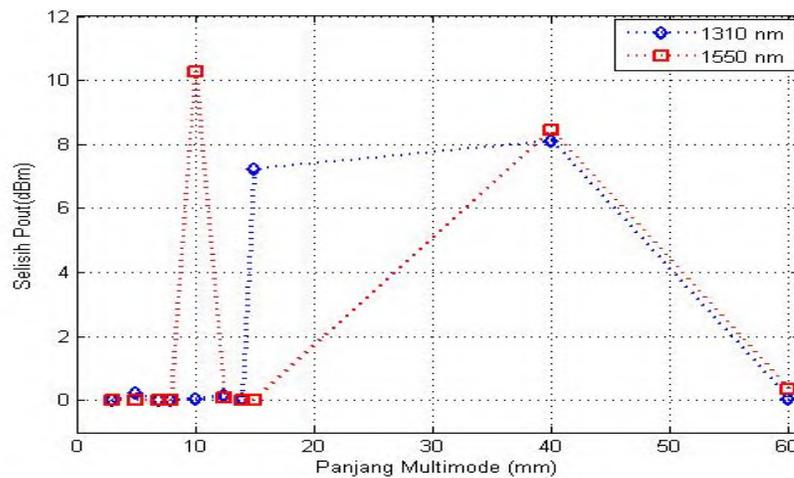


Gambar 4.1 Respon Pout tiap panjang multimode yang berbeda pada konsentrasi alkohol 0% dan 5 % dengan panjang gelombang 1310 nm dan Pin -6 dBm



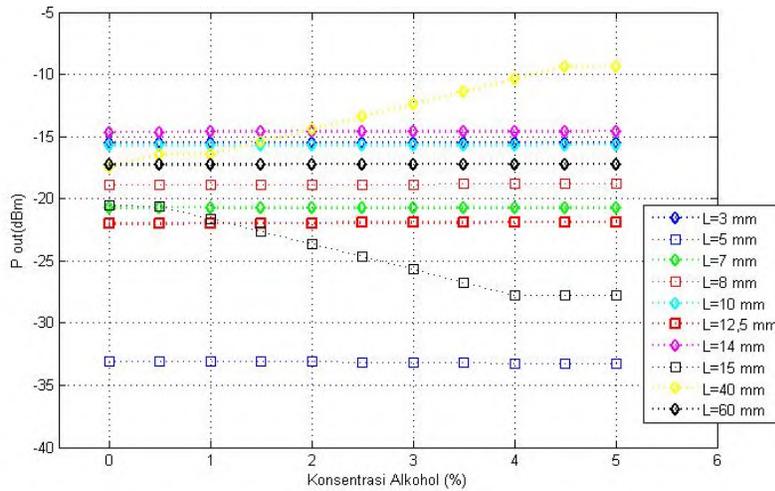
Gambar 4.2 Respon Pout tiap panjang multimode yang berbeda pada konsentrasi alkohol 0% dan 5 % dengan panjang gelombang 1550 nm dan Pin -6 dBm

Dari Gambar 4.1 dan Gambar 4.2 diketahui bahwa perbedaan daya output pada saat konsentrasi alkoholnya 0% dengan pada saat konsentrasi alkoholnya 5% terbesar terjadi pada struktur SMS dengan panjang multimode 10 mm, 15 mm, 40 mm dan 60 mm atau dapat dilihat pada Gambar 4.3 dimana selisih Pout adalah selisih daya output pada larutan dengan konsentrasi alkohol 0% dan daya output pada larutan dengan konsentrasi alkohol 5%. Makin besar selisih daya ini maka akan makin besar sensitivitas sensor tersebut, seperti yang ditunjukkan pada Persamaan 2.5.

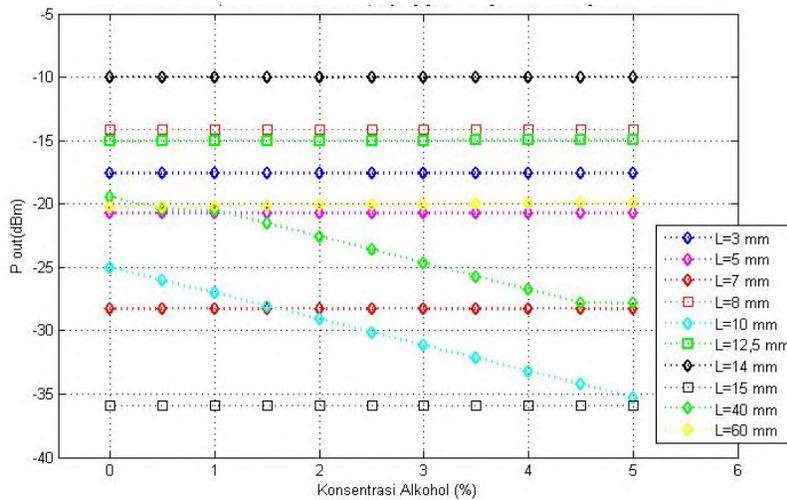


Gambar 4.3 Selisih Daya Output tiap Struktur dengan Daya Input -6 dBm

Persamaan 2.6 kemudian digunakan lagi untuk menentukan respon daya output struktur terhadap konsentrasi larutan uji secara teoritis. Dari perhitungan ini diperoleh grafik hubungan antara daya output dengan konsentrasi alkohol pada larutan untuk tiap struktur SMS dengan panjang multimode yang berbeda seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.4 dan Gambar 4.5.



Gambar 4.4 Respon Pout terhadap konsentrasi alkohol pada panjang gelombang 1310 nm secara teoritis



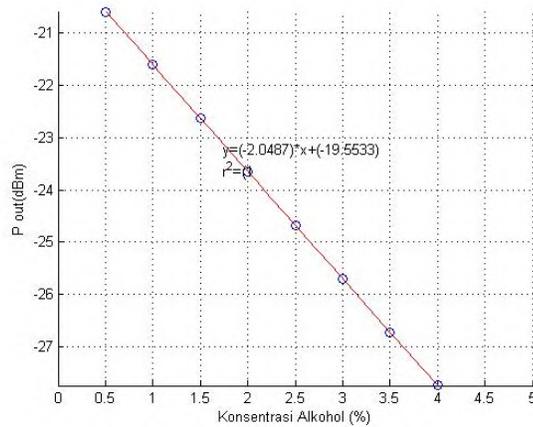
Gambar 4.5 Respon Pout terhadap konsentrasi alkohol pada panjang gelombang 1550 nm secara teoritis

Dari Gambar 4.4 diketahui bahwa respon daya output yang mencolok ditunjukkan pada fiber optik dengan panjang multimode 40 mm dan 15 mm. Pada struktur dengan panjang multimode 40 mm, respon daya output linier terjadi pada konsentrasi alkohol 1% sampai dengan 4,5% v/v dengan sensitivitas mencapai 2,024 dB per % v/v. Sedangkan pada struktur dengan panjang multimode 15 mm,

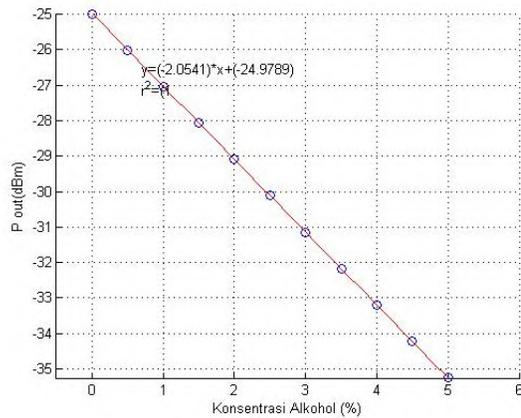
respon linier terjadi pada konsentrasi alkohol 0,5% sampai dengan 4% v/v dengan sensitivitas mencapai 2,049 dB per %v/v.

Dari Gambar 4.5 diketahui bahwa respon daya output yang mencolok ditunjukkan pada fiber optik dengan panjang multimode 40 mm, 10 mm dan 60 mm. Pada struktur dengan panjang multimode 40 mm, respon linier terjadi pada konsentrasi alkohol 1% sampai dengan 4,5% v/v dengan sensitivitas mencapai 2,024 dB per % v/v. Sedangkan pada struktur dengan panjang multimode 10 mm, respon linier terjadi pada konsentrasi alkohol 0% sampai dengan 5% v/v dengan sensitivitas mencapai 2,054 dB per %v/v. Pada struktur dengan panjang multimode 60 mm, respon linier terjadi pada konsentrasi alkohol 1% sampai dengan 5% v/v dengan sensitivitas mencapai 0,074 dB per %v/v.

Dari Gambar 4.4 dan Gambar 4.5 diambil sebagian data dimana struktur memberikan respon yang linier terhadap perubahan konsentrasi alkohol dalam larutan. Gambar 4.6 menunjukkan respon linier dari struktur SMS dengan panjang multimode 15 mm pada panjang gelombang 1310 nm, sedangkan Gambar 4.7 menunjukkan respon linier yang terjadi pada struktur SMS dengan panjang multimode 10 mm pada panjang gelombang 1550 nm.



Gambar 4.6 Respon linier daya output terhadap konsentrasi alkohol pada L=15 mm dan panjang gelombang 1310 nm



Gambar 4.7 Respon linier daya output terhadap konsentrasi alkohol pada $L=15$ mm dan panjang gelombang 1550 nm

Dari kedua gambar tersebut diketahui bahwa semakin besar konsentrasi alkohol dalam suatu larutan maka loss transmisinya akan makin besar sehingga daya output yang terukur akan semakin kecil. Hal ini dapat dijelaskan dengan menggunakan Persamaan 2.6 dimana daya output dipengaruhi oleh pola medan listrik pada daerah sambungan fiber optik multimode dan singlemode serta moda yang terpandu dalam fiber optik SMS dimana kedua hal tersebut dipengaruhi oleh koefisien propagansi, koefisien eksitasi, banyaknya moda terpandu yang berkaitan juga dengan indeks bias dan juga panjang fiber optik multimode. Makin besar konsentrasi alkohol dalam larutan maka indeks bias larutan yang berfungsi sebagai *cladding* akan semakin besar sehingga jumlah moda yang terpandu dalam fiber optik tersebut semakin kecil. Jika moda yang terpandu makin kecil maka konstanta propagansinya akan semakin kecil pula sehingga daya output yang dihasilkan akan semakin kecil. Hal ini bertolak belakang pada beberapa struktur seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.1 dan Gambar 4.2 dimana makin besar konsentrasinya maka daya output yang dihasilkan makin besar. Pada beberapa struktur tersebut terjadi perubahan koefisien eksitasi yang besar di tiap moda dan terjadi penurunan jumlah moda yang terpandu yang jauh kecil dibandingkan kenaikan koefisien eksitasinya sehingga penurunan jumlah moda ini tidak terlalu mempengaruhi daya output yang dihasilkan dan daya output akan semakin meningkat seiring kenaikan konsentrasi alkohol dalam larutan.

Dari data yang diperoleh pada Gambar 4.1 dan Gambar 4.2, diperoleh data karakteristik masing-masing struktur sebagai sensor alkohol dalam larutan seperti yang ditunjukkan pada Tabel 4.1. Dari tabel ini kemudian akan disimpulkan struktur SMS yang memiliki karakteristik terbaik untuk diujikan secara eksperimen.

Tabel 4.1 Karakteristik Struktur secara Teoritis

Panjang Multimode (mm)	Sensitivitas (dB per % v/v)		Range Input (% v/v)				Range Output (dBm)				Span Input (% v/v)		Span Output (dBm)	
	1310 nm	1550 nm	1310 nm		1550 nm		1310 nm		1550 nm		1310 nm	1550 nm	1310 nm	1550 nm
			max	min	max	min	max	min	max	min				
3	0,002	0,003	2	0	5	1	-15,492	-15,492	-17,552	-17,562	2,0	4,0	0,000	0,010
5	0,048	0,003	5	1	5	1	-33,078	-33,270	-20,704	-20,714	4,0	4,0	0,192	0,010
7	0,002	0,001	5	1	5	3	-20,745	-20,754	-28,260	-28,263	4,0	2,0	0,008	0,003
8	0,002	0,005	5	1	5	1	-18,832	-18,840	-14,105	-14,126	4,0	4,0	0,008	0,021
10	0,008	2,054	5	1	5	0	-15,670	-15,703	-24,983	-35,252	4,0	5,0	0,033	10,269
12,5	0,031	0,016	5	1	5	1	-21,863	-21,987	-14,958	-15,021	4,0	4,0	0,125	0,064
14	0,011	0,000	5	1	3,5	2	-14,572	-14,617	-9,993	-9,994	4,0	1,5	0,045	0,001
15	2,049	0,006	4	0,5	4	3	-20,583	-27,750	-35,922	-35,928	3,5	1,0	7,167	0,006
40	2,024	2,024	4,5	1	4,5	1	-9,354	-16,436	-20,480	-27,798	3,5	3,5	7,082	7,318
60	0,013	0,074	5	2	5	1	-17,190	-17,228	-19,896	-20,192	3,0	4,0	0,038	0,296

Penentuan panjang multimode struktur SMS yang akan digunakan sebagai sensor alkohol dalam larutan akan mempengaruhi karakteristik sensor tersebut. Penentuan panjang multimode yang tepat akan menghasilkan sensor dengan karakteristik yang baik. Penentuan panjang fiber optik di awal perancangan tetap harus dipilih meskipun nilai daya akan terus berulang, dikarenakan beberapa alasan. Pertama, batas kemampuan fabrikasi yang memungkinkan dengan panjang multimode minimum harus diperhatikan. Makin pendek bagian multimode maka akan membutuhkan ketelitian yang makin tinggi dan memungkinkan terjadinya error pemotongan yang lebih besar. Selain itu, makin pendek bagian multimode juga akan menyebabkan struktur lebih rapuh. Kedua, sensor yang dirancang harus memiliki sensitivitas, span input dan output yang tinggi, karena salah satu kriteria sensor yang baik adalah memiliki sensitivitas dan span yang tinggi. Dari kedua

alasan tersebut maka dipilih empat buah struktur yang memiliki karakteristik terbaik yaitu struktur dengan panjang multimode 10 mm, 15 mm, 40 mm dan 60 mm. Keempat struktur ini kemudian difabrikasi dan akan diuji secara eksperimen. Berdasarkan perhitungan secara teoritis, fiber optik struktur SMS dengan panjang multimode 15 mm memiliki sensitivitas tertinggi yaitu 2,049 dB per % v/v pada range pengukuran 0,5 % sampai dengan 4% v/v dan panjang gelombang 1310 nm dan fiber optik struktur SMS dengan panjang multimode 10 mm memiliki sensitivitas tertinggi yaitu 2,054 dB per % v/v pada range pengukuran 0 % sampai dengan 5% v/v dan panjang gelombang 1550 nm.

4.2 Analisa Sensor Alkohol berbasis Fiber Optik SMS

Setelah dilakukan perancangan sensor untuk menentukan panjang multimode yang memiliki karakteristik terbaik maka dilakukan pengujian secara eksperimen. Dari tahapan sebelumnya telah diputuskan bahwa struktur yang akan diuji secara eksperimen adalah struktur dengan panjang multimode 10 mm, 15 mm, 40 mm dan 60 mm. Adapun langkah fabrikasi telah dijelaskan pada bab sebelumnya.

4.2.1 Karakteristik Fiber Optik SMS

Sebelum dilakukan pengujian respon fiber optik SMS terhadap larutan uji, dilakukan pengujian kinerja fiber optik SMS untuk mengetahui karakteristik fiber optik hasil fabrikasi tersebut. Fiber optik struktur SMS yang digunakan menggunakan fiber optik multimode *coreless*. Dalam hal ini, saat pengujian karakteristik struktur pada daerah multimode yang merupakan daerah *sensing*, udara berperan sebagai *cladding* dari fiber optik multimode *coreless*. Besarnya beda indeks bias antara *core* dan *cladding* pada fiber optik multimode *coreless* menyebabkan adanya *loss* pada daerah multimode, kemudian *loss* juga terjadi pada kedua titik sambungan pada fiber optik struktur SMS ini. Dalam pengujian kinerja fiber optik ini, fiber optik SMS hasil fabrikasi yang diuji respon daya outputnya ini menggunakan udara di lingkungan sebagai *cladding* pada struktur tersebut. Respon yang diukur dalam penelitian ini adalah berupa respon daya output dengan daya

input sebesar -6 dBm pada panjang gelombang 1310 nm dan 1550 nm. Adapun karakteristik fiber optik hasil fabrikasi ditunjukkan pada Tabel 4.1.

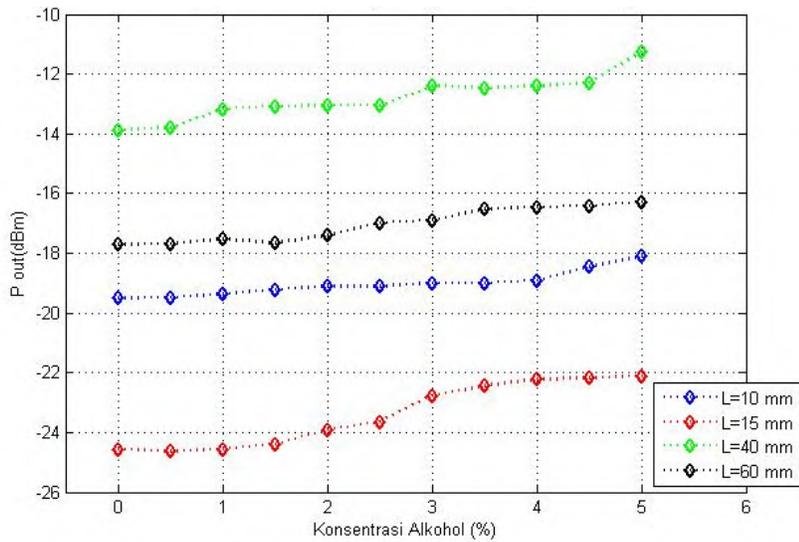
Tabel 4.2 Karakteristik Fiber Optik SMS

Panjang multimode (mm)	Pout	
	1310 nm	1510 nm
10	-30,992	-29,262
15	-21,684	-19,367
40	-33,109	-27,356
60	-17,695	-20,199

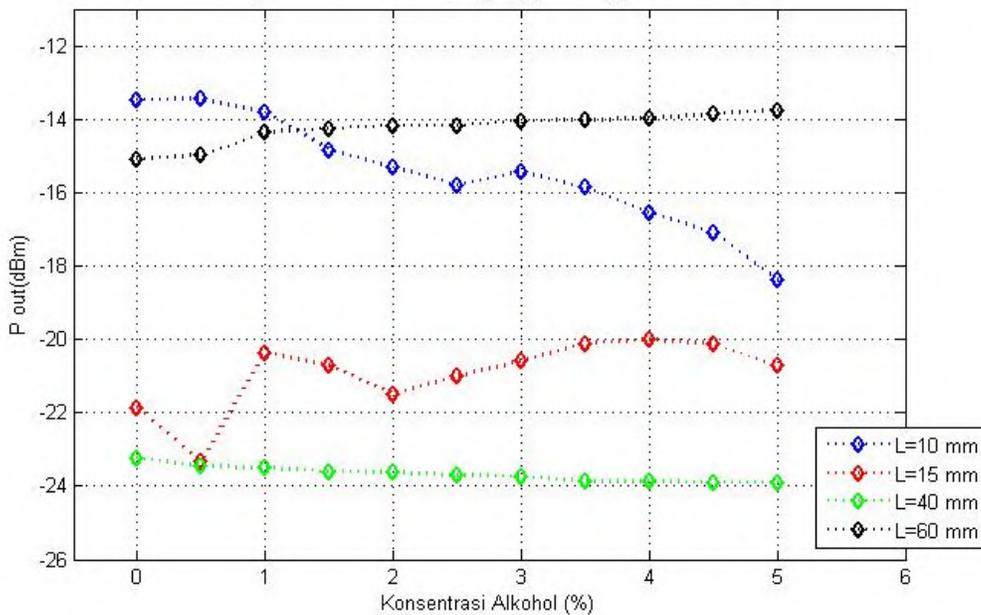
Dari Tabel 4.2 diketahui bahwa fiber optik SMS dengan panjang multimode 60 mm memiliki loss yang paling kecil dibandingkan panjang multimode lainnya. *Loss* yang dimaksudkan dalam hal ini adalah *loss* transmisi yang merupakan selisih dari daya input dan daya output. Kecilnya nilai *loss* ini disebabkan oleh terjadinya *self imaging* pada ujung fiber multimode dan cahaya yang dipandu ke fiber optik singlemode merupakan moda hasil interferensi maksimum sehingga memiliki intensitas yang tinggi yang kemudian akan menghasilkan daya output yang tinggi pula. Seperti yang telah dijelaskan sebelumnya, besarnya daya output pada fiber optik SMS dipengaruhi oleh pola medan listrik pada daerah sambungan fiber optik multimode dan singlemode serta moda yang terpandu dalam fiber optik SMS dimana kedua hal tersebut dipengaruhi oleh koefisien propagansi, koefisien eksitasi, banyaknya moda terpandu yang berkaitan juga dengan indeks bias dan juga panjang fiber optik multimode.

4.2.2 Analisa Respon Sensor Fiber Optik SMS terhadap Larutan Uji

Analisa respon sensor fiber optik SMS terhadap perubahan konsentrasi alkohol dalam larutan uji ini dilakukan dengan menganalisa respon daya output sensor fiber optik terhadap perubahan konsentrasi pada larutan. Respon daya output pada masing-masing struktur ditunjukkan pada Gambar 4.6 dan Gambar 4.7 sebagai berikut.



Gambar 4.8 Respon daya output terhadap konsentrasi alkohol pada 1310 nm

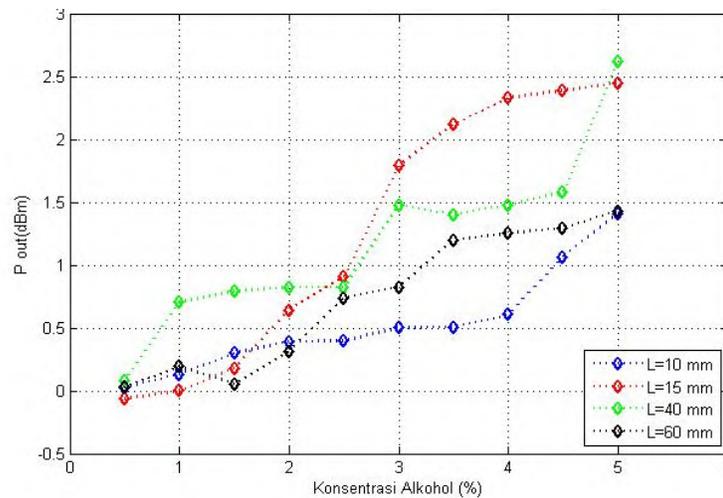


Gambar 4.9 Respon daya output terhadap konsentrasi alkohol pada 1550 nm

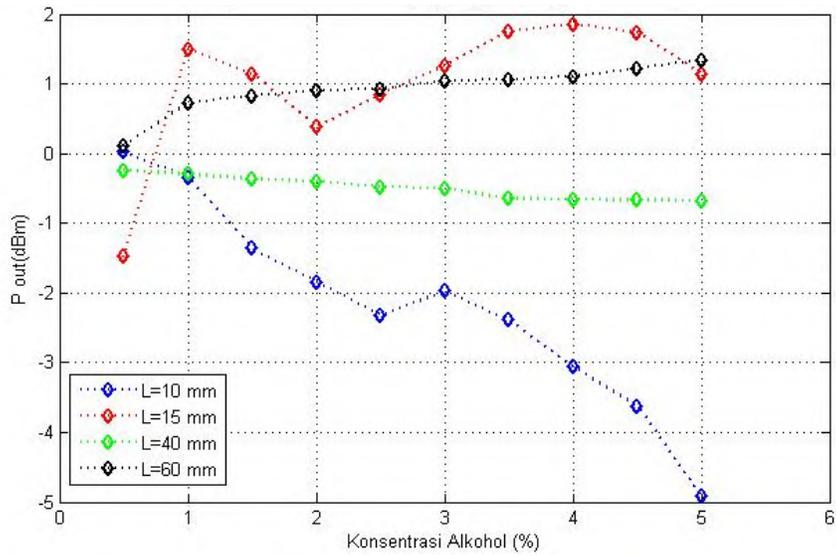
Dari Gambar 4.1 dan Gambar 4.2 diketahui bahwa pada struktur dengan panjang multimode 14 mm memiliki loss terkecil dibandingkan struktur lainnya. Hal ini berbeda dengan hasil karakterisasi sebelumnya dimana loss terkecil terjadi pada struktur dengan panjang multimode 60 mm. Hal ini dikarenakan pada saat karakterisasi yang berperan sebagai *surrounding medium* atau *cladding* adalah

udara sehingga terdapat perbedaan nilai daya output yang dihasilkan pada cladding dengan indeks bias yang berbeda. Namun, besar kecilnya *loss* tidak mempengaruhi besar kecilnya sensitivitas struktur tersebut. Hal ini ditunjukkan pula pada Gambar 4.5 dimana nilai sensitivitas tertinggi justru ditunjukkan pada struktur dengan panjang multimode 40 mm pada panjang gelombang 1310 nm dan 10 mm pada panjang gelombang 1550 nm. Seperti ditunjukkan pada Persamaan 2.5, besar kecilnya nilai sensitivitas dipengaruhi oleh besar kecilnya range perubahan daya output pada struktur. Kemudian besar kecilnya daya output ini dipengaruhi oleh koefisien propagansi, koefisien eksitasi, banyaknya moda terpandu yang berkaitan juga dengan indeks bias dan juga panjang fiber optik multimode seperti yang telah dijelaskan sebelumnya pada Persamaan 2.2.

Dari Gambar 4.8 dan Gambar 4.9 dapat diambil nilai daya output ternormalisasi yaitu selisih antara nilai daya output pada konsentrasi tertentu dengan nilai daya output pada saat konsentrasi alkoholnya 0% atau seluruh larutan hanya berupa aquades.

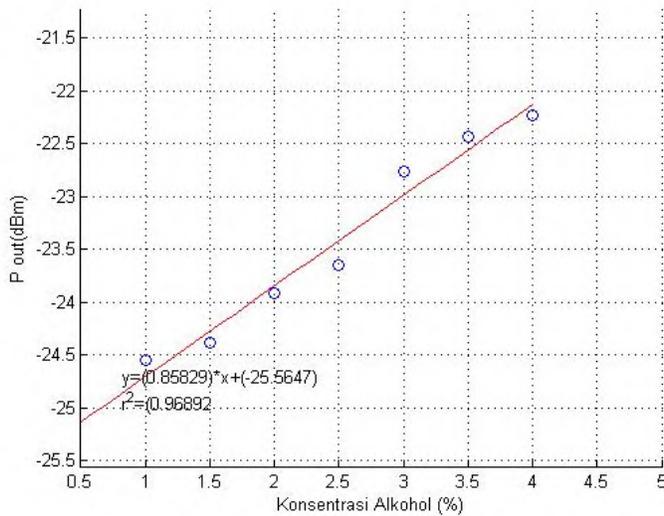


Gambar 4.10 Daya output ternormalisasi tiap konsentrasi pada 1310 nm

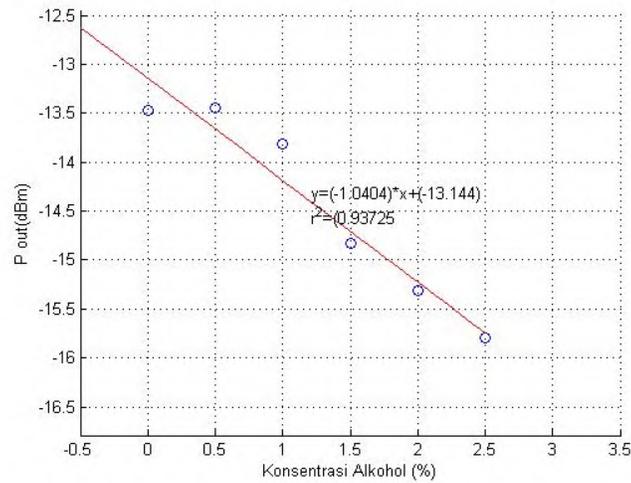


Gambar 4.11 Daya output ternormalisasi tiap konsentrasi pada 1550 nm

Dari Gambar 4.8 dan Gambar 4.9 diambil sebagian daerah dimana sensor menunjukkan respon yang linear. Gambar 4.12 menunjukkan respon linear yang ditunjukkan pada struktur dengan panjang multimode 15 mm pada 1310 nm. Dari gambar tersebut diketahui sensor mencapai sensitivitas mencapai 0,858 dB per% v/v dengan range pengukuran 1 % hingga 4% v/v.



Gambar 4.12 Respon struktur SMS dengan L=15 mm pada 1310 nm



Gambar 4.13 Respon struktur SMS dengan L=10 mm pada 1550 nm

Gambar 4.13 menunjukkan respon linear yang ditunjukkan pada struktur dengan panjang multimode 10 mm pada 1550 nm. Dari gambar tersebut diketahui sensor mencapai sensitivitas mencapai 1,040 dB per% v/v dengan range pengukuran 0 % hingga 2,5% v/v. Dari pengujian ini diperoleh nilai sensitivitas struktur terhadap konsentrasi alkohol sebagai berikut

Tabel 4.3 Karakteristik tiap struktur secara eksperimen

Panjang Multimode (mm)	Sensitivitas (dB per % v/v)		Range Input (% v/v)				Range Output (dBm)				Span Input (% v/v)		Span Output (dBm)	
	1310 nm	1550 nm	1310 nm		1550 nm		1310 nm		1550 nm		1310 nm	1550 nm	1310 nm	1550 nm
			max	min	max	min	max	min	max	min				
10	0,802	1,425	5	3,5	5	2,5	-18,1	-	-	-	1,5	2,5	0,802	2,948
15	0,858	0,908	4	1	3,5	2	22,227	24,556	20,101	21,009	3	1,5	2,329	0,908
40	0,704	0,285	1	0,5	1	0,5	13,174	13,878	23,221	23,506	0,5	0,5	0,704	0,285
60	0,560	0,149	3,5	1	5	2	16,515	17,660	14,255	14,976	2,5	3	1,145	0,721

Dari Tabel 4.3 tersebut diketahui bahwa nilai sensitivitas terbesar terjadi pada struktur dengan panjang multimode 15 mm pada panjang gelombang 1310 nm dan 10 mm pada panjang gelombang 1550 nm. Hal ini sesuai dengan hasil perhitungan secara teoritis. Adanya perbedaan nilai sensitivitas secara teoritis dan secara

eksperimen disebabkan ada pendekatan teoritis diberikan asumsi-asumsi tertentu sehingga memudahkan perhitungan, di antaranya adalah temperatur larutan dalam perhitungan stabil pada 20°C dan diasumsikan bahwa tidak terjadi *misalignment* pada saat penyambungan pada kedua titik sambungan, sedangkan pada saat pengambilan data, temperatur hanya dapat dipertahankan dari 20°C hingga 25°C saja. Temperatur ini sangat mempengaruhi nilai output yang dihasilkan karena larutan alkohol memiliki indeks bias yang berbeda pada temperatur yang berbeda. Indeks bias inilah yang akan mempengaruhi konstanta propagansi gelombang yang terpandu dalam fiber optik SMS ini yang kemudian juga akan mempengaruhi daya output yang dihasilkan. Selain itu, pada saat penyambungan tidak dapat diketahui secara pasti apakah terjadi *misalignment* antara kedua ujung yang disambung, namun dapat diasumsikan tidak terjadi *misalignment* dengan melihat bahwa *estimation loss* pada saat penyambungan mencapai 0 dB.

Dari data yang diperoleh pada Gambar 4.8 sampai dengan Gambar 4.11 juga diketahui karakteristik statik sensor yang lainnya yaitu range dan span. Range sensor untuk tiap struktur menunjukkan nilai yang berbeda-beda seperti yang ditunjukkan pada Tabel 4.2. Karakteristik statik lainnya adalah resolusi. Besar kecilnya nilai resolusi menentukan besar kecilnya akurasi sensor tersebut. Dalam penelitian ini, alat ukur yang digunakan untuk mengetahui daya output struktur adalah *Optical Power Meter* dengan resolusi 0,001. Fiber optik struktur SMS dengan panjang multimode 15 mm memiliki karakteristik terbaik pada panjang gelombang 1310 nm yaitu sensitivitas mencapai 0,858 dB per % v/v; range input mulai dari 1 % hingga 4 % v/v; range output mulai dari -24,556 dBm sampai -22,227 dBm; Span input 3%; span output 2,329. Pada panjang gelombang 1550 nm, karakteristik terbaik ditunjukkan pada struktur dengan panjang multimode 10 mm yaitu dengan karakteristik sensitivitas mencapai 1,425 dB per % v/v; range input mulai dari 2,5 % hingga 5 % v/v; range output mulai dari -18,387 dBm sampai -15,439 dBm; Span input 5% dan span output 2,948. Meskipun terdapat perbedaan nilai tiap karakteristiknya namun dari hasil perhitungan secara teoritis maupun secara eksperimen sama-sama menunjukkan bahwa struktur dengan panjang multimode 15 mm dan panjang multimode 10 mm memiliki karakteristik terbaik

dibandingkan struktur lainnya. Adanya perbedaan nilai disebabkan beberapa asumsi seperti yang telah dijelaskan sebelumnya.

Dari penelitian ini diketahui hubungan daya output dan konsentrasi alkohol dalam larutan alkohol dan aquades (air) pada struktur SMS dengan panjang multimode 15 mm sebagai berikut

$$P_{out} = 0,858 C - 25,565 \quad (4.1)$$

dimana C adalah konsentrasi alkohol dalam larutan. Persamaan ini berlaku untuk panjang gelombang 1310 nm, sedangkan untuk panjang gelombang 1550 ditunjukkan pada Persamaan 4.2 sebagai berikut

$$P_{out} = -1,040 C - 13,144 \quad (4.2)$$

pada struktur SMS dengan panjang multimode 10 mm dan C adalah konsentrasi alkohol dalam larutan. Dari kedua persamaan tersebut diketahui bahwa terdapat perbedaan antara struktur dengan panjang multimode 15 mm dan 10 mm.

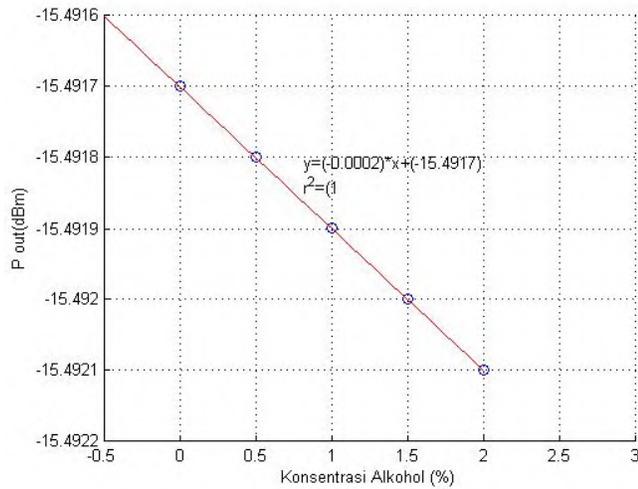
Pada struktur SMS dengan panjang multimode 15 mm, terlihat bahwa daya output akan semakin meningkat seiring dengan meningkatnya konsentrasi alkohol dalam larutan. Hal ini berbanding terbalik dengan yang terjadi pada struktur SMS dengan panjang multimode 10 mm dimana daya output justru semakin menurun seiring dengan bertambahnya konsentrasi alkohol dalam larutan. Seperti yang telah dijelaskan sebelumnya, pada struktur SMS dengan panjang multimode 15 mm terjadi kenaikan koefisien eksitasi yang besar dan penurunan koefisien propagansi jauh lebih kecil sehingga kenaikan koefisien eksitasi inilah yang lebih berpengaruh terhadap daya output yang dihasilkan. Jika dihubungkan dengan peristiwa *multimode interference*, makin besar konsentrasi alkohol dalam larutan maka *self imaging* akan terjadi pada panjang multimode yang lebih kecil sehingga pada titik sambungan kedua dapat terjadi peristiwa interferensi konstruktif maupun dekonstruktif bergantung pada panjang multimode struktur tersebut. Pada struktur dengan panjang multimode 15 mm, moda-moda di dalam fiber optik multimode mengalami interferensi konstruktif yang berulang sampai dengan titik sambungan

kedua sehingga koefisien eksitasinya akan semakin meningkat dan menyebabkan peningkatan daya output.

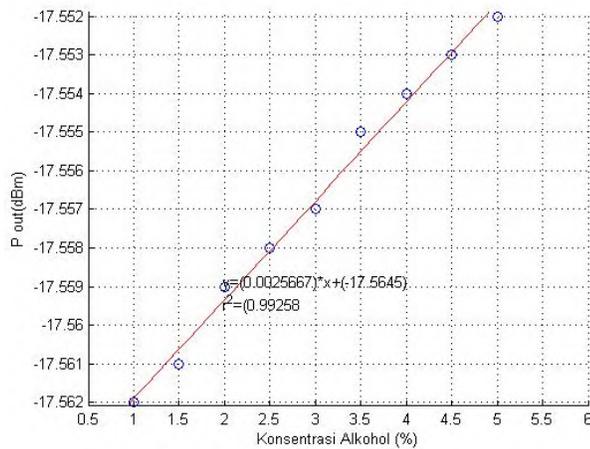
Baik tidaknya suatu *sensor* juga ditentukan oleh repeatabilitas dari sensor tersebut. Dalam penelitian ini, dilakukan pengulangan sebanyak 3 kali untuk tiap konsentrasi larutan. Dari pengulangan ini diperoleh rata-rata error akibat pengulangan sebesar 0,11 %. Sehingga dapat dikatakan bahwa struktur SMS ini memiliki repeatabilitas yang baik jika digunakan sebagai sensor alkohol dalam larutan.

LAMPIRAN

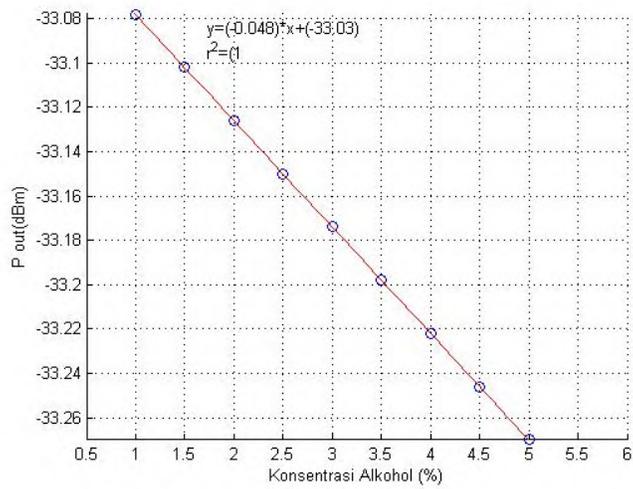
A. Respon Linier Daya Output terhadap Konsentrasi Alkohol secara Teoritis



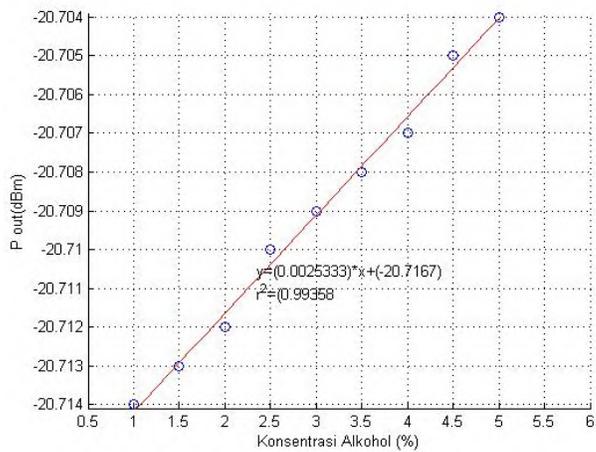
Gambar A.1 Respon Linier pada Panjang Multimode 3 mm dan Panjang Gelombang 1310 nm



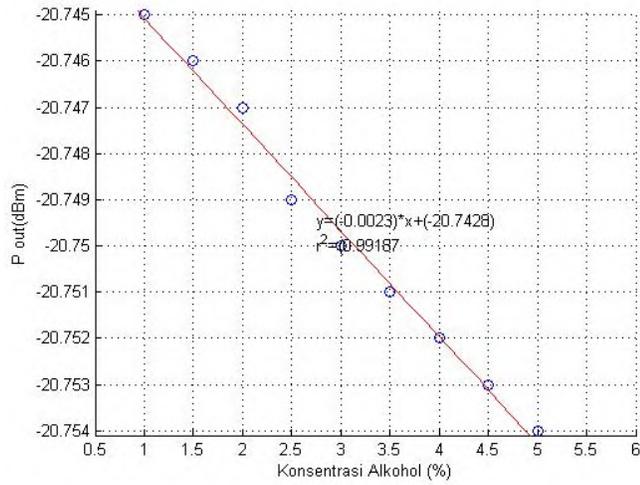
Gambar A.2 Respon Linier pada Panjang Multimode 3 mm dan Panjang Gelombang 1550 nm



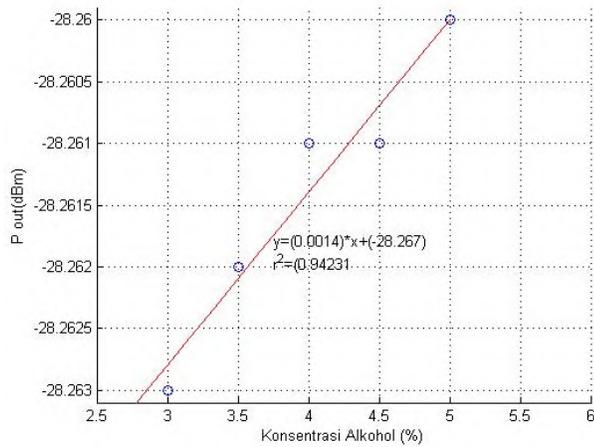
Gambar A.3 Respon Linier pada Panjang Multimode 5 mm dan Panjang Gelombang 1310 nm



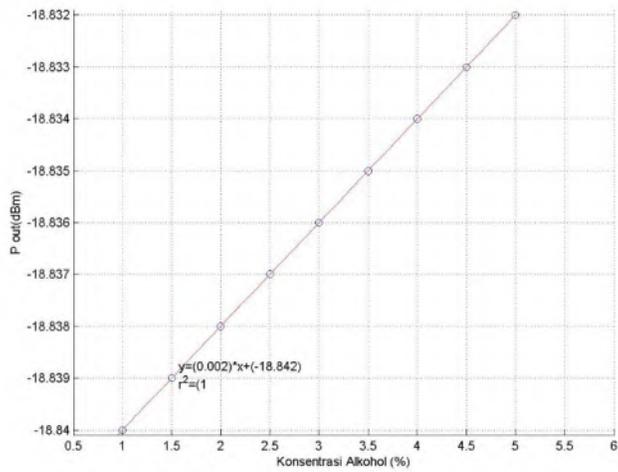
Gambar A.4 Respon Linier pada Panjang Multimode 5 mm dan Panjang Gelombang 1550 nm



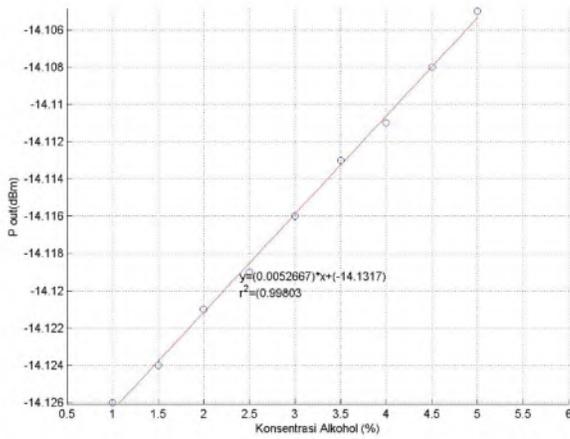
Gambar A.5 Respon Linier pada Panjang Multimode 7 mm dan Panjang Gelombang 1310 nm



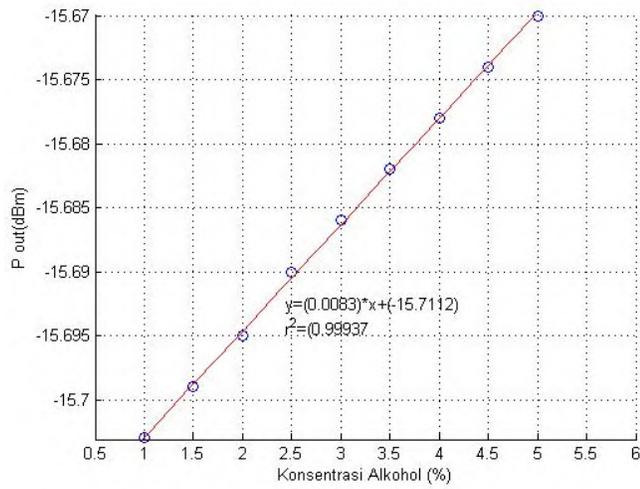
Gambar A.6 Respon Linier pada Panjang Multimode 7 mm dan Panjang Gelombang 1550 nm



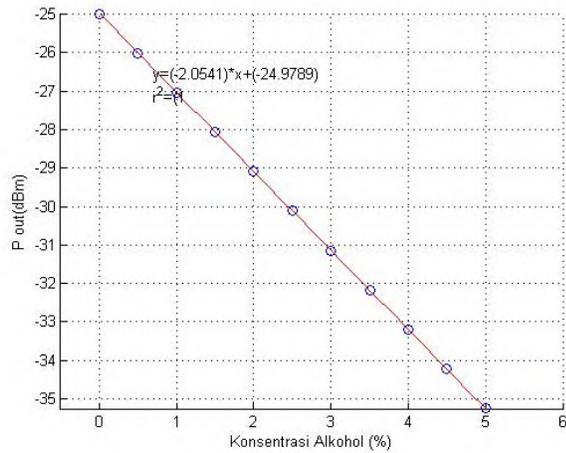
Gambar A.7 Respon Linier pada Panjang Multimode 8 mm dan Panjang Gelombang 1310 nm



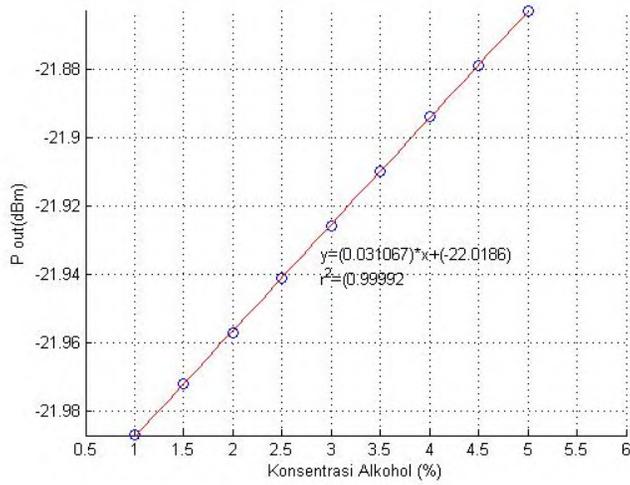
Gambar A.8 Respon Linier pada Panjang Multimode 8 mm dan Panjang Gelombang 1550 nm



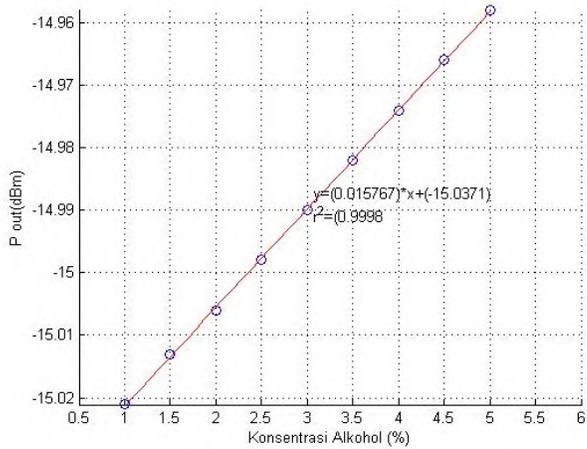
Gambar A.9 Respon Linier pada Panjang Multimode 10 mm dan Panjang Gelombang 1310 nm



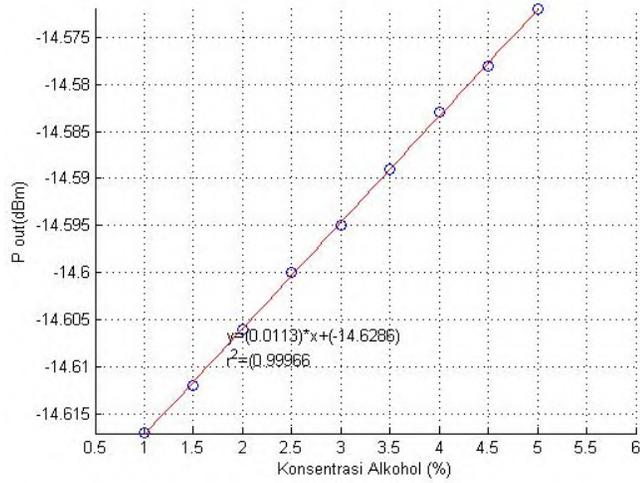
Gambar A.10 Respon Linier pada Panjang Multimode 10 mm dan Panjang Gelombang 1550 nm



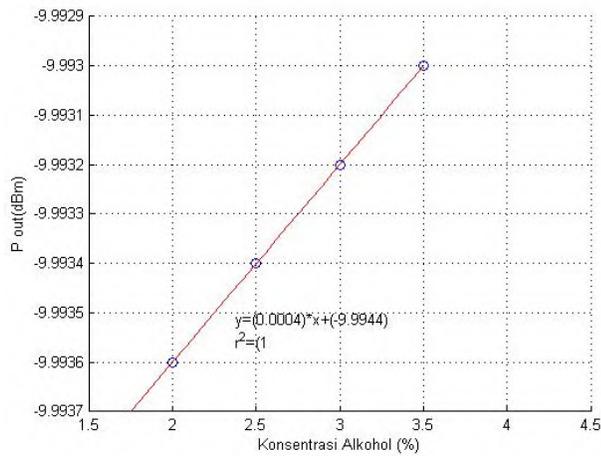
Gambar A.11 Respon Linier pada Panjang Multimode 12,5 mm dan Panjang Gelombang 1310 nm



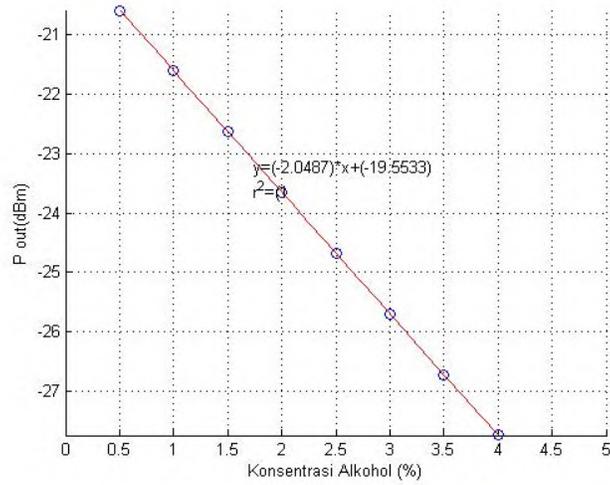
Gambar A.12 Respon Linier pada Panjang Multimode 12,5 mm dan Panjang Gelombang 1550 nm



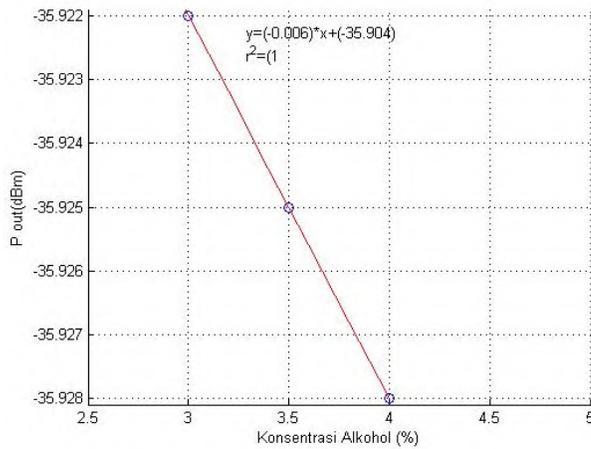
Gambar A.13 Respon Linier pada Panjang Multimode 14 mm dan Panjang Gelombang 1310 nm



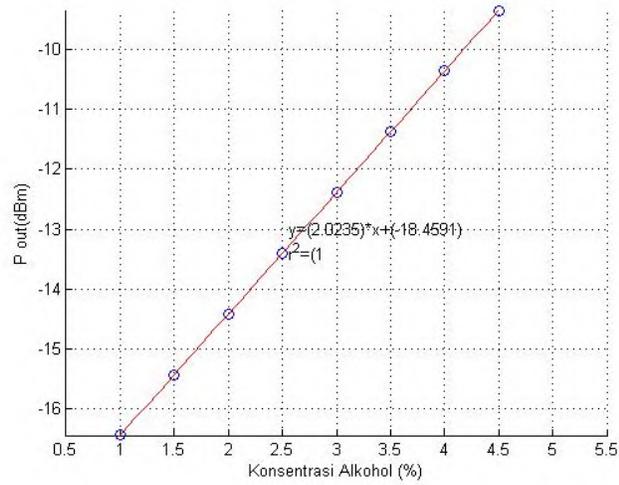
Gambar A.14 Respon Linier pada Panjang Multimode 14 mm dan Panjang Gelombang 1550 nm



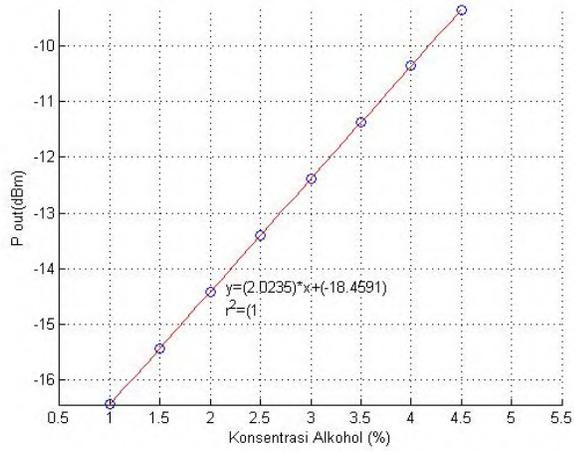
Gambar A.15 Respon Linier pada Panjang Multimode 15 mm dan Panjang Gelombang 1310 nm



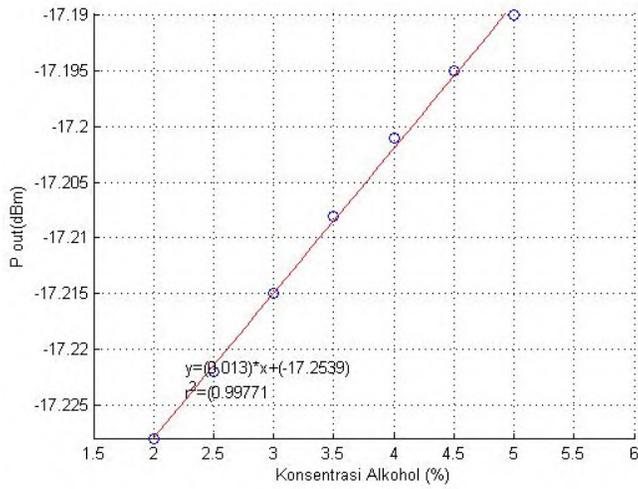
Gambar A.16 Respon Linier pada Panjang Multimode 15 mm dan Panjang Gelombang 1550 nm



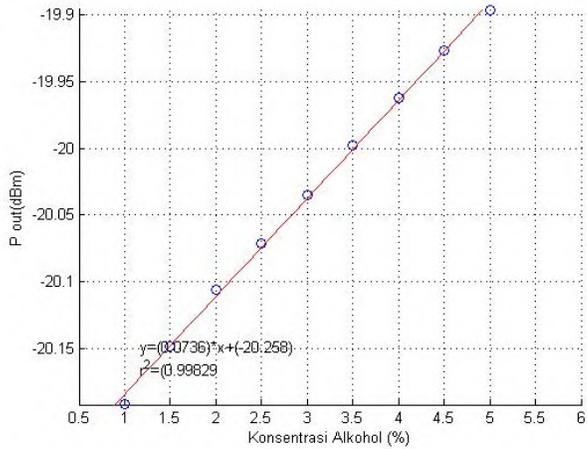
Gambar A.17 Respon Linier pada Panjang Multimode 40 mm dan Panjang Gelombang 1310 nm



Gambar A.18 Respon Linier pada Panjang Multimode 40 mm dan Panjang Gelombang 1550 nm

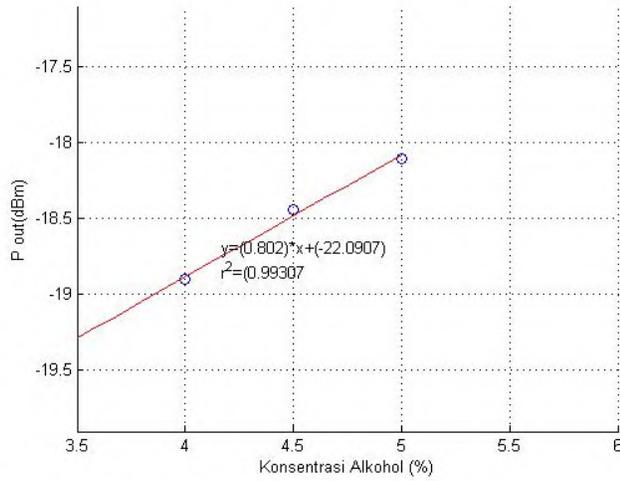


Gambar A.19 Respon Linier pada Panjang Multimode 60 mm dan Panjang Gelombang 1310 nm

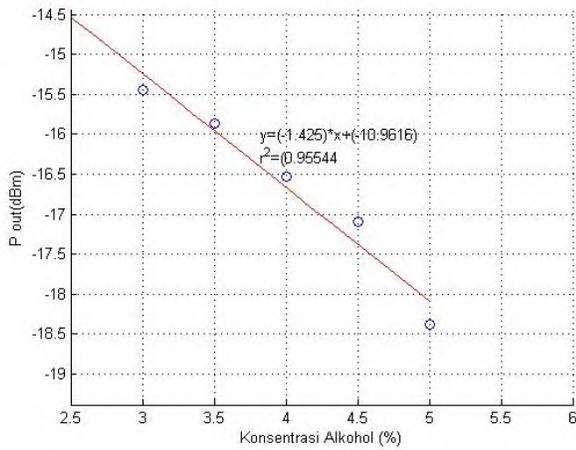


Gambar A.20 Respon Linier pada Panjang Multimode 60 mm dan Panjang Gelombang 1550 nm

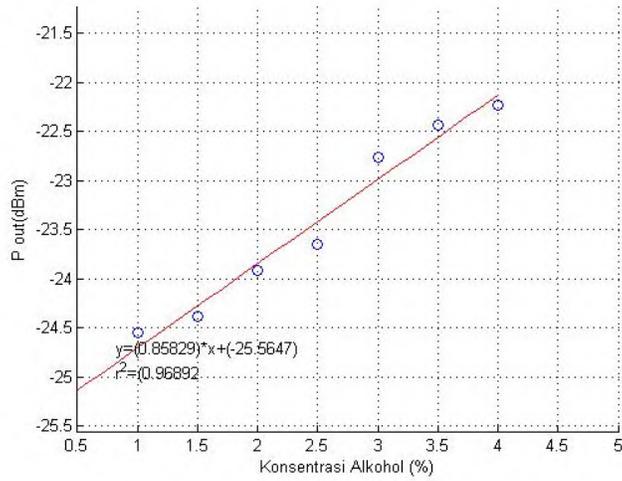
B. Respon Linier Daya Output terhadap Konsentrasi Alkohol secara Eksperimen



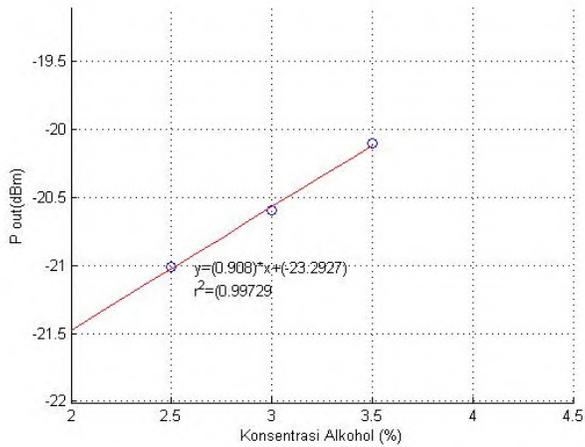
Gambar B.1 Respon Linier pada Panjang Multimode 10 mm dan Panjang Gelombang 1310 nm



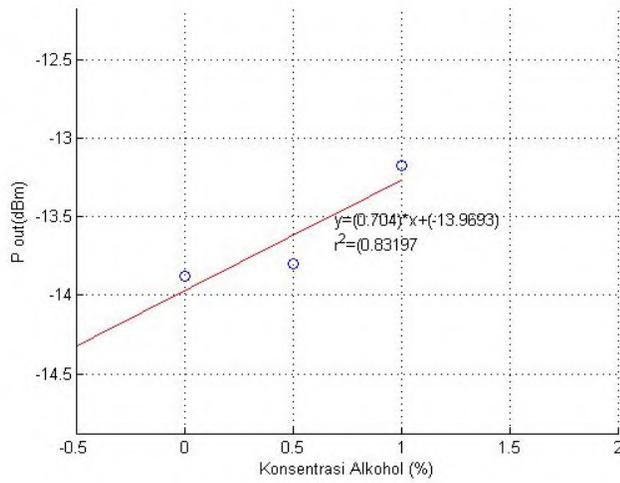
Gambar B.2 Respon Linier pada Panjang Multimode 10 mm dan Panjang Gelombang 1550 nm



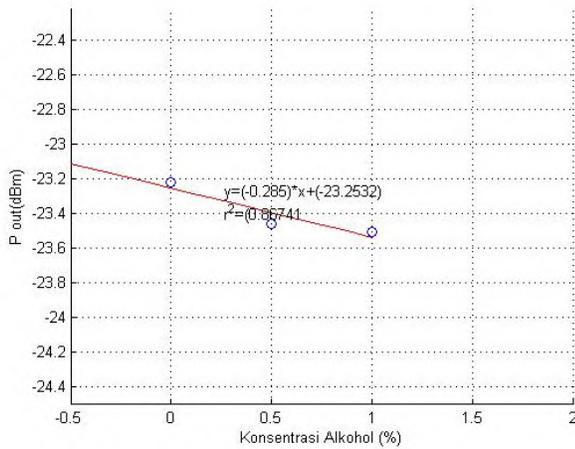
Gambar B.3 Respon Linier pada Panjang Multimode 15 mm dan Panjang Gelombang 1310 nm



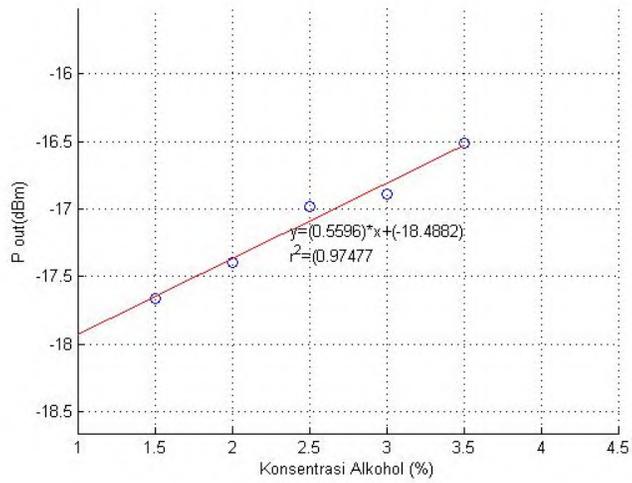
Gambar B.4 Respon Linier pada Panjang Multimode 15 mm dan Panjang Gelombang 1550 nm



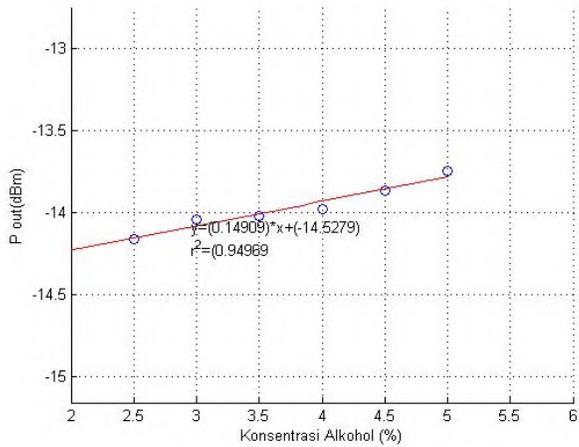
Gambar B.5 Respon Linier pada Panjang Multimode 40 mm dan Panjang Gelombang 1310 nm



Gambar B.6 Respon Linier pada Panjang Multimode 40 mm dan Panjang Gelombang 1550 nm



Gambar B.7 Respon Linier pada Panjang Multimode 60 mm dan Panjang Gelombang 1310 nm



Gambar B.8 Respon Linier pada Panjang Multimode 60 mm dan Panjang Gelombang 1550 nm

BAB 5

KESIMPULAN

Dalam bab ini ditunjukkan kesimpulan dari penelitian yang telah dilakukan dan saran untuk pengembangan penelitian berikutnya.

5.1 Kesimpulan

Dari penelitian ini dapat disimpulkan bahwa telah berhasil dilakukan perancangan dan pengujian sensor alkohol dalam larutan alkohol-air berbasis fiber optik struktur SMS dengan rincian sebagai berikut

1. Perancangan sensor dilakukan dengan perhitungan respon daya output terhadap perubahan konsentrasi alkohol dalam larutan alkohol-air dan dari beberapa struktur dengan panjang multimode mulai dari 3 mm hingga 60 mm diperoleh empat buah struktur dengan panjang multimode yang memiliki respon terbaik yaitu pada struktur dengan panjang multimode 10 mm, 15 mm, 40 mm dan 60 mm dimana karakteristik terbaik ditunjukkan oleh struktur dengan panjang multimode 15 mm pada panjang gelombang 1310 nm dan 10 mm pada panjang gelombang 1550 nm.
2. Fabrikasi dan pengujian sensor secara eksperimen yang dilakukan terhadap struktur dengan multimode 10 mm, 15 mm, 40 mm dan 60 mm menghasilkan struktur dengan karakteristik terbaik yaitu struktur dengan panjang multimode 15 mm pada panjang gelombang 1310 nm dan 10 mm pada panjang gelombang 1550 nm.
3. Fiber optik struktur SMS dengan panjang multimode 15 mm memiliki karakteristik terbaik pada panjang gelombang 1310 nm yaitu sensitivitas mencapai 0,858 dB per % v/v; range input mulai dari 1 % hingga 4 % v/v; range output mulai dari -24,556 dBm sampai -22,227 dBm; Span input 3%; span output 2,329.
4. Fiber optik struktur SMS dengan panjang multimode 10 mm memiliki karakteristik terbaik pada panjang gelombang 1550 nm yaitu dengan karakteristik sensitivitas mencapai 1,425 dB per % v/v; range input mulai dari 2,5 % hingga 5 % v/v; range output mulai dari -18,387 dBm sampai -15,439 dBm; Span input 5% dan span output 2,948.
5. Fiber optik Singlemode-Multinode-Singlemode (SMS) telah terbukti secara teoritis dan eksperimen dapat dimanfaatkan sebagai sensor alkohol dalam larutan alkohol-air dengan konsentrasi alkohol yang rendah.

5.2 Saran

Pada penelitian selanjutnya dapat dikembangkan sensor alkohol pada larutan secara umum dimana senyawa penyusunnya tidak hanya terdiri dari alkohol dan air melainkan juga glukosa atau senyawa lainnya.

DAFTAR PUSTAKA

- A. Mehta, W. S. Mohammed, and E. G. Johnson, 2003. Multimode interference-based Fiber Optic Displacement Sensor. *IEEE Photon. Technol. Lett.*, Volume 15, p. 1129–1131.
- Bentley, J. P., 1995. *Principloe of Measurement System*. 3rd ed. USA: Practice Hall.
- Betram, K. G., 2002. *Farmakologi Dasar dan Klinik*. Jakarta: Salemba Medika.
- Coradin, F. ., P. G. K. M. M. ., d. F. J., 2010. Etched Fiber Brag Grating Sensor for Water-Ethanol Mixture: A Comparative Study. *Journal of Microwaves, Optoelectronics and Electromagnetic Applications*, pp. 131-143.
- El-sherif, M., 2003. *Fiber optic Chemical and Biosensor*. New York, USA: s.n.
- Girei, S. S. A. ., A. P. ., S. P. d. Y. M., 2013. Tapered Multimode Fiber Sensor for Ethanol Sensing Application. *IEEE*, pp. 275-277.
- Kopelman, Z and Rosenzweig, R., 1996. Analytical properties of miniaturized oxygen and glucose fiber optics sensor. *Sens. Actuator*, B(35-36), pp. 475-483.
- Kumar, A., 2013. *Transmission Characteristic of SMS Fiber Optic Sensor Structure*. s.l., s.n., pp. 215-219.
- Nowakoska, J., 1939. *The Refractive Indices of Ethyl Alcohol and Water Mixtures*, Chicago: Loyola University Chicago.
- Saad, H. R. d. A. M., 2013. Tapered plastic optical fiber sensor for detection of ethanol concentration in H₂O. *Seventh International Conference on Sensing Technology*, pp. 59-564.
- Soldano, L. d. P. E., 1995. Optical multi-mode interference devices based on self-imaging: principles and applications. *Journal of Lightwave Technology*, 13(4), pp. 615-627.
- Stoylen, A., n.d. *Strain Rate Hanging*. Norwegia: Norwegian Univercity of Science and Techology.
- Waleed S. Mohammed, Peter W. E. Smith, and Xijia Gu, 2006. All-fiber multimode interference bandpass filter. *Opt. Lett.*, Volume 31, pp. 2547-2549.

Wang, H., J. Huang, Y. Yuan, L. Ding, and D. Fan, 2010. Multifunctional sol-gel sensing membrane for fiber optics glucose sensor. *Proc. SPIE 7673*, pp. 767310-1- 767310-7.

Wang, Q. , F. Y., 2008. Investigation on Single-mode-Mutimode-Sigle-mode Fiber Structure. *Journal of Lightwave Technology*, 26(5), pp. 512-519.

BIODATA PENULIS



Mefina Yulias Rofianingrum yang lahir di Tulungagung, pada tanggal 9 Maret 1991 adalah anak pertama dari dua bersaudara dari pasangan Bapak Asrofi dan Ibu Yuliasih. Pendidikan formal yang ditempuh penulis adalah SDN Kampung Dalem 5 Tulungagung, SMPN 1 Tulungagung, serta SMAN 1 Boyolangu Tulungagung. Setelah lulus dari SMAN 1 Boyolangu Tulungagung pada tahun 2009, penulis melanjutkan studi program sarjana di jurusan Fisika ITS dan mulai menekuni bidang minat Optoelektronika. Kemudian pada tahun 2014, melalui program beasiswa BPP-DN DIKTI *Fresh Graduate*, penulis melanjutkan studi program magister di jurusan Teknik Fisika Rekayasa Instrumentasi Industri ITS dan menekuni bidang fotonika. Penelitian yang pernah dilakukan penulis sebelumnya berjudul “Studi tentang Pemanfaatan Pandu Gelombang Slab berbasis *Polymethyl Methacrylate* (PMMA) Hasil Fabrikasi dengan Teknik *Spin Coating* sebagai Alat Ukur Massa” dan “Sistem Fiber Optik untuk Analisis Respon Radiasi Otak terhadap Pengaruh Berbagai Jenis Musik”. Seminar dan publikasi yang dihasilkan penulis berjudul “*Alcohol Sensor based on Singlemode-Multimode-Singlemode Fiber Structure*” (ISPhoA) pada tahun 2016. Demikian profil singkat dari penulis, bila terdapat kekurangan pada Tesis ini dan bila ingin memberi kritik dan saran atau bila ada hal mengenai Tesis ini dapat dikirimkan melalui email : mefinay@gmail.com