



TUGAS AKHIR - TF181801

**RANCANG BANGUN SENSOR ALIRAN UDARA
MENGUNAKAN SERAT OPTIK
SINGLEMODE-MULTIMODE-SINGLEMODE
(SMS)**

**Fajar Putra Perdana
NRP. 02311745000031**

Dosen Pembimbing :
Agus Muhammad Hatta S.T, M.Si, Ph.D
Prof. Dr. Ir. Sekartedjo, M.Sc

DEPARTEMEN TEKNIK FISIKA
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2019



TUGAS AKHIR - TF181801

**RANCANG BANGUN SENSOR ALIRAN UDARA
MENGUNAKAN SERAT OPTIK
SINGLEMODE-MULTIMODE-SINGLEMODE
(SMS)**

**Fajar Putra Perdana
NRP. 02311745000031**

Dosen Pembimbing :
Agus Muhammad Hatta S.T, M.Si, Ph.D
Prof. Dr. Ir. Sekartedjo, M.Sc

DEPARTEMEN TEKNIK FISIKA
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2019



FINAL PROJECT - TF 181801

***AIR FLOW SENSOR DESIGN
USING OPTICAL FIBER
SINGLEMODE-MULTIMODE-SINGLEMODE
(SMS)***

Fajar Putra Perdana
NRP. 0231174500031

Supervisor :
Agus Muhammad Hatta S.T, M.Si, Ph.D
Prof. Dr. Ir. Sekartedjo, M.Sc

DEPARTMENT OF ENGINEERING PHYSICS
Faculty of Industrial Technology
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2019

PERNYATAAN BEBAS PLAGIARISME

Saya yang bertanda tangan di bawah ini

Nama : Fajar Putra Perdana
NRP : 02311745000031
Departemen/ Prodi : Teknik Fisika / SI Teknik Fisika
Fakultas : Fakultas Teknologi Industri
Perguruan Tinggi : Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Dengan ini menyatakan bahwa Tugas Akhir dengan judul “Rancang Bangun Sensor Aliran Udara Menggunakan Serat Optik *Singlemode-Multimode-Singlemode* (SMS)” 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 sebenar-benarnya.

Surabaya, 20 Juli 2019
Yang membuat pernyataan,



**LEMBAR PENGESAHAN
TUGAS AKHIR**

**RANCANG BANGUN SENSOR ALIRAN UDARA
MENGUNAKAN SERAT OPTIK
SINGLEMODE-MULTIMODE-SINGLEMODE
(SMS)**

Oleh:

Fajar Putra Perdana
NRP. 0231174500031

Surabaya, 30 Juli 2019

Menyetujui,
~~Menyetujui,~~
Dosen Pembimbing I

Menyetujui,
Dosen Pembimbing II

Dok baru 2019-08-08 11:03.29_1.jpg

Agus Muhamad Hatta, S.T., M.Si., Ph.D.
~~Agus Muhamad Hatta, S.T., M.Si., Ph.D.~~
NIP. 19780902 200312 1 002

Prof. Dr. Ir. Sekartedjo, M.Sc.
NIP. 195004021 979011 001



Mengetahui,
Kepala Departemen
Fisika FTI-ITS

Agus Muhamad Hatta, S.T., M.Si., Ph.D.
NIP. 19780902 200312 1 002

“Halaman ini memang dikosongkan”

**RANCANG BANGUN SENSOR ALIRAN UDARA
MENGUNAKAN SERAT OPTIK
SINGLEMODE-MULTIMODE-SINGLEMODE
(SMS)**

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada
Bidang Studi Rekayasa Fotonika
Program Studi S-1 Departemen Teknik Fisika
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

Fajar Putra Perdana
NRP. 02311745000031

Disetujui Oleh Tim Penguji Tugas Akhir:

1. Agus M Hatta, S.T., M.Si, Ph.D. (Pembimbing I)
2. Prof. Dr. Ir. Sekartedjo, Msc (Pembimbing II)
3. Dr. rer. nat. Ir. Aulia M. T.
Nasution, MSc (Penguji I)
4. (Penguji III)

**SURABAYA
JULI 2019**

“Halaman ini memang dikosongkan”

**RANCANG BANGUN SENSOR ALIRAN UDARA
MENGUNAKAN SERAT OPTIK
SINGLEMODE-MULTIMODE-SINGLEMODE
(SMS)**

Nama Mahasiswa : Fajar Putra Perdana
NRP : 02311745000031
Jurusan : Teknik Fisika FTI-ITS
Dosen Pembimbing : Agus M. Hatta, S.T., M.Si., Ph.D.
Prof. Dr. Ir. Sekartedjo, Msc.

Abstrak

Saat ini serat optik dikembangkan menuju ke arah sistem sensor yang bisa digunakan untuk pengukuran berbagai jenis variabel. Banyak penelitian yang telah mengembangkan sensor berbasis serat optik sebagai sensor serbaguna. Pada penelitian ini telah dilakukan rancang bangun sensor aliran udara menggunakan serat optik *singlemode-multimode-singlemode* (SMS) yang mampu mendeteksi variasi kecepatan aliran udara pada fan. Sensor yang diuji memiliki panjang variasi multimode 1 cm, 2 cm dan 3 cm. Sedangkan besarnya tegangan masukan pada fan meliputi 4 V, 6 V, 8 V, 10 V, 12 V, 14 V, 16 V, dan 18 V. Dengan kecepatan flow nya dari setiap tegangan tersebut yang telah diukur menggunakan anemometer yaitu sebesar 0.99 m/s, 1.96 m/s, 2.96 m/s, 3.83 m/s, 4.68 m/s, 5.41 m/s, 5.92 m/s dan 6.59 m/s. Pengujian sensor dilakukan dengan cara mengukur perubahan daya keluaran setiap variasi panjang serat optik multimode dengan menggunakan variasi aliran udara yang telah ditentukan. Aliran udara diletakkan tepat pada bagian multimode. Pada penelitian ini didapatkan hasil bahwa sensor terbaik yang mampu mengukur kecepatan aliran udara adalah sensor dengan panjang *multimode step index* 1 cm pada rentang aliran udara 1.96 m/s – 6.59 m/s dengan sensitivitas 1.237 ((dBm)/(m/s)), dan kinerja sensor aliran udara terbaik menggunakan *multimode coreless* adalah dengan panjang sensor 1 cm pada rentang aliran udara 0 m/s – 4.68 m/s dengan sensitivitas 0.2002 ((dBm)/(m/s)).

Kata kunci: Sensor Aliran Udara, serat optik SMS, *Multimode coreless*, *Multimode step index*

“Halaman ini memang dikosongkan”

AIR FLOW SENSOR DESIGN USING SINGLEMODE-MULTIMODE-SINGLEMODE (SMS) OPTIC FIBER

Name : Fajar Putra Perdana
NRP : 02311745000031
Department : Teknik Fisika FTI-ITS
Supervisor : Agus M. Hatta, S.T., M.Si., Ph.D.
Prof. Dr. Ir. Sekartedjo, Msc.

Abstract

At this time, optical fiber was developed in the direction of a sensor system that could be used to measure various types of variables. Many studies have developed optical fiber-based sensors as multipurpose sensors. In this research, an air flow sensor design has been carried out using singlemode-multimode-singlemode (SMS) optical fiber which is able to detect variations in air flow velocity on the fan. The sensor tested has a multimode variation length of 1 cm, 2 cm and 3 cm. While the amount of input voltage on the fan includes 4 V, 6 V, 8 V, 10 V, 12 V, 14 V, 16 V, and 18 V. With the flow velocity of each voltage that has been measured using an anemometer that is equal to 0.99 m / s, 1.96 m / s, 2.96 m / s, 3.83 m / s, 4.68 m / s, 5.41 m / s, 5.92 m / s and 6.59 m / s. Sensor testing is done by measuring the change in output power of each multimode optical fiber length variation by using predetermined air flow variations. The air flow is placed right in the multimode section. In this study, the results showed that the best sensor capable of measuring air flow velocity was a sensor with a multimode step index of 1 cm in the air flow range of 1.96 m / s - 6.59 m / s with a sensitivity of 1237 ((dBm) / (m / s)), and the best air flow sensor performance using multimode coreless is with a sensor length of 1 cm in the air flow range of 0 m / s - 4.68 m / s with a sensitivity of 0.2002 ((dBm) / (m / s)).

Keywords : *Airflow Sensor, SMS optical fiber, Multimode coreless, Multimode step index*

“Halaman ini memang dikosongkan”

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadirat Allah SWT atas rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir yang berjudul **“Rancang Bangun Sensor Aliran Udara Menggunakan Serat Optik *Singlemode-Multimode-Singlemode* (SMS)”**. Tugas akhir ini membahas mengenai desain sensor pendeteksi flow udara menggunakan serat optik SMS.

Selama proses pengerjaan tugas akhir ini, penulis memperoleh bantuan dari berbagai pihak dalam penyelesaian tugas akhir ini, oleh karena itu penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Allah SWT yang memberikan nikmat, rezeki dan hidayah – Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan Tugas Akhir ini sesuai dengan waktu yang direncanakan.
2. Bapak Agus Muhammad Hatta, S.T., M.Si, Ph.D. selaku Ketua Departemen Teknik Fisika FTI ITS.
3. Bapak Prof. Dr. Ir. Sekartedjo, Msc. selaku dosen pembimbing yang telah memberikan banyak ilmu selama penulis menyelesaikan tugas akhir.
4. Bapak Prof. Dr. Ir. Sekartedjo M.Sc selaku kepala Laboratorium Rekayasa Fotonika.
5. Ibu Dyah Sawitri, ST.,M., selaku dosen wali yang telah memberikan pengalaman hidup dan bimbingan selama penulis berkuliah di Teknik Fisika ITS.
6. Keluarga yang senantiasa mendukung dan memberikan semangat selama menyusun laporan ini.
7. Seluruh dosen dan karyawan Teknik Fisika ITS yang telah turut membantu penulis menyelesaikan kuliah.
8. Roni, Zuhaida, Mas Eko, Mbak Ika dan Mas Grovando yang telah menemani, membantu dan memberikan masukan saat penelitian maupun penyusunan tugas akhir.
9. Gama, Navis, aris, Mbak Ayu, Syamsur Rijal dan Esti yang sudah menghibur penulis ketika penulis penat.
10. Teman-teman Lintas Jalur 2017 yang sudah menemani dan berbagi ilmu dengan penulis selama masa perkuliahan.

Penulis menyadari bahwa penulisan laporan tugas akhir ini masih banyak kekurangan. Oleh karena itu penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun dari semua pihak. Penulis berharap semoga laporan ini dapat bermanfaat dan menambah wawasan bagi pembaca.

Surabaya, 19 Juli 2019

Penulis

DAFTAR ISI

JUDUL	i
PERNYATAAN BEBAS PLAGIARISME	v
LEMBAR PENGESAHAN.....	vii
ABSTRAK	xi
<i>ABSTRACT</i>	xiii
KATA PENGANTAR.....	xv
DAFTAR ISI.....	xvii
DAFTAR GAMBAR	xix
DAFTAR TABEL	xx
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Batasan Masalah.....	2
1.4 Tujuan.....	3
BAB II DASAR TEORI.....	5
2.1 Udara	5
2.2 Air Flow	5
2.3 Penelitian Sebelumnya	6
2.4 Tekanan Dinamik	8
2.5 Serat Optik.....	10
2.6 Serat Optik Berstruktur (SMS).....	12
2.7 Indeks Bias	14
2.8 Efek <i>Multimode Interference</i> (MMI).....	15
2.9 Sensor	16
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	19
3.1 Diagram Alir Tahapan Penelitian.....	19
3.2 Tahap Penelitian.....	20
3.2.1 Tinjauan Pustaka	21
3.2.2 Alat dan Bahan	21
3.2.3 Konversi Tegangan dengan Kecepatan Fan	21
3.2.4 Fabrikasi Sensor Berstruktur SMS	22
3.2.5 Karakterisasi Serat Optik	23

3.2.6 Pengujian Sensor	23
3.2.7 Analisa Data	25
3.2.8 Kesimpulan dan Penyusunan Laporan	26
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	27
4.1 Prinsip Kerja.....	27
4.2 Konversi Tegangan dengan Kecepatan Aliran Udara ... pada Kipas	28
4.3 Karakteristik Serat Optik pada <i>Multimode Step-Index</i>	29
4.4 Karakteristik Serat Optik pada <i>Multimode Coreless</i>	32
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....	37
5.1 Kesimpulan	37
5.2 Saran.....	37
DAFTAR PUSTAKA	
LAMPIRAN	

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Experimental setup of the flow sensor	7
Gambar 2.2	Makrobending sendi engsel dengan aliran	7
Gambar 2.3	Struktur Serat Optik	10
Gambar 2.4	<i>Total Internal Reflection</i>	11
Gambar 2.5	Serat Optik <i>Singlemode</i>	12
Gambar 2.6	Serat optik <i>multimode step-index</i>	12
Gambar 2.7	Serat optik <i>singlemode-multimode coreless</i> (<i>step-index</i>)- <i>singlemode</i> (SMS)	13
Gambar 2.8	Skema pandu gelombang <i>multimode</i> pada serat optik (SMS)	16
Gambar 2.9	Profil medan <i>self imaging</i> pada pandu gelombang <i>multimode step-index</i>	16
Gambar 2.10	Diagram blok sistem pengukuran	17
Gambar 3.1	Diagram alir penelitian	20
Gambar 3.2	Desain probe sensor 1	22
Gambar 3.3	Desain probe sensor 2	23
Gambar 3.4	Desain probe sensor 3	23
Gambar 3.5	Skema pengujian sensor terhadap flow udara	25
Gambar 4.1	Perbandingan pengukuran kecepatan udara (m/s) dengan waktu (s)	29
Gambar 4.2	Grafik pengaruh aliran udara terhadap sensor MMF Step Index	30
Gambar 4.3	Grafik pengaruh aliran udara terhadap sensor MMF <i>coreless</i>	33

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR TABEL

Tabel 4.1 Konversi Tegangan dengan Kecepatan	28
Tabel 4.2 Pengaruh aliran udara terhadap sensor MMF <i>step index</i>	31
Tabel 4.3 Karakteristik Statik Sensor sensor <i>step index</i> terhadap pengaruh aliran udara	32
Tabel 4.4 Pengaruh aliran udara terhadap sensor MMF <i>coreless</i>	34
Tabel 4.5 Karakteristik Statik Sensor sensor <i>multimode coreless</i> terhadap pengaruh aliran udara	34

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pada zaman ini kemajuan teknologi yang semakin pesat menjadikan kebutuhan sistem sensor yang memiliki kehandalan yang tinggi untuk mendeteksi suatu parameter yang akan diukur. Pengukuran flow sangat penting di banyak bidang industri, seperti industri minyak dan kimia, teknik medis atau termal dan merupakan perangkat yang sangat diperlukan untuk kontrol proses dan pemantauan cairan. Sensor aliran udara dirancang untuk berbagai aplikasi dan rentang yang cocok untuk aliran gas dan udara berkekuatan besar, seperti angin dan bahkan untuk mendeteksi kecepatan aliran gas yang sangat rendah seperti respirasi dan juga untuk lingkungan yang berbeda[1].

Alat pengukur flow meter atau sensor flow sendiri memiliki ragam yang bermacam-macam tergantung dari prinsip pengukuran yang dipergunakan. Pengukuran aliran fluida mulai dikenal sejak tahun 1732 ketika Henry Pitot mengatur jumlah fluida yang mengalir. Dalam pengukuran fluida perlu ditentukan besaran dan vector kecepatan aliran pada suatu titik dalam fluida dan bagaimana fluida tersebut berubah dari titik ke titik. Sedangkan volumeter membaca berapa banyak media cair yang mengalir di dalam fluida. Sensor flow yang konvensional atau yang sering digunakan biasanya menggunakan sistem sensor seperti magnetic flow meter menggunakan sensor berupa electrode, ultrasonic flow meter biasanya menggunakan sensor berupa ultrasonic transducer, coriolis flow meter menggunakan sensor coriolis yang mampu membaca force yang bisa menghasilkan mass flow dan seterusnya[2]. Pengukuran kapasitas paru dengan spirometer. Dengan menggunakan alat yang disebut spirometer, cara kerjanya manusia bernapas pada alat tersebut kemudian spirometer akan menilai fungsi paru atau kesehatan paru tersebut. Kecepatan hembusan napas manusia berada di rentang 0 m/s – 6 m/s[3].

Saat ini serat optik dikembangkan menuju ke arah sistem sensor yang bisa digunakan untuk pengukuran berbagai jenis

variabel. Banyak penelitian yang telah mengembangkan sensor berbasis serat optik sebagai sensor serbaguna salah satunya sebagai sensor flow. Sensor serat optik memanfaatkan banyak keuntungan yang berasal dari serat optik silika, yang telah membuat teknologi ini cocok untuk berbagai aplikasi lingkungan. Serat optik berukuran kecil, elektrik dan pasif secara kimia, kebal terhadap gangguan elektromagnetik, kuat untuk lingkungan yang keras, memiliki kemampuan untuk melakukan penginderaan terdistribusi resolusi tinggi, ukuran yang lebih kecil dan ringan.

Dalam penelitian lain juga yang terkait penggunaan sensor serat optik yang dilakukan oleh L. Dzuida dkk, yaitu dengan judul penelitian *Optical Fiber-Based Macrobend Free Air Flow Sensor Using a Hinge Joint: A Preliminary Report* [1], bahwa alat ini menggunakan prinsip sendi engsel dieksplorasi untuk menyebabkan serat optic terjadi makrobending dan dieksplorasi untuk penggunaannya sebagai sensor aliran. Pembengkokan serat pada engsel mengubah intensitas cahaya yang melalui serat optik. Dari intensitas cahaya yang didapat dapat ketahu flow yang melewati pada sensor. Jenis serat optik yang mulai banyak dikembangkan sebagai sensor adalah jenis serat optik berstruktur singlemode-multimode-singlemode (SMS) karena memiliki kelebihan dalam hal fabrikasi, sensitivitas tinggi, dan biaya yang dibutuhkan dalam perancangan sensor relatif murah [7]. Diharapkan penelitian ini kedepannya dapat digunakan sebagai berbagai macam pengukuran aliran seperti speed sensor, spirometer, dan flow meter sensor dan sensor lainnya yang memiliki rentang pengukurannya 0,9 m/s – 6,59 m/s.

Oleh karena itu, berdasarkan penelitian yang dilakukan sebelumnya maka pada tugas akhir ini akan dilakukan rancang bangun sensor flow berbasis serat optik berstruktur *singlemode-multimode-singlemode* (SMS). Sistem ini memanfaatkan pengaruh perubahan kecepatan flow udara yang terjadi.

1.2 Rumusan Permasalahan

Berdasarkan latar belakang yang telah dipaparkan sebelumnya, maka permasalahan yang dapat diambil adalah:

- a. Bagaimana membuat sensor aliran udara menggunakan serat optik berstruktur SMS?
- b. Bagaimana kinerja sensor flow udara yang telah dirancang?

1.3 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah yang terdapat didalam penelitian ini adalah Perubahan parameter fisis yang ditinjau pada penelitian ini adalah tekanan dari udara yang mengalir.

1.4 Tujuan

Adapun tujuan yang ingin dicapai dari tugas akhir ini adalah sebagai berikut.

1. Membuat sensor aliran udara menggunakan serat optik berstruktur SMS dengan menggunakan *multimode step index* dan *multimode coreless*.
2. Mengetahui kinerja sensor serat optik berstruktur SMS akibat pengaruh perubahan aliran udara.

“Halaman ini memang dikosongkan”

BAB II

TEORI PENUNJANG

2.1 Udara

Udara adalah suatu campuran gas yang terdapat pada lapisan yang mengelilingi bumi. Komposisi campuran gas tersebut tidak selalu konstan. Komponen yang konsentrasinya paling bervariasi adalah air dalam bentuk uap H₂O dan karbon dioksida (CO₂). Jumlah uap air yang terdapat di udara bervariasi tergantung dari cuaca dan suhu. Konsentrasi CO₂ di udara selalu rendah, yaitu sekitar 0.03%. Konsentrasi CO₂ mungkin naik, tetapi masih dalam kisaran beberapa per seratus persen, misalnya di sekitar proses-proses yang menghasilkan CO₂ seperti pembusukan sampah tanaman, pembakaran, atau di sekitar kumpulan massa manusia di dalam ruangan terbatas yaitu karena pernafasan. Konsentrasi CO₂ yang relatif rendah dijumpai di atas kebun atau lading tanaman yang sedang tumbuh atau di udara yang baru melalui lautan. Konsentrasi yang relatif rendah ini disebabkan oleh absorpsi CO₂ oleh tanaman selama fotosintesis dan karena kelarutan CO₂ di dalam air. Tetapi pengaruh proses-proses tersebut terhadap konsentrasi total CO₂ di udara sangat kecil karena rendahnya konsentrasi CO₂ [1].

2.2 Air Flow

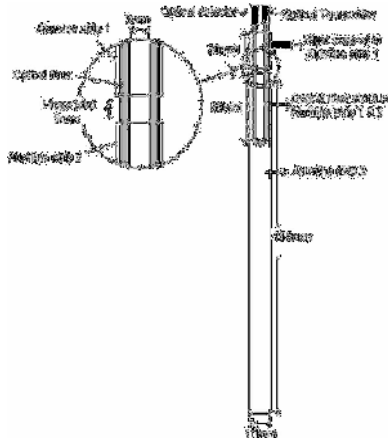
Air flow meter, adalah perangkat yang mengukur aliran udara, yaitu berapa banyak udara mengalir melalui tabung. Ini tidak mengukur volume udara yang lewat melalui tabung, mengukur kecepatan yang sebenarnya dari udara yang mengalir melalui perangkat dalam segmen waktu yang ditetapkan. Dengan demikian aliran udara meter ini hanya sebuah aplikasi meter aliran massa untuk media khusus. Sensor air flow meter yang selama ini sering digunakan memiliki 2 tipe pendeteksian udaranya yaitu sensor air flow meter tipe langsung dan sensor air flow meter tipe deteksi tidak langsung. Pada tipe deteksi langsung ini, untuk melakukan pendeteksian menggunakan beberapa cara yaitu sensor air flow dengan menggunakan vane, sensor air flow meter tipe karman

vortek dan sensor air flow meter dengan pendeteksian berat yaitu dengan hot wire type dan dengan hot file type. Sedangkan untuk pendeteksian secara tidak langsung yaitu sensor air flow meter dengan menggunakan tipe speed density dan sensor air flow meter tipe throttle speed [17].

2.3 Penelitian Sebelumnya

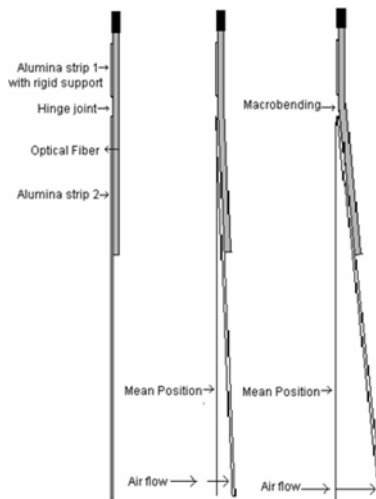
Pada tahun 2008 penelitian yang telah dilakukan oleh Anu Vijayan, serat optik telah berhasil digunakan sebagai sensor deteksi flow udara melalui fenomena makrobending, sebagai penggunaan efektif serat optik untuk pengukuran aliran udara. Tujuan utamanya adalah untuk membuktikan kelayakan konsep baru sensor engsel untuk aliran udara atau air flow. Konsep dari sendi Engsel diberikan dalam serat optik, karena lentur makro yang dihasilkan akan terlokalisasi dan akan menyebabkan loss pada daya ketika udara melewati sensor. Jadi ketika probe dipindahkan karena aliran udara yang bervariasi dari tegangan output sehingga perubahan intensitas cahaya ini dapat diamati [1].

Probe serat optik terdiri dari dua strip alumina (Al_2O_3) yang memiliki panjang masing-masing 30 dan 200 mm, dengan lebar 10 mm dan ketebalan 0,625 mm. Serat optik plastik secara simetris menempel terpusat pada strip alumina dalam bentuk "U" seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.1. Serat optik plastik memiliki inti polimetil metakrilat (PMMA) dengan ketebalan 980 m, dengan selubung tebal 20 m yang terbuat dari fluoride. polimer karbon. Indeks bias inti dan kelongsong masing-masing. Diameter total serat optik plastik adalah 2,2 mm dengan selubung pelindung PVC. Ujung serat optik plastik terhubung ke pemancar dan penerima [1].



Gambar 2.1. Experimental setup of the flow sensor

Sistem dipasang secara vertikal dan aliran udara dibuat untuk menggerakkan sensor bagian paling bawah (lebih dari 1 cm). Blower digunakan untuk mendapatkan aliran udara. Aliran udara dari blower dikendalikan dengan memvariasikan tegangan inputnya melalui regulator tegangan [1].



Gambar 2.2. Makrobending sendi engsel dengan aliran

2.4 Tekanan Dinamik

Persamaan kontinuitas banyak diterapkan dalam ilmu perkapalan seperti halnya pada sistem jaringan pipa air, minyak dan gas, serta pada sistem hidrolik mesin. Penurunan persamaan kontinuitas dapat dilakukan dengan penerapan “hukum kekekalan massa” pada konsep volume kontrol. Hukum kekekalan massa menyatakan bahwa massa di sebuah sistem fluida itu selalu tetap menurut waktu, seperti berikut :

$$m = \frac{dm}{dt} = 0 \quad (2.1)$$

Pada m menunjukkkn notasi Newton untuk turunan waktu. Karena massa merupakan besaran skalar, laju aliran massa juga termasuk besaran skalar. Perubahan massa adalah jumlah yang mengalir setelah melewati media selama waktu tertentu, tidak hanya jumlah massa yang masuk dikurangi massa yang keluar, karena jumlah massa akan bernilai nol jika alirannya tetap. Sehingga dari penurunan massa tersebut dapat dicari nilai dari laju aliran massa. Dimana laju aliran massa adalah laju massa fluida yang dikeluarkan tiap detiknya. Laju aliran massa yang mengalir dapat diketahui dengan persamaan dibawah ini :

$$m = \rho \times v \times A = \frac{m}{t} \quad (2.2)$$

Dimana,

\dot{m} : laju aliran massa (kg/s)

v : kecepatan aliran fluida (m/s)

ρ : massa jenis (kg/ m³)

A : luas penampang pipa (m²)

Sedangkan banyaknya fluida yang mengalir (volume) melalui penampang tiap satuan waktu disebut dengan laju alir volumetrik

atau debit. Laju alir volumetrik merupakan besaran skalar pada Q menunjukkan notasi volume untuk turunan waktu :

$$Q = \frac{dv}{dt} = 0 \quad (2.3)$$

Laju alir volumetrik juga dapat didefinisikan sebagai berikut :

$$Q = v \times A \quad (2.4)$$

$$Q = v \times \pi r^2 \quad (2.5)$$

Dimana,

Q : laju alir volumetrik (m^3/s)

v : kecepatan alir fluida (m/s)

A : penampang area (m)

Laju aliran massa ada terkaitanya dengan laju aliran volumetrik, seperti ditunjukkan pada rumus dasar berikut :

$$m = \rho \times V \quad (2.6)$$

Dimana,

m : laju aliran massa (kg/s)

ρ : densitas (kg/m^3)

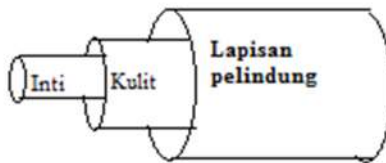
V : laju aliran volumetrik (m^3/s)

Sehingga dari rumus diatas dapat disimpulkan bahwa laju aliran massa berbanding lurus dengan laju aliran volumetrik,

semakin besar laju aliran massa semakin besar juga laju aliran volumetric [2].

2.5 Serat Optik

Serat optik adalah media yang mentransmisikan radiasi dari cahaya dari satu tempat ke tempat lainnya dalam gelombang yang terpandu melalui serat yang terbuat dari gelas atau plastik [4]. Serat optik kebanyakan berbentuk silinder yang terdiri dari tiga lapisan yaitu inti yang membawa cahaya, lapisan kulit yang menutupi inti, dan lapisan pelindung. Gambar 2.1 dibawah ini menunjukkan struktur serat optik.



Gambar 2.3. Struktur serat optik.

Inti memiliki nilai indeks bias sebesar n_1 , dan dikelilingi oleh kulit dengan nilai indeks bias yang lebih kecil dari pada n_1 [4]. Meskipun cahaya dapat menjalar melalui inti tanpa kulit, namun kulit disini juga berfungsi untuk mengurangi *scattering loss* pada permukaan gelas dan udara, serta menambah kekuatan mekanik dari pada serat optik. Kemudian lapisan plastik terluar berfungsi untuk melindungi serat optik agar tidak rusak akibat pengaruh fisik lingkungan luar [4].

Fenomena terpandunya cahaya dalam serat optik dikarenakan adanya *total internal refraction* (TIR) yang terjadi pada batas inti-kulit [6]. Dalam hukum *Snellius*, telah diketahui bahwa sinar datang dari medium yang indeks biasnya lebih besar dari indeks bias medium yang dituju, maka sinar akan dibiaskan menjauhi garis normal. Adapun sudut kritis (ϕ_c) terjadi apabila sinar datang dibiaskan dengan membentuk sudut 90° dengan garis normal [6]. Berikut ini adalah rumus matematis dari TIR.

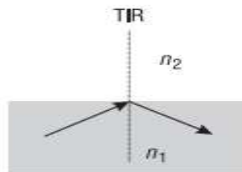
$$\phi_c = \sin^{-1}\left(\frac{n_2}{n_1}\right) \quad (2.7)$$

Keterangan:

ϕ_c = sudut kritis ($^\circ$)

n_1 = indeks bias medium 1

n_2 = indeks bias medium 2



Gambar 2.4. *Total Internal Reflection*

2.5.1 Serat Optik *Step-Index*

Serat optik *step index* merupakan istilah penjalaran cahaya secara garis lurus didalam inti serat optik. Di dalam serat optik *step-index*, indeks bias dari inti n_1 berkurang secara perlahan menuju ke indeks bias kulit n_2 , namun perubahan ini sangatlah kecil, sekitar (0,001 sampai 0,02) [6]. Perubahan indeks bias (Δ) dapat dirumuskan secara matematis sebagai berikut.

$$\Delta = \frac{(n_1 - n_2)}{n_1} \quad (2.8)$$

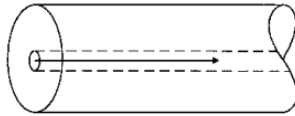
Sinar yang datang dari n_1 ke n_2 membentuk sudut yang lebih kecil dari pada sudut kritis maka akan dipandu sepanjang inti oleh fenomena TIR yang terjadi pada batas inti-kulit [6].

Sudut kritis terjadi menyesuaikan dengan besarnya *numeircal aperture* (NA), yang mana NA merupakan sudut penerimaan cahaya yang datang dari udara kedalam serat optik [6]. Adapun rumus matematisnya adalah sebagai berikut.

$$NA = (n_1^2 - n_2^2)^{1/2} \quad (2.9)$$

2.5.2 Serat Optik *Singlemode*

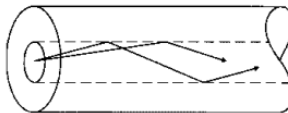
Serat optik *singlemode* (SMF) merupakan serat optik yang intinya terbuat dari gelas, dan hanya terdapat satu moda penjalaran dan memiliki ukuran inti sebesar 3-10 μm [4]. Penyebab hanya terbentuknya satu moda dalam SMF adalah frekuensi ternormalisasi (V) < 2,405 [6].



Gambar 2.5. Serat optik *Singlemode*

2.5.3 Serat Optik *Multimode Coreless (Step-index)*

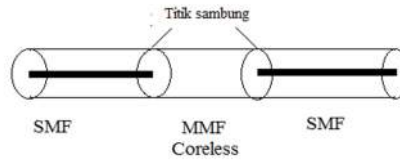
Serat optik *multimode (step-index)* memiliki ukuran diameter inti yang lebih besar dari pada SMF. Adapun moda penjalaran yang terbentuk dalam serat optik *multimode* terdiri dari beberapa moda yang berbeda. Sedangkan *multimode coreless* merupakan serat optik *multimode* yang hanya terdiri dari kulit sebagai indeks bias inti. Sedangkan indeks bias kulit adalah indeks bias udara disekeliling *multimode*.



Gambar 2.6. Serat optik *Multimode step-index*

2.6 Serat Optik Berstruktur *Singlemode-Multimode Coreless-Singlemode (SMS)*

Serat optik berstruktur SMS adalah susunan serat optik yang terdiri dari dua buah *singlemode* yang identik yang kedua ujung dari *singlemode* tersebut disambungkan ke serat optik *multimode coreless*. Secara umum gambaran serat optik tersebut dapat dilihat pada gambar 2.5.



Gambar 2.7. Serat optik *singlemode-multimode coreless (step-index)-singlemode (SMS)*

Dengan menggunakan *multimode coreless* maka media disekelilingnya akan menjadi indeks bias kulit dari *multimode coreless*. Fenomena ini dapat dimanfaatkan untuk mengetahui pengaruh perubahan indeks bias lingkungan, dalam penelitian ini udara pernapasan merupakan kondisi lingkungannya. Sambungan antar serat optik harus tersambung rata secara aksial untuk menghindari adanya eksitasi moda dengan orde lebih tinggi pada daerah sambungan masuk *lead-in* antara *singlemode* dan *multimode* maupun pada sambungan keluar *lead-out* serat *multimode*. Karena diameter inti serat *multimode coreless* jauh lebih besar daripada *singlemode*, maka hanya moda-moda fundamental dengan order lebih rendah yang dapat dibangkitkan LP01 dan dipandu didalam serat [7]. Fenomena pandu gelombang didalam serat optik berstruktur SMS ini dapat dijelaskan melalui *modal propagation analysis (MPA)*. Secara umum rugi daya dari serat optik SMS dapat dinyatakan dalam persamaan berikut [15].

$$P_{out}(L) = 10 \log \left[\left| \sum_{n=1}^N \eta_n^2 \exp(j\beta_n L) \right|^2 \right] \quad (2.10)$$

Dimana L adalah panjang dari *multimode*, η_n dan β_n adalah koefisien eksitasi dan konstanta propagasi dari moda LP0n, dan N adalah jumlah moda yang terpandu dalam serat optik *multimode coreless*. Untuk mengetahui jumlah moda yang terpandu dalam serat optik *multimode coreless* step indek dapat didekati dengan menentukan frekuensi normalisasi [15].

$$V = k_0 a_M \sqrt{n_{inti}^2 - n_{kulit}^2} \quad (2.11)$$

Dimana a_M, k_0, n_{inti} , dan n_{kulit} adalah jari-jari *multimode coreless*, bilangan gelombang dalam ruang hampa, indeks bias inti, dan indeks bias kulit dalam hal ini adalah indeks bias udara pernapasan. Kemudian untuk menentukan konstanta penjalaran dari setiap moda dapat dicari dengan rumus sebagai berikut [15].

$$\beta_n = k_0 n_{eff}^{(n)} \quad (2.12)$$

Dimana n_{eff} adalah indeks bias efektif dari moda LP0n. sedangkan untuk mencari koefisien eksitasi setiap moda dapat dihitung dengan integral overlap antara distribusi medan input dan distribusi medan dari setiap moda yang terpandu.

2.7 Indeks Bias

Indeks bias merupakan salah satu parameter optis penting dalam udara. Indeks bias menunjukkan tingkat kerapatan udara. Perambatan cahaya di udara dipengaruhi oleh indeks bias udara tersebut. Indeks bias udara bergantung pada suhu, kelembaban, tekanan, kandungan kimia, dan panjang gelombang cahaya yang melewatinya, dan kandungan kimia yang paling signifikan pengaruhnya adalah karbondioksida (CO₂) [10].

Udara memiliki dua komponen penyusun, yaitu udara bebas (78.09% N₂, 20.95% O₂, 0.93% Ar, dan 0.03% CO₂) dan uap air. Dalam menentukan indeks bias dari suatu udara pada kondisi tertentu maka pengaruh dari komponen-komponen penyusun udara tersebut harus diperhatikan. Dengan mengembangkan persamaan Edlen dan memperhatikan pengaruh suhu, tekanan, dan kelembaban, persamaan umum indeks bias dapat dirumuskan sebagai berikut [12]:

$$(n - 1) \times 10^8 = \left[8342,13 + \frac{2406030}{(130 - \sigma^2)} + \frac{15997}{(38.9 - \sigma^2)} \right] \times \left(\frac{P}{720,775} \right) \left[\frac{1 + P(0.817 - 0.0133T) \times 10^{-6}}{1 + 0,0036610T} \right] - f[5.722 - 0.0457\sigma^2] \quad (2.13)$$

Keterangan:

n = indeks bias udara

$\sigma = 1/\lambda_{vac}$

P = tekanan udara (torr)

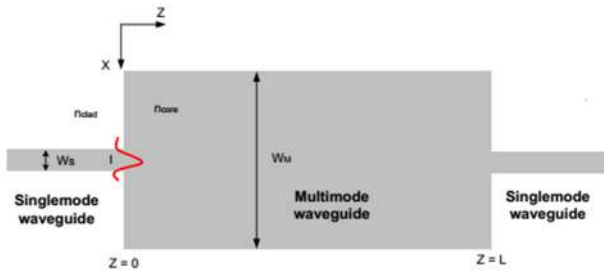
T = suhu ($^{\circ}\text{C}$)

f = tekanan parsial uap air (torr)

Dapat dilihat dari persamaan 2.13, semakin tinggi tekanan udara maka akan semakin tinggi indeks bias udara. Kemudian semakin besar nilai suhu udara maka indeks bias udara akan semakin besar. Sedangkan kelembaban diwakili oleh tekanan parsial uap air, dan dapat dilihat bahwa semakin tinggi kelembaban maka semakin turun nilai indeks bias udara.

2.8 Efek *Multimode Interference* (MMI)

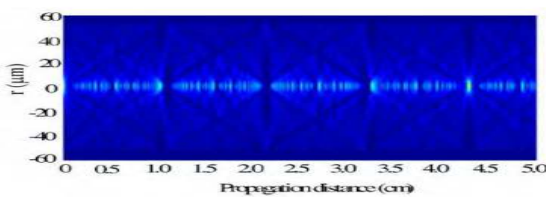
Multimode Interference (MMI) merupakan fenomena yang terjadi akibat adanya pemantulan cahaya secara berulang didalam susunan inti dan kulit pandu gelombang [11]. Pemantulan yang berulang didalam inti menyebabkan terjadinya interferensi internal, sehingga terjadi perubahan pola cahaya yang keluar dari inti secara periodik. Interferensi yang terjadi dapat secara konstruktif maupun destruktif bergantung pada profil indeks bias, jejari, radius, dan panjang gelombang operasi yang digunakan. Interferensi konstruktif yang terjadi secara periodic ini disebut sebagai *self imaging*. Fenomena *self imaging* didalam pandu gelombang *multimode* dapat dijelaskan menggunakan *modal propagation analysis* (MPA) [7].



Gambar 2.8. Skema pandu gelombang *multimode* pada serat optik SMS

Pada profil medan input ($z = 0$), moda yang berasal dari serat *singlemode* tereksitasi menjadi distribusi moda yang mungkin terpandu kedalam pandu gelombang serat *multimode*. Sedangkan pada profil medan ($z=L$), akan menghasilkan *self imaging* sebanyak n kali dengan jarak tertentu secara periodik (jarak reimaging) [7]. Jarak *self imaging* ditentukan oleh konstanta propagasi antar moda yang berdekatan (β_0 dan β_1), dinyatakan sebagai berikut [13].

$$L_i = 10 * \frac{\pi}{\beta_0 - \beta_1} \quad (2.14)$$

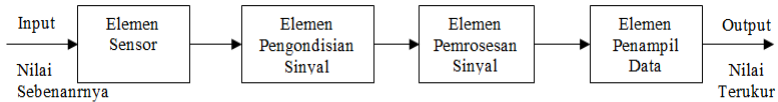


Gambar 2.9. Profil medan *self imaging* pada pandu gelombang *multimode step-index* [13]

2.9 Sensor

Berdasarkan sistem pengukuran, sensor merupakan elemen pertama yang memberikan sinyal keluaran sebagai fungsi dari masukan besaran fisis tertentu [14]. Adapun sistem pengukuran

secara umum dibangun dengan empat komponen utama, yaitu sensor, pengondisian sinyal, pemrosesan sinyal, dan display. Berikut ini merupakan diagram blok sistem pengukuran secara umum.



Gambar 2.10. Diagram blok sistem pengukuran

Sensor memiliki beberapa karakteristik statik yang dijadikan sebagai tolok ukur performansi di dalam sistem pengukuran, diantaranya adalah sebagai berikut [14].

a. *Range*

Range input dari sensor adalah nilai minimum ke maksimum (IMIN ke IMAX) dan *range* output dari element adalah nilai minimum ke maksimum (OMIN ke OMAX) [14]. Thermocouple mungkin memiliki range input dari 100°C ke 250°C.

b. *Span*

Span adalah variasi maksimum pada nilai input atau output sensor, *span* input adalah nilai input maksimum dikurangi nilai input minimum (IMAX - IMIN) dan *span* output adalah nilai output maksimum dikurangi nilai output minimum (OMAX - OMIN) [14]. Misalkan transduser tekanan memiliki *span* input 10⁴ Pa dan *span* output 16 mA.

c. *Linearitas*

Linearitas adalah hubungan antara nilai I dan O sensor yang ideal, jika digambarkan dalam grafik akan membentuk garis lurus [14]. Berikut ini merupakan rumus matematisnya.

$$O - O_{MIN} = \left[\frac{O_{MAX} - O_{MIN}}{I_{MAX} - I_{MIN}} \right] (I - I_{MIN}) \quad (2.15)$$

d. Non-Linearitas

Hubungan antara nilai input dan output tidak dalam garis lurus [14].

e. Sensitivitas

Perubahan output sensor (ΔO) untuk setiap perubahan input sensor (ΔI), yang dinyatakan dalam rasio ($\Delta O/\Delta I$) [14].

f. Hysteresis

Perubahan nilai output (O) yang bergantung pada nilai input pengukuran naik dan pengukuran turun [14].

$$\text{Hysteresis } H(I) = O(I)_{i\downarrow} - O(I)_{i\uparrow} \quad (2.16)$$

g. Resolusi

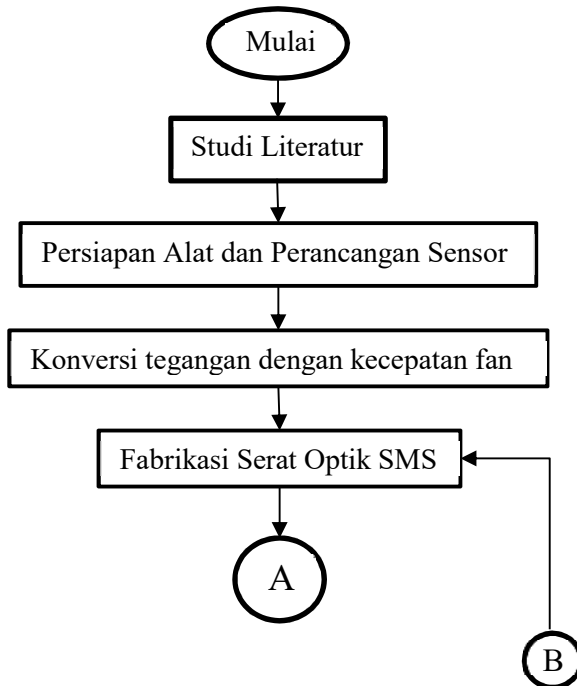
Resolusi merupakan perubahan input (I) terbesar yang dapat terjadi tanpa adanya perubahan output (O) [14].

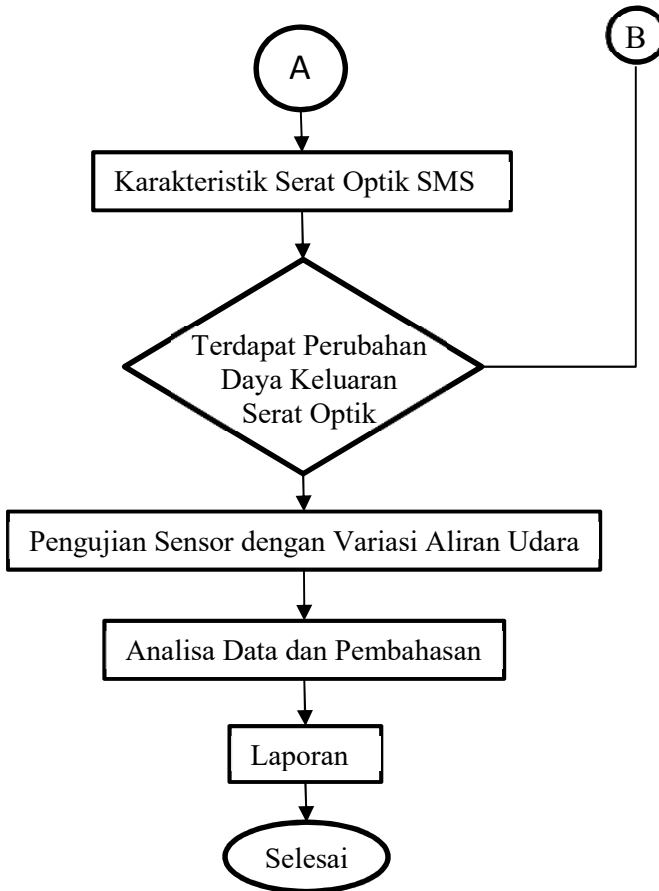
BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Pada bab ini akan dijelaskan tentang perancangan dan pembuatan desain sensor flow berbasis serat optik berstruktur SMS. Adapun tahapan-tahapan yang dilakukan dalam penelitian ini adalah penyiapan peralatan dan bahan penelitian, pengujian sensor, dan analisis hasil pengujian.

3.1 Diagram Alir Tahapan Penelitian

Secara umum pengerjaan penelitian ini ditunjukkan pada diagram alir





Gambar 3.1 Diagram alir penelitian

3.2 Tahap Penelitian

Pengerjaan tugas akhir dilakukan dengan metode eksperimental dan perhitungan matematis. Secara umum tahap-tahap pengerjaan tugas akhir ini telah disusun dalam diagram alir yang dapat dilihat pada gambar 3.1. Berikut untuk penjelasan tahap penelitian secara umum dapat dilihat dibawah ini.

3.2.1 Tinjauan Pustaka

Penelitian yang sudah ada dipelajari. Teori dasar dan penelitian yang relevan dicari dan dipelajari untuk mendukung penelitian. Kemungkinan kendala yang dihadapi dan bagaimana cara penanganannya. Teori dan tata cara pengolahan data yang akan diambil dipelajari.

3.2.2 Alat dan Bahan Penelitian

Dalam perancangan sensor serat optik berstruktur SMS memerlukan alat dan bahan antara lain:

- a. Serat optik *singlemode*
- b. Serat optik *multimode coreless*
- c. Alkohol 99%
- d. Sumber cahaya dengan panjang gelombang 1550 nm
- e. *Fusion Splicer* type-ZIC Sumitomo Electric
- f. *Optical power meter* Thorlabs PM-100D
- g. *Serat cleaver*
- h. *Serat stripper*

Alat dan bahan yang digunakan dalam perancangan uji tekanan yang berfungsi sebagai mengetahui sensitivitas sensor.

- a. Semprotan air (1 buah)
- b. Kipas
- c. Corong
- d. Anemometer

Alat dan bahan yang digunakan dalam pemrosesan data dan *display* adalah sebagai berikut.

1. Photodetector (1buah)
2. Konverter DC (1 buah)
3. OPM (*Optical Power Meter*)

3.2.3 Konversi Tegangan dengan Kecepatan Fan

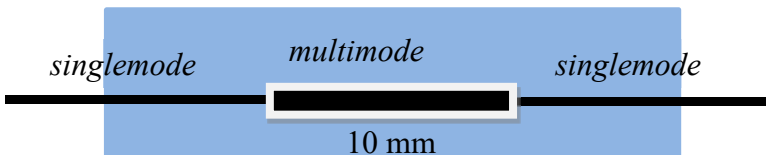
Hubungan kecepatan fan terhadap tegangan dipengaruhi oleh tegangan yang semakin meningkat. Semakin besar kecepatan angin yang dihasilkan, maka semakin besar juga tegangan nya. Pada penelitian ini digunakan tegangan 4 volt – 18 volt. Kemudian alirannya diukur dengan menggunakan anemometer.

3.2.4 Fabrikasi Sensor Berstruktur SMS

Probe sensor napas yang dibuat berjumlah tiga jenis, probe Sensor 1 menggunakan panjang serat optik *multimode coreless* sebesar 10 mm, Sensor 2 menggunakan panjang serat optik *multimode coreless* sebesar 20 mm, dan Sensor 3 menggunakan panjang serat optik *multimode coreless* sepanjang 30 mm.

Prosedur pembuatan probe Sensor 1 yaitu sebagai berikut.

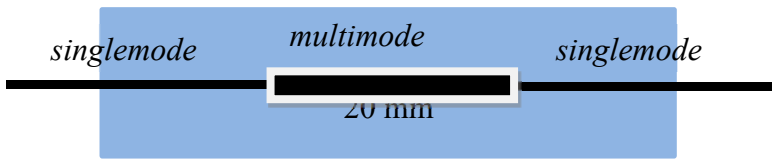
1. Memotong serat optik *multimode coreless* sepanjang 10 mm menggunakan *fiber cleaver*
2. Memotong dua buah serat optik *singlemode* menggunakan *fiber cleaver*
3. Mengupas lapisan pelindung serat optik *multimode coreless* menggunakan *fiber stripper*
4. Mengupas lapisan pelindung dua buah serat optik *singlemode* menggunakan *fiber stripper*
5. Menyambungkan serat optik *singlemode* pertama dengan serat optik *multimode coreless* menggunakan *fusion splicer*
6. Menyambungkan serat optik *singlemode* kedua dengan sisi lain serat optik *multimode coreless* menggunakan *fusion splicer*
7. Meletakkan serat optik SMS ke penampang



Gambar 3.2 Desain probe sensor 1

Prosedur pembuatan probe Sensor 2 yaitu sebagai berikut.

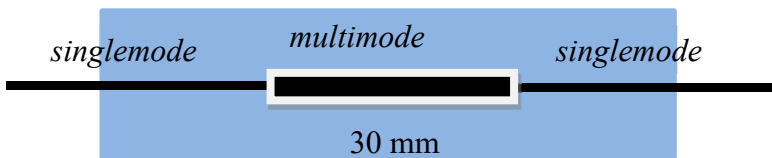
- a. Memotong serat optik *multimode coreless* sepanjang 20 mm menggunakan *fiber cleaver*
- b. Melakukan langkah 2 sampai 6 seperti prosedur pembuatan probe Sensor 1.



Gambar 3.3 Desain probe sensor 2

Prosedur pembuatan probe sensor 3 yaitu sebagai berikut.

- a. Memotong serat optik *multimode coreless* sepanjang 30 mm menggunakan *fiber cleaver*
- b. Melakukan langkah 2 sampai 6 seperti prosedur pembuatan probe Sensor 1.



Gambar 3.4 Desain probe sensor 3

3.2.5 Karakterisasi Serat Optik SMS

Pada tahap ini, dilakukan pengujian konfigurasi serat optik secara lurus, yaitu sumber cahaya, serat optik SMS dan OPM diatur sehingga dalam satu garis. Hal ini dilakukan guna mengetahui rugi daya akibat penyambungan serat optik dan mengetahui daya yang dihasilkan serat optik sebelum dilakukan percobaan sebagai sensor aliran udara.

3.2.6 Pengujian Sensor

Dalam penelitian ini pengujian sensor dimaksudkan untuk mendapat karakterisasi serat optik SMS yang baik untuk perancangan alat ukur flow ditinjau dari panjang MMF. Pengujian awal ditujukan untuk mengetahui respon sensor terhadap pengaruh udara lingkungan. Untuk mengetahui rentang pengujian maka

digunakan, tekanan dinamik dari udara digunakan alat ukur kecepatan udara yaitu anemometer, kemudian hasil pengukuran kecepatan udara ini dikonversi ke tekanan dinamik menggunakan persamaan 2.5. Setelah diketahui rentang uji yang harus digunakan dalam pengujian sensor, maka pengujian kedua ditujukan untuk mengetahui respon sensor dalam mendeteksi pernapasan secara langsung. *Data sheet* alat ukur yang digunakan dapat dilihat pada lampiran C.

Pengujian terhadap tekanan udara dilakukan dengan cara mengukur aliran udara. Dalam percobaan ini tekanan dinamik udara diukur dengan anemometer yang kemudian hasil kecepatan udara dikonversi kedalam volume menggunakan persamaan 2.4. Pengujian pada sensor SMS ini adalah mengukur, flow udara bersumber dari kipas yang variasi tegangannya diatur 4-18 volt. Flow udara dialirkan pada sebuah corong dengan panjang 7,5 cm dan diameter 3 cm. Untuk tahap pre studi ini dilakukan validasi sensor standar yang akan digunakan sebagai sensor flow yang paling baik. Oleh karena itu dilakukan percobaan dengan mengatur variasi flow, yang akan dilewatkan pada setiap sensor fiber optic SMS.

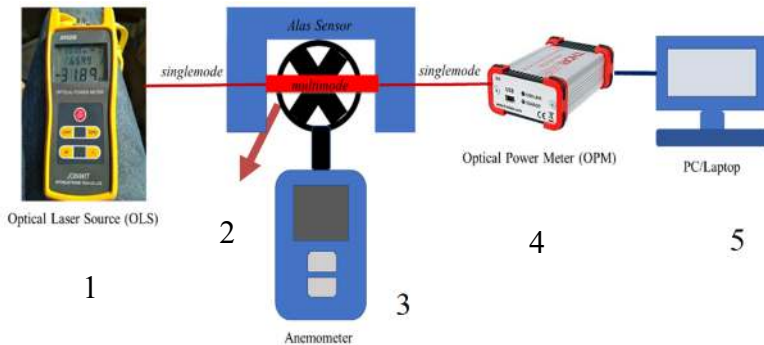
Pada penelitian ini digunakan variasi tegangan pada kipas yaitu sebesar 6 volt, 8 volt, 10 volt, 12 volt, 14 volt 16 volt, dan 18 volt. Dengan kecepatan masing-masing flow nya dari setiap tegangan tersebut yang telah diukur menggunakan anemometer yaitu sebesar 2.09 m/s, 2.81 m/s, 3.55 m/s, 3.83 m/s, 4.46 m/s, 4.99 m/s, dan 5.31 m/s dari setiap aliran flow yang lewat per detiknya. Variasi pada kecepatan pada aliran flow ini digunakan untuk mengetahui seberapa sensitifnya dari masing-masing sensor tersebut. Prosedur dalam melakukan pengujian terhadap pengaruh tekanan dinamik yaitu:

1. Melakukan penyusunan skema percobaan seperti gambar 3.5
Jarak pipa udara terhadap sensor dan anemometer harus sama sehingga tidak terjadi bias pengukuran. Dalam percobaan ini jarak yang digunakan adalah 0.5 cm.

Keterangan :

- 1 = Sumber Cahaya $\lambda = 1550 \text{ nm}$

- 2 = Sensor SMS
- 3 = Anemometer
- 4 = *Optical Power Meter*
- 5 = Komputer yang terinstal *software* PM100D untuk *display*



Gambar 3.5 Skema pengujian sensor terhadap aliran udara

2. Setelah semua siap, lalu pengujian dimulai dengan memberikan variasi tegangan sehingga diperoleh variasi flow udara dalam rentang aliran dari kipas dengan berpatokan nilai yang tertera pada anemometer. Kemudian dengan menggunakan persamaan 2.5 kecepatan dikonversi ke volume dan dibandingkan dengan hasil pembacaan sensor per detiknya yang didapat dari *optical power meter* berupa daya dalam dBm.

Prinsipnya ketika pengujian aliran udara dilewatkan pada sensor maka akan terjadi perubahan macro bending pada fiber optik multimode tersebut sehingga akan terjadi perubahan daya yang lewat pada fiber optik tersebut

3.2.7 Analisa Data

Pada tahap ini dilakukan analisa dari data pengujian yang telah didapat. Berdasarkan data yang didapatkan, dilihat respon daya hasil pengujian aliran udara yang lewat pada sensor. Pengaruh

macro bending yang terjadi pada serat optik pun diamati, sehingga dapat diketahui kondisi yang menghasilkan sensitivitas terbaik sensor.

3.2.8 Kesimpulan dan Penyusunan Laporan

Penyusunan dan penulisan laporan adalah tahap akhir dari metodologi. Kesimpulan dapat ditarik dari hasil penelitian yang telah dilakukan sesuai dengan tujuan yang telah dirumuskan sebelumnya. Pada tahap ini seluruh hasil dan kesimpulan yang didapatkan disusun dalam bentuk laporan tugas akhir.

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bagian ini akan dibahas mengenai hasil pengujian dan karakterisasi yang diperoleh dari setiap serat optik berstruktur SMS yang telah dibuat yaitu dengan panjang serat optik *multimode coreless* 1 cm, 2 cm, dan 3 cm untuk tiap penggunaan panjang gelombang operasinya 1550 nm. Pengujian kecepatan udara dilakukan dengan cara mengatur tegangan 4-20 volt pada serat optik berstruktur SMS. Sedangkan karakteristik sensor didapat dari data-data yang diambil selama pengujian, yaitu dari kecepatan udara, sehingga didapat rugi daya serat optik berstruktur SMS. Selanjutnya juga dilakukan percobaan pengukuran volume pada serat optik berstruktur SMS dengan cara meniup menggunakan pipa yang ber diameter 3 cm dan panjang 7,5 cm sepanjang serat optik.

4.1 Prinsip kerja

Serat optik bertipe SMS digunakan pada penelitian ini. sebagai sensor aliran udara, terdapat pembagian berkas cahaya yang merambat menjadi moda core dan moda cladding akibat perbedaan diameter dari *singlemode* 1 (SMF 1) ke *multimode* (MMF). Pada penelitian ini, digunakan MMF sepanjang 1 cm, 2 cm dan 3 cm sebagai daerah sensing. Pada serat optik ini terjadi *Multimode Interference* (MMI) atau merupakan fenomena yang terjadi akibat adanya pemantulan cahaya secara berulang didalam susunan inti dan kulit pandu gelombang. Pemantulan yang berulang didalam inti menyebabkan terjadinya interferensi internal, sehingga terjadi perubahan pola cahaya yang keluar dari inti secara periodik. Interferensi yang terjadi dapat secara konstruktif maupun destruktif bergantung pada profil indeks bias, jejari, radius, dan panjang gelombang operasi yang digunakan. Interferensi konstruktif yang terjadi secara periodic ini disebut sebagai *self imaging*. Pada struktur ini SMS, rugi daya terjadi akibat lairan yang lewat ke sensor yang mengakibatkan perbedaan indeks bias

dan rugi transmisi akibat pemanduan serat optik dari SMF ke MMF.

4.2 Konversi Tegangan dengan Kecepatan Aliran Udara pada Kipas

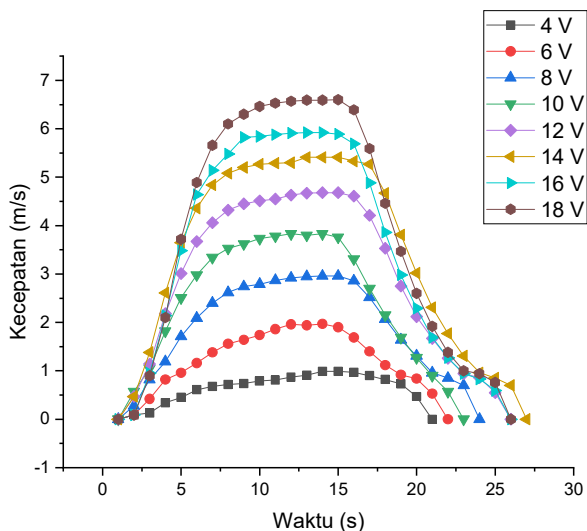
Pada penelitiann ini dilakukan konversi kecepatan udara yang inputnya berasal dari aliran udara yang dihasilkan oleh kipas, kemudian untuk mengatur besar aliran udara yang lewat digunakan converter DC sebagai pengatur tegangan input pada kipas sebesar 4-18 volt. Kemudian untuk mengetahui berapa besar aliran udara yang lewat dari kipas digunakan alat pengukur kecepatan yaitu anemometer. Untuk memfokuskan pengukuran aliran udara yang lewat maka digunakan corong berukuran diameter 3cm dan panjang 7,5cm. Berdasarkan hasil pengukuran menggunakan anemometer didapatkan hasil seperti pada tabel 4.1 sebagai berikut.

Tabel 4.1 Konversi Tegangan dengan Kecepatan

Volt	Kecepatan (m/s)
4 V	0.99
6 V	1.96
8 V	2.96
10 V	3.83
12 V	4.68
14 V	5.41
16 V	5.92
18 V	6.59

Berdasarkan tabel 4.1, diketahui bahwa pada tegangan input paling kecil sebesar 4 volt didapatkan kecepatan aliran sebesar 0,99 m/s sedangkan untuk masukan tegangan input paling tinggi sebesar 18 volt kecepatan aliran didapatkan 6,59 m/s. Sehingga dapat disimpulkan semakin tinggi tegangan maka aliran udara yang dihasilkan kipas juga semakin tinggi.

Setelah didapatkan konversi kecepatan udara yang dihasilkan pada kipas dengan tegangan tertentu, maka dilakukan pengukuran berapa waktu yang dibutuhkan kipas untuk mencapai kecepatan steady nya dengan variasi tegangan 4-18 volt, sehingga didapatkan grafik 4.1 sebagai berikut.



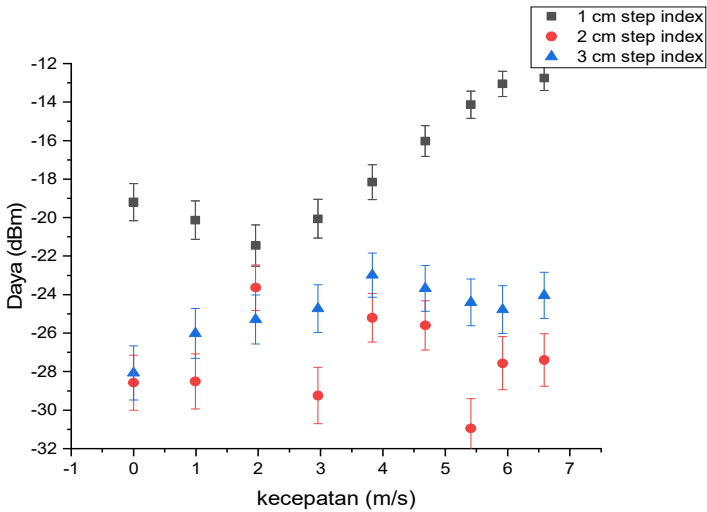
Gambar 4.1 Perbandingan pengukuran kecepatan udara (m/s) dengan waktu (s)

Berdasarkan gambar 4.1, diketahui bahwa waktu yang dibutuhkan untuk aliran udara dari kipas untuk steady di butuhkan waktu kurang lebih sekitar 15 detik. Dari grafik tersebut dapat dilihat hasilnya sesuai dengan teori yang ada, jika tegangan kecil maka aliran udara yang yang dihasilkan akan kecil sedangkan jika tegangan dinaikan maka putaran kipas akan meningkat sehingga aliran udara yang dihasilkan juga akan semakin kencang.

4.3 Karakteristik Serat Optik pada *Multimode Step-Index*

Pada penelitian ini dilakukan karakteristik serat optic sensor multimode step-index yang sudah difabrikasi dengan panjang

multimode 1 cm, 2 cm, dan 3 cm kemudian diukur daya keluarannya tiap sensor menggunakan *Optical Power Meter* yang terhubung dengan laptop. Sumber cahaya digunakan berasal dari *Optical Light Source* (OLS) dengan panjang gelombang 1550 nm. Kemudian dilakukan pengukuran daya dengan konfigurasi lurus pada sensor lalu diberikan flow udara pada sensor SMS. Kecepatan udara didapatkan dengan cara mengatur tegangan DC 4-18 volt untuk mengetahui pengaruh kecepatan udara pada serat optic. Hasil pengukuran konfigurasi lurus dapat dilihat pada gambar 4.2 berikut:



Gambar 4.2 Grafik pengaruh aliran udara terhadap sensor MMF Step Index

Pada Gambar 4.2 yaitu grafik Sensor 1, Sensor 2, dan Sensor 3 MMF step index terlihat bahwa semakin aliran udara dinaikkan maka daya yang dihasilkan semakin naik, hasil pengukuran dapat dilihat pada lampiran. Semakin tinggi aliran udara maka akan semakin tinggi daya yang dikeluarkan. Dengan rentang pengaruh aliran udara sebesar 0.9 m/s - 6.59 m/s.

Dari hasil pengukuran yang ditunjukkan gambar 4.2 terlihat bahwa dalam proses pengaruh sensor dengan aliran udara terjadi perubahan daya yang linier. Berdasarkan setiap grafik diketahui bahwa terdapat perbedaan daya keluaran antara konfigurasi lurus dari setiap sensor. Pada konfigurasi lurus, daya keluaran cenderung naik. Dari grafik diatas dapat dilihat bahwa kenaikan yang paling stabil adalah dengan sensor 1 cm. Sehingga sensor dengan panjang 1 cm ini sangat baik digunakan untuk sensor aliran. Dengan range pembacaan aliran udara pada rentang 1.96 m/s – 6.59 m/s. Karakteristik sensor yang didapat pada 1 cm adalah semakin tinggi aliran udara maka akan semakin tinggi daya yang dihasilkan dan sensor lebih sensitif.

Tabel 4.2 Pengaruh aliran udara terhadap sensor MMF *step index*

Kecepatan (m/s)	Daya Keluaran (dBm)		
	Sensor 1	Sensor 2	Sensor 3
0	-19.193	-28.568	-28.07
0.99	-20.129	-28.507	-26.016
1.96	-21.453	-23.636	-25.293
2.96	-20.062	-29.242	-24.731
3.83	-18.156	-25.203	-22.983
4.68	-16.026	-25.594	-23.681
5.41	-14.132	-30.947	-24.403
5.92	-13.055	-27.568	-24.781
6.59	-12.757	-27.391	-24.038

Data perbandingan antara sensor serat optik konfigurasi lurus pada tabel 4.2. Diketahui bahwa terdapat perbedaan daya keluaran yang dihasilkan. Pada sensor 1 dan sensor 3 diketahui semakin tinggi daya keluaran yang dihasilkan ketika aliran udara melewati sensor sedangkan pada sensor 2 diketahui semakin rendah daya keluaran pada sensor. Dengan data pada tabel 4.2 dapat dicari

karakteristik statik pada sensor. Hasil karakteristik statik dapat dilihat pada tabel 4.3

Tabel 4.3 Karakteristik Statik Sensor sensor step index terhadap pengaruh aliran udara

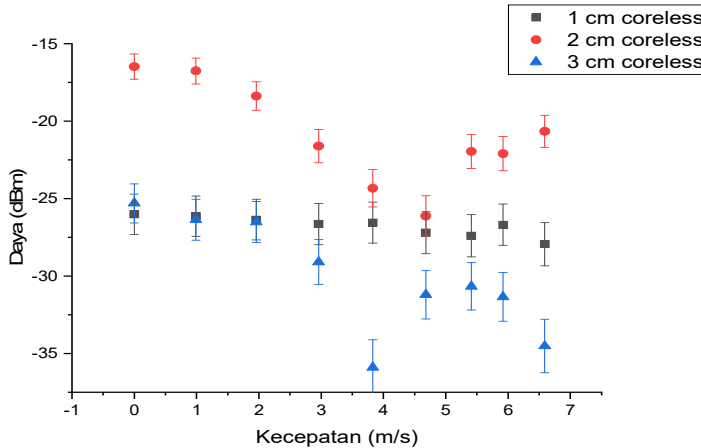
Variasi Panjang Sensor SMS	Span	Standar Deviasi	Sensitivitas ((dBm)/(m/s))
1 cm	1.9	0.624548	1.237
2 cm	4.026	1.453181	0.9317
3 cm	6.668	2.345802	0.9111

Setelah dilakukan pengujian terhadap sensor serat optik SMS, didapatkan data hasil pengukuran pada tiap variasi aliran udara. Kemudian dilakukan karakteristik statik pada pengujian sensor dapat dilihat pada tabel pada tabel 4.3, jika ditinjau dari nilai sensitivitas sensor terhadap perubahan aliran udara, maka dapat diketahui bahwa tertinggi berada pada sensor 1 dengan 1.237 ((dBm)/(m/s)), sedangkan sensitivitas terendah terdapat pada sensor 3 cm dengan 0.9111 ((dBm)/(m/s)). Diketahui bahwa pada sensor 3 cm memiliki span pengukuran terbesar, yaitu 6.668 memiliki standar deviasi sebesar 2.345802 dan untuk span pengukuran terkecil, yaitu 1.9 memiliki standar deviasi sebesar 0.624548.

4.4 Karakteristik Serat Optik pada *Multimode Coreless*

Pada penelitian ini dilakukan karakteristik serat optic sensor multimode *coreless* yang sudah difabrikasi dengan panjang multimode 1 cm, 2 cm, dan 3 cm kemudian diukur daya keluarannya tiap sensor menggunakan *Optical Power Meter* yang terhubung dengan laptop. Sumber cahaya digunakan berasal dari *Optical Light Source* (OLS) dengan panjang gelombang 1550 nm. Kemudian dilakukan pengukuran daya dengan konfigurasi lurus pada sensor lalu diberikan flow udara pada sensor SMS. Kecepatan udara didapatkan dengan cara mengatur tegangan DC 4-18 volt untuk mengetahui pengaruh kecepatan udara pada serat optic. Hasil

pengukuran konfigurasi lurus dapat dilihat pada gambar 4.3 berikut:



Gambar 4.3 Grafik pengaruh aliran udara terhadap sensor MMF *coreless*

Pada Gambar 4.3 yaitu grafik Sensor 1, Sensor 2, dan Sensor 3 MMF *coreless* terlihat bahwa semakin aliran udara dinaikkan maka daya yang dihasilkan semakin turun, hasil pengukuran dapat dilihat pada lampiran. Semakin tinggi aliran udara maka akan semakin turun daya yang dikeluarkan. Dengan rentang pengaruh aliran udara sebesar 0.9 m/s - 6.59 m/s

Dari hasil pengukuran yang ditunjukkan gambar 4.3 terlihat bahwa dalam proses pengaruh sensor dengan aliran udara terjadi perubahan daya yang linier. Berdasarkan setiap grafik diketahui bahwa terdapat perbedaan daya keluaran antara konfigurasi lurus dari setiap sensor. Pada konfigurasi lurus, daya keluaran cenderung turun. Dari grafik diatas dapat dilihat bahwa penurunan yang paling stabil adalah dengan sensor 1 cm. Sehingga sensor dengan panjang 1 cm ini sangat baik digunakan untuk sensor aliran. Dengan range pembacaan aliran udara pada rentang 0 m/s – 4.68 m/s. Karakteristik sensor yang didapat pada 1 cm adalah semakin tinggi

aliran udara maka akan semakin rendah daya yang dihasilkan dan sensor lebih sensitif.

Tabel 4.4 Pengaruh aliran udara terhadap sensor MMF *coreless*

Kecepatan (m/s)	Daya Keluaran (dBm)		
	Sensor 1	Sensor 2	Sensor 3
0	-26.009	-16.471	-25.304
0.99	-26.14	-16.753	-26.364
1.96	-26.36	-18.373	-26.509
2.96	-26.64	-21.608	-29.095
3.83	-26.55	-24.328	-35.908
4.68	-27.2	-26.121	-31.207
5.41	-27.4	-21.954	-30.662
5.92	-26.69	-22.095	-31.351
6.59	-27.94	-20.652	-34.528

Data perbandingan antara sensor serat optik konfigurasi lurus pada tabel 4.4. Diketahui bahwa terdapat perbedaan daya keluaran yang dihasilkan. Pada sensor 1, sensor 2 dan sensor 3 diketahui semakin rendah daya keluaran yang dihasilkan ketika aliran udara melewati sensor. Dengan data pada tabel 4.4 dapat dicari karakteristik statik pada sensor. Hasil karakteristik statik dapat dilihat pada tabel 4.5.

Tabel 4.5 Karakteristik Statik Sensor sensor *multimode coreless* terhadap pengaruh aliran udara

Variasi Panjang Sensor SMS	Span	Standar Deviasi	Sensitivitas ((dBm)/(m/s))
1 cm	1.9	1.119	0.2002
2 cm	4.026	4.026	0.7404
3 cm	6.668	2.345802	1.0397

Setelah dilakukan pengujian terhadap sensor serat optik SMS, didapatkan data hasil pengukuran pada tiap variasi aliran udara. Kemudian dilakukan karakteristik statik pada pengujian sensor dapat dilihat pada tabel pada tabel 4.5, jika ditinjau dari nilai sensitivitas sensor terhadap perubahan aliran udara, maka dapat diketahui bahwa tertinggi berada pada sensor 3 cm dengan 1.0397 ((dBm)/(m/s), sedangkan sensitivitas terendah terdapat pada sensor 1 cm dengan 0.2002 ((dBm)/(m/s). Diketahui bahwa pada sensor 3 cm memiliki span pengukuran terbesar, yaitu 6.668 memiliki standar deviasi sebesar 2.345802 dan untuk span pengukuran terkecil, yaitu 1.9 memiliki standar deviasi sebesar 1.119.

“Halaman ini memang dikosongkan”

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan analisa data dan pembahasan yang telah dipaparkan sebelumnya, maka dalam Tugas Akhir ini dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut:

- a. Telah dilakukan rancang bangun sensor aliran udara menggunakan serat optik berstruktur SMS dengan panjang serat optik jenis *multimode coreless* dan *multimode step index* 10 mm, 20 mm, dan 30 mm yang mampu mengukur flow udara.
- b. Kinerja sensor aliran udara yang terbaik saat menggunakan *multimode step index* adalah dengan panjang sensor 1 cm pada rentang aliran udara 1.96 m/s – 6.59 m/s dengan sensitivitas 1.237 ((dBm)/(m/s)), dan kinerja sensor aliran udara terbaik menggunakan *multimode coreless* adalah dengan panjang sensor 1 cm pada rentang aliran udara 0 m/s – 4.68 m/s dengan sensitivitas 0.2002 ((dBm)/(m/s)).

5.2 Saran

Dalam melakukan penelitian tugas akhir ini, terdapat beberapa hal yang perlu diperbaiki baik dari tinjauan teoritis maupun aplikatif. Diantaranya adalah:

- a. Melakukan penyambungan dengan sebaik mungkin sehingga tidak terdapat rugi daya yang diakibatkan oleh kecacatan sambungan
- b. Melakukan pemotongan panjang serat optik *multimode* dengan kepresisian tinggi (orde mikrometer) sehingga didapat panjang yang sesuai.
- c. Dalam melakukan pengujian pengaruh parameter-parameter fisis diharapkan tidak terjadi pengaruh efek lingkungan yang dapat mengganggu pengukuran. Maka diperlukan teknik-teknik pengukuran yang lebih baik.

“Halaman ini memang dikosongkan”

DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. Vijayan, V. Thakare, R. N. Karekar, and R. C. Aiyer “Optical fiber-based macrobend free air flow sensor using a hinge joint: A preliminary report,” *Microwave Opt. Technol. Lett.* 50(10), 2543–2546 (2008).
- [2] Bentley, J. P. (2005). *Principles of Measurement Systems 4th Edition*. London: Prentice Hall.
- [3] James F. Morris (1976). *Spirometry in the Evaluation of Pulmonary Function*
- [4] Daniel Malacara, B. J. (2001). *Handbook of Optical Engineering*. New York: Marcek Dekker, Inc.
- [5] E. R. McFadden, B. M. (1985). Thermal Mapping of The Airways in Humans. *The American Physiological Society*, 565-570.
- [6] Bahaa E. A. Saleh, M. C. (1991). *Fundamental of Photonics*. New York: John Wiley & Sons, Inc.
- [7] Hatta, A. M. (2009). *Singlemode-Multimode-Singlemode Optical Fibre Structures for Optical Sensing*. Dublin: Electronic and Communications Engineering, Faculty of Engineering, Dublin Institute of Technology.
- [8] Jiali An, Y. J. (2014). Relative Humidity Sensor Based on SMS Fiber Structure With Two Waist-Enlarged Tapers. *IEEE SENSORS*, 2683-2686.
- [9] Jiali An, Y. J. (2014, August). Relative Humidity Sensor Based on SMS Fiber Structure With Two Waist-Enlarged. *IEEE Sensors Journal*, 14, 2683-2686.
- [10] Jones, F. E. (1981, January-February). The Refractivity of Air. *Journal of Research of National Bureau of Standards*, 86, 27-32.
- [11] Novitasari, I. (2015). *Rancang Bangun Sensor Arus Listrik Searah (DC) Berbasis Serat Optik Berstruktur Singlemode-Multimode Step Index-Singlemode (SMS)*. Sarjana, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.

- [12] Owens, J. C. (1967, Januari). Optical Refractive Index of Air: Dependence on Pressure, Temperature and Composition. *APPLIED OPTICS*, 6, 51-59.
- [13] Qian Wang, G. F. (2008, Maret). Investigation on Single-Mode-Multimode-Single-Mode Fiber Structure. *Lightwave Technology*, 26, 512-519.
- [14] Bentley, j. P. (2005). *Principles of Measurement Systems 4th Edition*. London: Prentice Hall.
- [15] Yang Li, Z. L. (2014). Multimode Interference Refractive Index Sensor Based on Coreless Fiber. *Photonics Sensors*, 21-27.
- [16] Qiang Wu, Y. S. (2010). Bent SMS Fiber Structure for Temperature Measurement. *Electronics Letters*.
- [17] <https://www.teknik-otomotif.com/2017/03/fungsi-sensor-air-flow-meter.html>

LAMPIRAN A

Peralatan Penelitian

Anemometer

AN15 Anemometer



SPECIFICATIONS

Air Velocity	Range	Resolution	Accuracy
m/s (meters per sec)	1.1 ~ 30.0 m/s	0.01 m/s	± (3% + 0.30 m/s)
kph (kilometers per hour)	0.8 ~ 108.0 km/h	0.1 km/h	± (3% + 1.0 km/h)
fpm (feet per minute)	80 ~ 5900 ft/min	1 ft/min	± (3% + 40 ft/m)
mph (miles per hour)	0.9 ~ 67.0 mph	0.1 mph	± (3% + 0.4 mph)
knt (nautical mph)	0.8 ~ 58.0 knots	0.1 knots	± (3% + 0.4 knots)

Sampling rate	: 1 reading per second
Sensor	: fan
Automatic power off	: 15 minutes
Operating temperature	: 0 ~ 50°C (32 ~ 122°F)
Storage temperature	: -10 ~ 60°C (14 ~ 140°F)
Operating humidity	: <80% RH
Storage humidity	: <80% RH
Operating altitude	: 2000 meters (7000ft) maximum
Power	: 9V battery
Size	: 165 x 54 x 34mm
Weight	: ±139g
Standard accessories	: battery, instruction manual, warranty card, certificate of product conformance

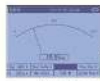
Optical Power Meter

Digital Handheld Optical Power and Energy Meter Console

- ▶ Power and Energy Measurements for Free Space and Fiber Applications
- ▶ Designed for High Accuracy, Reliability, and Ease of Use
- ▶ Over 25 Compatible Sensors



PM1000



Multiple Display Options



Detector Options

Photodiode, Fiber, Integrating Sphere, Thermal, and Photoelectric Sensors Available



Related Items

Analog Power Meter

Fiber Patch Cable

Photodiode & Detectors

Fiber Patch Cable

Analog Power and Energy Meter

Fiber Patch Cable

Fiber Patch Cable

Fiber Patch Cable

Fiber Patch Cable

Fiber Patch Cable

Fiber Patch Cable

Fiber Patch Cable

Fiber Patch Cable

Fiber Patch Cable

Fiber Patch Cable

Fiber Patch Cable

Fiber Patch Cable

Fiber Patch Cable

Fiber Patch Cable

Fiber Patch Cable

Fiber Patch Cable

Fiber Patch Cable

Fiber Patch Cable

Fiber Patch Cable

Fiber Patch Cable

Fiber Patch Cable

Fiber Patch Cable

Fiber Patch Cable

Fiber Patch Cable

Fiber Patch Cable

Fiber Patch Cable

Fiber Patch Cable

Fiber Patch Cable

Fiber Patch Cable

Fiber Patch Cable

Fiber Patch Cable

Fiber Patch Cable

Fiber Patch Cable

Fiber Patch Cable

Fiber Patch Cable

Fiber Patch Cable

Fiber Patch Cable

Fiber Patch Cable

Fiber Patch Cable

Item #	PM100D
Compatible Sensors	Photodiode, Thermal, and Pyroelectric
Optical Power Range ^a	100 pW to 200 W
Optical Energy Range ^a	3 μ J to 15 J
Available Sensor Wavelength Range ^a	185 nm - 25 μ m
Display Refresh Rate	20 Hz
Bandwidth ^a	DC - 100 kHz
Photodiode Sensor Range ^b	50 nA - 5 mA
Thermopile Sensor Range ^b	1 mV - 1 V
Pyroelectric Sensor Range ^b	100 mV - 100 V

Spesifikasi Step-Index Multimode Fiber-Thorlabs

Item #	FG010LDA	FG025LJA	FG105LVA
Optical Specifications			
Wavelength Range	400 - 550 nm and 700 - 1000 nm	400 - 550 nm and 700 - 1400 nm	400 - 2100 nm
Numerical Aperture	0.100 \pm 0.015		
Core Index	Proprietary ^a		
Cladding Index	Proprietary ^a		
Geometric Specifications			
Core Diameter	10 \pm 3.0 μ m	25 \pm 3.0 μ m	105 \pm 3.0 μ m
Cladding Diameter	125 \pm 2.0 μ m		
Coating Diameter	245 \pm 10 μ m		250 \pm 10 μ m
Core/Clad Concentricity	<1.0 μ m		
Other Specifications			
Coating	Two-Layer Acrylate		
Minimum Bend Radius (Short Term ² / Long Term ²)	120 x Cladding Diameter / 240 x Cladding Diameter		
Operating Temperature	-60 to 85 °C		-40 to 85 °C
Proof Test	\geq 100 kpsi		

Optical light source



Z1C fusion splicer



[Z1C specifications]

Optical fiber requirement	Material	Silica glass			
	Profile type	SMF (ITU-T G.652), MMF (ITU-T G.651) DGF (ITU-T G.653), NZDF (ITU-T G.656, G.658)			
	Fiber diameter	80 - 150 μ m			
	Fiber coating diameter	100 - 1,000 μ m			
	Cleave length *1	<table border="1"> <tr> <td>Up to ϕ 300 μm</td> <td rowspan="2">*Dism cable / indoor cable - 10mm</td> </tr> <tr> <td>5 - 15 mm</td> </tr> </table>	Up to ϕ 300 μ m	*Dism cable / indoor cable - 10mm	5 - 15 mm
	Up to ϕ 300 μ m	*Dism cable / indoor cable - 10mm			
5 - 15 mm					
Fiber count	Single fiber				
Size and weight	Size (Main body) *2	120W x 154D x 130H (mm)			
	Weight	Approx. 2.0 kg (with BU-115)			
	Monitor	4.3" touch screen color LCD display			
Standard performance	Typical splice loss *3	SMF : 0.02dB DGF : 0.04dB MMF : 0.01dB NZDF : 0.04dB			
	Typical splice cycle time *3	Approx. 7 seconds (Quick Mode) Approx. 7.5 seconds (SMF Standard Mode) Approx. 8 seconds (Automatic Mode)			
	Typical heating cycle time *1,4	Approx. 28 seconds			
	Splicing/heating operation per fully charged battery *5	Approx. 100			
Functions	Loss Estimation	Provided			
	Splice data storage	10,000 splices			
	Splice image capture	64 splices			
	Proof test *6	1.95N (200gf)			
	Heat shrink oven	Provided			
	Arc environment calibration	Automatically compensates for environmental condition changes			
	Arc test	Provided			
	V-groove write LED illuminator	Provided			
	Interface	USB 2.0 mini-B type			
	Storage media	SD / SDHC memory cards			
	Universal clamps for tight & loose buffer fiber	Provided			
	Reversible coating clamps	Provided			
	User-selectable heater clamp operation	Provided			
	Onboard user training video	Provided			
	Programs	Splice programs	Max. 300		
Heating programs		Max. 100			
Power supply	AC operation	With ADC-1430 Input: AC 100-240V 50/60Hz 1.1A			
	DC operation	Input: DC 10-15V, 4A			
	Battery operation	(With BU-115) 11.1V (2300mAh)			
Environmental conditions	DC output	12V For Sumitomo's hot jacket remover			
	Operation temperature *7	-10 °C ~ +50 °C			
	Storage temperature *7,8	-40 °C ~ +60 °C			
	Altitude	0 to 6,000m			
	Windproof	Max. 15m/s			
	Water & Dust resistance	Equivalent to IP52 *9			
Cathode life	Shock resistance	Drop from 76cm on 5 faces *10			
		3,000 arc discharges *11			

LAMPIRAN B DATA KARAKTERISTIK SENSOR

B.1 Hasil Monitoring Sensor MMF 1 cm Step Index

Volt	Kecepatan (m/s)	Intensitas Cahaya (dBm)	Error
0 volt	0	-26.009	0
4 volt	0.99	-26.14	0.131
6 volt	1.96	-26.36	0.089
8 volt	2.96	-26.64	0.06
10 volt	3.83	-26.55	0.37
12 volt	4.68	-27.2	0.74
14 volt	5.41	-27.4	0.45
16 volt	5.92	-26.69	0.91
18 volt	6.59	-27.94	1.96

B.2 Hasil Monitoring Sensor MMF 2 cm Step Index

Volt	Kecepatan (m/s)	Intensitas Cahaya (dBm)	Error
0 volt	0	-16.471	0
4 volt	0.99	-16.753	0.282
6 volt	1.96	-18.373	1.62
8 volt	2.96	-21.608	3.235
10 volt	3.83	-24.328	2.72
12 volt	4.68	-26.121	1.793
14 volt	5.41	-21.954	4.167
16 volt	5.92	-22.095	0.141
18 volt	6.59	-20.652	1.443

B.3 Hasil Monitoring Sensor MMF 3 cm Step Index

Volt	Kecepatan (m/s)	Intensitas Cahaya (dBm)	Error
0 volt	0	-25.304	0
4 volt	0.99	-26.364	1.06
6 volt	1.96	-26.509	0.145
8 volt	2.96	-29.095	2.586
10 volt	3.83	-35.908	6.813
12 volt	4.68	-31.207	4.701
14 volt	5.41	-30.662	0.545
16 volt	5.92	-31.351	0.689
18 volt	6.59	-34.528	3.177

B.4 Hasil Monitoring Sensor MMF 1 cm Coreless

Volt	Kecepatan (m/s)	Intensitas Cahaya (dBm)	Error
0 volt	0	-26.009	0
4 volt	0.99	-26.14	0.131
6 volt	1.96	-26.36	0.22
8 volt	2.96	-26.64	0.28
10 volt	3.83	-26.55	0.09
12 volt	4.68	-27.2	0.65
14 volt	5.41	-27.4	0.2
16 volt	5.92	-26.69	0.71
18 volt	6.59	-27.94	1.25

B.5 Hasil Monitoring Sensor MMF 2 cm Coreless

Volt	Kecepatan (m/s)	Intensitas Cahaya (dBm)	Error
0 volt	0	-16.471	0
4 volt	0.99	-16.753	0.282
6 volt	1.96	-18.373	1.62
8 volt	2.96	-21.608	3.235
10 volt	3.83	-24.328	2.72
12 volt	4.68	-26.121	1.793
14 volt	5.41	-21.954	4.167
16 volt	5.92	-22.095	0.141
18 volt	6.59	-20.652	1.443

B.6 Hasil Monitoring Sensor MMF 3 cm Coreless

Volt	Kecepatan (m/s)	Intensitas Cahaya (dBm)	Error
0 volt	0	-25.304	0
4 volt	0.99	-26.364	1.06
6 volt	1.96	-26.509	0.145
8 volt	2.96	-29.095	2.586
10 volt	3.83	-35.908	6.813
12 volt	4.68	-31.207	4.701
14 volt	5.41	-30.662	0.545
16 volt	5.92	-31.351	0.689
18 volt	6.59	-34.528	3.177

BIODATA PENULIS



Penulis lahir pada tanggal 4 September 1995 di Madiun, Jawa Tengah. Penulis menempuh pendidikan di SDN Negeri Klgen I (2002-2008), SMPN 4 Madiun, (2008-2011) , SMAN 4 Madiun (2011-2014) dan (2014-2017) D3 Metrologi dan Instrumentasi ITS. Penulis melanjutkan studi jenjang S-1 di Departemen Teknik Fisika, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya. Bidang minat yang diambil penulis adalah instrumentasi optik. Penulis mengambil kerja praktik di Fisika LIPI selama 1 bulan. Penulis dapat dihubungi melalui e-mail fjrptr@gmail.com.