



TUGAS AKHIR TF 181801

**RANCANG BANGUN SENSOR LAJU ALIRAN UDARA
BERBASIS SERAT OPTIK SMS (*SINGLEMODE-
MULTIMODE-SINGLEMODE*) UNTUK SPIROMETRI**

**AMODYA SATRIATAMA SUBAGIO
NRP 0231154000116**

**Dosen Pembimbing:
Agus Muhamad Hatta, S.T., M.Si., Ph.D.**

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

Halaman ini sengaja dikosongkan



FINAL PROJECT - TF 181801

**DESIGN OF AIR FLOW SENSOR BASED ON SMS
OPTICAL FIBER SENSOR (SINGLEMODE-
MULTIMODE-SINGLEMODE) FOR SPIROMETRY**

**AMODYA SATRIATAMA SUBAGIO
NRP. 02311540000116**

Supervisor:
Agus Muhamad Hatta, S.T., M.Si, Ph.D.

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

Halaman ini sengaja dikosongkan

PERNYATAAN BEBAS PLAGIARISME

Saya yang bertanda tangan di bawah ini

Nama : Amodya Satriatama Subagio
NRP : 02311540000116
Departemen / Prodi : Teknik Fisika/ S1 Teknik Fisika
Fakultas : Fakultas Teknologi Industri dan
Rekayasa Sistem
Perguruan Tinggi : Institut Teknologi Sepuluh
Nopember

Dengan ini menyatakan bahwa tugas akhir dengan judul *"RANCANG BANGUN SENSOR LAJU ALIRAN UDARA BERBASIS SENSOR SERAT OPTIK SMS (SINGLEMODE-MULTIMODE-SINGLEMODE) UNTUK SPIROMETRI"* 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, 23 Januari 2020

Yang membuat pernyataan



Amodya Satriatama Subagio

Halaman ini sengaja dikosongkan

**LEMBAR PENGESAHAN
TUGAS AKHIR**

**RANCANG BANGUN SENSOR LAJU ALIRAN UDARA
BERBASIS SENSOR SERAT OPTIK SMS (*SINGLEMODE-
MULTIMODE-SINGLEMODE*) UNTUK SPIROMETRI**

Oleh:

Amodya Satriatama Subagio
NRP 02311540000116

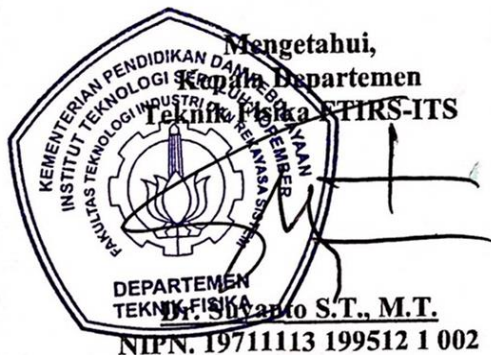
Surabaya, 23 Januari 2020

**Menyetujui,
Dosen Pembimbing**



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

Mengetahui,
Kepala Departemen
Teknik Fisika FTIRS-ITS



Dr. Syanto S.T., M.T.
NIPN. 19711113 199512 1 002

Halaman ini sengaja dikosongkan

LEMBAR PENGESAHAN
RANCANG BANGUN SENSOR LAJU ALIRAN UDARA
BERBASIS SENSOR SERAT OPTIK SMS (*SINGLEMODE-*
***MULTIMODE-SINGLEMODE*) UNTUK SPIROMETRI**

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 dan Rekayasa Sistem
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

AMODYA SATRIATAMA SUBAGIO
NRP. 02311540000116

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir:

1. Agus Muhamad Hatta, S.T., M.Si., Ph.D (Pembimbing)
2. Prof. Dr. Ir. Sekartedjo, M.Sc (Ketua Penguji)
3. Dr.rer.nat. Ir. Aulia M. T. Nasution, M.Sc (Penguji I)
4. Dr. Ir. Ali Musyafa M.Sc (Penguji II)
5. Iwan Cony S.T.,M.T. (Penguji III)

SURABAYA
JANUARI 2020

Halaman ini sengaja dikosongkan

RANCANG BANGUN SENSOR LAJU ALIRAN UDARA BERBASIS SENSOR SERAT OPTIK SMS (*SINGLEMODE- MULTIMODE-SINGLEMODE*) UNTUK SPIROMETRI

Nama Mahasiswa : Amodya Satriatama Subagio
NRP : 02311540000116
Departemen : Teknik Fisika FTIRS-ITS
Dosen Pembimbing : Agus M. Hatta, S.T., M.Si., Ph.D

Abstrak

Masalah kesehatan pernapasan sangat penting bagi manusia. Penyakit pernapasan dapat diidentifikasi melalui penilaian kinerja dan kesehatan paru-paru. Spirometri penting sebagai tes diagnostik kesehatan pernapasan. Spirometer adalah peralatan yang digunakan untuk tes fungsi paru-paru dasar untuk mengukur volume udara yang terlibat dalam respirasi. Dalam upaya mengembangkan teknologi, sensor serat optik telah mendapatkan perhatian di dunia medis karena sifatnya yang ringan, berukuran kecil, memiliki sensitivitas yang tinggi, dan kekebalan terhadap gangguan elektromagnetik. Serat optik berstruktur SMS merupakan konfigurasi yang relatif mudah difabrikasi dan murah. Penelitian ini mengusulkan serat optik berstruktur SMS sebagai spirometer dan berdasarkan hasilnya serat optik SMS dapat digunakan sebagai spirometer dengan memanfaatkan sensitivitasnya terhadap perubahan laju aliran udara untuk mengukur kapasitas vital dan laju aliran dari paru-paru. Karakteristik sensor serat optik SMS adalah sebagai berikut, yaitu dapat mengukur laju aliran dalam rentang 0-14.703 L/s dan memiliki error rata-rata 1.65% atau 36,49 ml. Karakteristik sensor ini memenuhi syarat standarisasi spirometri untuk digunakan sebagai spirometer.

Kata kunci: Serat Optik, *Singlemode-Multimode-Singlemode*, Spirometri

Halaman ini sengaja dikosongkan

**DESIGN OF AIR FLOW SENSOR BASED ON SMS
OPTICAL FIBER SENSOR (SINGLEMODE-MULTIMODE-
SINGLEMODE) FOR SPIROMETRY**

Name : Amodya Satriatama Subagio
NRP : 0231154000116
Department : Engineering Physics INDSYS-ITS
Supervisor : Agus M. Hatta, S.T., M.Si., Ph.D

Abstract

Respiratory health problems are very important issues worldwide. Respiratory diseases can be identified through performance and lung health assessments. Spirometry is important as a diagnostic test for respiratory health. A spirometer is the equipment used for basic lung function tests to measure the volume of air involved in respiration. To develop technology further, optical fiber sensors have received attention in the medical world because of they are lightweight, small, have high sensitivity, and immunity to electromagnetic interference. SMS (singlemode-multimode-singlemode) structure optical fiber is a configuration that is relatively easy to fabricate and inexpensive. This study proposes that the optical fiber structure of SMS as a spirometer and based on its results the SMS optical fiber can be used as a spirometer by utilizing its sensitivity to changes in air flow rate to measure vital capacity and flow rate from the lungs. The characteristics of the SMS fiber optic sensor are that it can measure flow rate within the range of 0-14,703 L/s and has an average error of 1.65% or 36.49 ml. The characteristics of the fiber optic sensor meet the requirements determined by the standardization of spirometry to be used as a spirometer.

Keywords: *Optical Fiber, Singlemode-Multimode-Singlemode, Spirometry*

Halaman ini sengaja dikosongkan

KATA PENGANTAR

Puji Syukur kepada Tuhan yang maha Esa sehingga penulis mampu menyelesaikan tugas akhir dengan judul **RANCANG BANGUN SENSOR LAJU ALIRAN UDARA BERBASIS SENSOR SERAT OPTIK SMS (SINGLEMODE-MULTIMODE-SINGLEMODE) UNTUK SPIROMETRI.**

Pada kesempatan kali ini, penulis ingin mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada seluruh pihak yang telah membantu dalam menyelesaikan tugas akhir ini. Ucapan terimakasih ini, khususnya diberikan kepada:

1. Bapak Agus Muhamad Hatta, S.T, M.Si, Ph.D, selaku pembimbing yang telah memberikan ilmu, bimbingan, kesabaran dalam mengajar, serta memfasilitasi selama menempuh pendidikan di Teknik Fisika.
2. Bapak Prof. Dr. Ir. Sekartedjo, M. Sc, selaku ketua penguji dan Kepala Laboratorium Rekayasa Fotonika yang sudah mengajar ilmu fotonika dan kehidupan, memberikan inspirasi kepada penulis.
3. Adik Subagio dan Tiesa Heradita, selaku kedua orang tua serta seluruh keluarga penulis atas segala doa serta dukungan yang telah diberikan kepada penulis agar bisa menyelesaikan tugas akhir penulis.
4. Chiara Arandani, yang selalu sedia memberikan bantuan dan bimbingan pada penulis, yang tanpa bantuan atau bimbingannya tidak akan selesai tugas akhir penulis.
5. Teman-teman mahasiswa Teknik Fisika yang sudah menjadi subjek eksperimen dan membantu penulis dengan kontribusinya meniupi fiber sampai lelah.
6. Murti Marinah karena sudah memfasilitasi penulis dalam mengerjakan tugas akhir dan mengadakan seminar proposal dan seminar progress.
7. Asisten Laboratorium Fotonika dan rekan seperjuangan tugas akhir yang mengambil bidang minat rekayasa fotonika.

Penulis sadar bahwa penulisan laporan tugas akhir ini tidaklah sempurna, oleh karena itu penulis ingin mengucapkan permintaan maaf atas kekeliruan apabila ditemukan dikemudian hari. Namun semoga laporan ini dapat memberikan kontribusi yang berarti dan menambah wawasan yang bermanfaat bagi pembaca, keluarga besar Teknik Fisika khususnya, dan civitas akademik ITS pada umumnya. Selain itu juga semoga dapat bermanfaat sebagai referensi pengerjaan laporan tugas akhir bagi mahasiswa yang lain.

Surabaya, 23 Januari 2020

DAFTAR ISI

HALAMAN 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.....	xxi
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	3
1.3 Tujuan.....	3
1.4 Batasan Masalah.....	3
1.5 Sistematika Laporan.....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Tes Fungsi Paru-paru.....	5
2.2 Spirometri.....	6
2.3 Volume Paru-Paru.....	8
2.4 Serat Optik.....	10
2.5 Serat Optik Berstruktur <i>Singlemode-Multimode-Singlemode</i>	11
2.6 Prinsip Sensor Aliran Udara pada Serat Optik.....	13
BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....	15
3.1 Studi Literatur.....	16
3.2 Persiapan Sensor.....	16
3.3 Pengambilan Data Kecepatan Aliran Udara dengan Sensor Serat Optik SMS dan Anemometer.....	17
3.4 Pengambilan Data Volume Pernapasan dengan Sensor Serat Optik SMS dan Spirometer.....	18
3.5 Pengolahan dan Analisis Data.....	20
3.6 Penyusunan Laporan.....	21
BAB IV ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN.....	23
4.1 Hasil Karakterisasi.....	23

4.2 Uji pernapasan maksimal terhadap Sensor	26
4.3 Analisis karakteristik sensor	30
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	33
5.1 Kesimpulan.....	33
5.2 Saran.....	33
DAFTAR PUSTAKA.....	35
BIODATA PENULIS.....	69
LAMPIRAN	

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Prediksi kapasitas vital (mL) berdasarkan umur dan tinggi badan [25]	6
Gambar 2.2 (a) Spirometer insentif dan (b) Spirometer digital ...	7
Gambar 2.3 Volume dan Kapasitas Paru-Paru	9
Gambar 2.4 Ilustrasi FVC, FEV1, rasio FEV1 / FVC dan PEF pada (a) Pola pernapasan dan (b) Perubahan volume terhadap waktu pada ekspirasi maksimum [24]	9
Gambar 2.5 Serat optik [28].....	10
Gambar 2.6 Bentuk geometri, profil indeks bias, dan tipe perambatan sinar pada (a) serat optik <i>multimode step index</i> , (b) serat optik <i>multimode graded index</i> , (c) serat optik <i>singlemode</i> [29]	11
Gambar 2.7 Skema struktur serat optik SMS [31]	12
Gambar 2.8 Struktur SMS dan pola interferensi di dalam serat multimode [32].....	12
Gambar 2.9 Penerapan <i>bending</i> pada serat optik [33].....	13
Gambar 2.10 Diagram alur penginderaan	14
Gambar 3.1 <i>Diagram alir proses pengerjaan tugas akhir</i>	15
Gambar 3.2 <i>Setup</i> pengujian serat optik SMS.....	17
Gambar 3.3 Diameter serat optik dalam keadaan (a) tidak ada <i>bending</i> ($d_1=6$ cm) dan (b) dengan <i>bending</i> ($d_2=5.8$ cm).....	17
Gambar 3.4 Anemometer Dekko FT-7935	18
Gambar 3.5 <i>Setup</i> pengambilan data kecepatan aliran udara dari kipas angin	18
Gambar 3.6 <i>Setup</i> pengambilan data volume paru-paru.....	19
Gambar 3.7 Spirometer Volydyne 5000	19
Gambar 4.1 Hasil karakterisasi sensor serat optik SMS (panjang multimode 1 cm)	23
Gambar 4.2 Hasil karakterisasi sensor serat optik SMS (panjang multimode 4 cm)	24
Gambar 4.3 Hasil karakterisasi sensor serat optik SMS (panjang multimode 4 cm dengan <i>bending</i>)	24

Gambar 4.4 Respon serat optik SMS dengan panjang multimode (a) 4 cm dan (b) 4 cm dengan <i>bending</i> terhadap pemberian aliran udara dengan kecepatan 5 m/s	25
Gambar 4.5 Grafik perbandingan hasil ekspirasi dua subjek eksperimen	27
Gambar 4.6 Grafik hasil ekspirasi maksimal subjek A	28
Gambar 4.7 Grafik hasil ekspirasi maksimal subjek B.....	29
Gambar 4.8 Perbandingan hasil ukur FVC pada spirometer klinis dengan FVC pada sensor serat optik SMS.....	31

DAFTAR TABEL

Tabel 4.1 Hasil perhitungan volume total subjek A	29
Tabel 4.2 Hasil perhitungan volume total subjek B	30
Tabel 4.3 Perbandingan parameter karakteristik spirometer serat optik SMS dengan rekomendasi standarisasi spirometri	31

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Bernapas adalah fungsi fisiologis yang penting pada manusia. Sama halnya seperti organ lainnya dalam tubuh manusia, organ pernapasan juga dapat mengalami sakit. Ada banyak penyakit pernapasan yang dapat diketahui melalui penilaian fungsi paru-paru. Obstruksi aliran udara di paru-paru manusia dapat menyebabkan beberapa masalah, seperti Penyakit Paru Obstruktif Kronis (PPOK), bronkitis, atau asma, yang menuntut pemantauan berkala fungsi paru-paru untuk pengobatan [1]. Penyakit pernapasan, seperti asma dan PPOK, adalah masalah kesehatan utama di seluruh dunia [2]. Menurut *Forum of International Respiratory Societies* (FIRS), 334 juta orang menderita asma dan 384 juta orang menderita PPOK, menyebabkan 3 juta kematian setiap tahun, menjadikannya penyebab utama kematian ketiga di dunia [3]. Oleh karena itu, pemantauan kondisi paru-paru sangat penting untuk menjaga kesehatan. Metode yang paling umum saat ini digunakan untuk evaluasi fungsi paru adalah spirometri. Spirometri penting sebagai tes diagnostik kesehatan pernapasan. Spirometri dapat diukur dengan metode langsung yang membutuhkan pernapasan melalui beberapa perangkat seperti spirometer [4], [5]. Spirometer adalah peralatan yang digunakan untuk tes fungsi paru-paru dasar untuk mengukur volume udara yang terlibat dalam respirasi. Sebuah tes untuk mengukur pergerakan udara masuk dan keluar dari paru-paru dapat membantu untuk mendiagnosis berbagai kondisi kesehatan paru-paru [6].

Sudah tersedia berbagai jenis spirometer yang dijual secara komersial, namun tidak menutup kemungkinan untuk dilakukannya inovasi, mulai dari kemudahan pembuatan dan ketahanan sensor terhadap lingkungan, seperti ketahanan terhadap gangguan gelombang elektromagnetik yang disebabkan oleh alat medis seperti MRI dan CAT scan. Munculnya laser dan sistem sensor serat optik telah merevolusi bidang medis dalam hal diagnosa dan pengobatan penyakit [7].

Sensor serat optik bekerja berdasarkan prinsip analisis energi optik yang mengalir melalui serat optik. Sensor serat optik telah mendapatkan perhatian besar karena ukurannya yang lebih kecil, bobot lebih ringan, sensitivitas lebih tinggi, *bandwidth* besar, dan kekebalan terhadap interferensi elektromagnetik [8]. Ukuran serat optik yang kecil dan kemudahan dalam implementasinya, membuat sensor serat optik dapat diaplikasikan dalam bidang biomedis [9]. Karena adanya perubahan energi cahaya dalam serat optik, bahkan perubahan yang kecil dapat diukur secara akurat. Suhu, tekanan, dan lain-lain adalah pengukuran yang diteliti secara luas. Berbagai jenis sensor serat optik dapat diaplikasikan sebagai sensor suhu [10], [11], sensor tekanan [12], [13], [14], sensor rotasi [15], sensor getaran [16], [17], sensor arus serat optik [18], dan lain-lain. Sensor serat optik pada penelitian sebelumnya masih memiliki kelemahan, seperti kesulitan fabrikasi (memakan waktu banyak, tidak seragam, waktu pemakaian yang terbatas dan stabilitas yang buruk) atau dari kompleksitas sistem penginderaan [19]. Misalnya, sensor napas berbasis serat Bragg grating (FBG) biasanya memerlukan pemantauan pergeseran panjang gelombang Bragg [20], [21], sehingga sistem membutuhkan biaya yang relatif tinggi untuk kedua peralatan, yaitu sistem analisis distribusi daya optik pada rentang panjang gelombang dan sensor FBG itu sendiri.

Serat optik berstruktur *singlemode-multimode-singlemode* (SMS) telah diteliti secara intensif sebagai sensor indeks bias, sensor suhu dan kelembaban selama dekade terakhir [19]. Dalam riset-riset sebelumnya, telah dibuktikan bahwa struktur serat optik SMS sensitif terhadap pembengkokan makro [22], [23].

Penelitian ini mengusulkan menggunakan serat optik berstruktur SMS menggunakan prinsip *bending* sebagai sensor volume udara untuk spirometri. Struktur ini pada dasarnya adalah serat optik *singlemode* (SMF) yang digunakan secara bersamaan sebagai serat input dan output yang disambungkan dengan segmen serat optik *multimode* (MMF). Bagian MMF ditempatkan ke dalam pipa yang diberikan aliran udara dari pernapasan manusia, dimana udara yang melintasi serat optik akan memaksakan gaya melintang yang menyebabkan serat optik menekuk, sehingga menghasilkan efek *Multimode Interference* (MMI) yang terkait dengan kecepatan

fluida dan laju aliran. Kondisi *self imaging* MMI digunakan untuk memungkinkan evaluasi daya output yang lebih tinggi, karena cahaya akan super posisi pada dirinya pada titik ini. Spirometer yang dikembangkan pada penelitian ini digunakan untuk mengevaluasi beberapa parameter fungsi paru, seperti Volume Ekspirasi Paksa pada detik pertama (FEV1), Kapasitas Vital Paksa (FVC), rasio FEV1 / FVC dan *Peak Expiratory Flow* (PEF).

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah dipaparkan, maka rumusan masalah dalam penelitian ini adalah:

1. Bagaimana pembuatan sensor laju aliran untuk spirometri menggunakan serat optik berstruktur SMS?
2. Bagaimana kinerja sensor serat optik SMS sebagai sensor laju aliran udara untuk spirometri?

1.3 Tujuan

Berdasarkan rumusan masalah, maka tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Membuat sensor laju aliran udara untuk spirometri menggunakan serat optik berstruktur SMS.
2. Mengetahui karakteristik sensor serat optik SMS sebagai sensor laju aliran untuk spirometri.

1.4 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah dalam penelitian ini agar pembahasan dan analisis dapat lebih fokus dan tidak meluas antara lain:

1. Serat optik yang digunakan sebagai sensor adalah serat optik silika *multimode step index* yang kedua ujungnya disambung dengan serat optik *singlemode*.
2. Sumber cahaya yang digunakan adalah cahaya *infrared* dari perangkat *Optical Light Source* dengan panjang gelombang 1550 nm.
3. Volume yang akan diukur adalah *Forced Vital Capacity* (FVC).
4. Objek yang digunakan adalah manusia dewasa.

1.5 Sistematika Laporan

Laporan tugas akhir ini tersusun atas lima bab yang tersusun secara sistematis dengan rincian sebagai berikut:

BAB I PENDAHULUAN

Bab ini menjelaskan latar belakang, rumusan masalah, tujuan, batasan masalah, dan sistematika penulisan laporan pada tugas akhir ini.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Pada bab ini dijelaskan mengenai beberapa teori dasar yang menunjang penelitian tugas akhir ini mengenai spirometri.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini memberikan penjelasan detail tahapan-tahapan yang dilakukan untuk menyelesaikan penelitian tugas akhir ini.

BAB IV ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini dijelaskan hasil dan pembahasan pada perancangan dan hasil simulasi

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini terdiri dari kesimpulan dari penelitian tugas akhir ini dan saran yang dapat diberikan untuk penelitian selanjutn

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tes Fungsi Paru-paru

Tes fungsi paru-paru merupakan berbagai tes yang memeriksa seberapa baik kinerja paru-paru. Tes paling dasar adalah spirometri. Tes ini mengukur jumlah udara yang dapat ditahan paru-paru. Tes ini juga mengukur seberapa kuat seseorang dapat mengosongkan udara dari paru-paru. Spirometri digunakan untuk menyaring penyakit yang mempengaruhi volume paru-paru. Ini juga digunakan untuk menyaring penyakit yang mempengaruhi saluran udara, seperti PPOK atau asma. Kemudian ada tes volume paru-paru, yaitu tes fungsi paru yang umum dilakukan. Selain itu, terdapat pula tes kapasitas difusi yang mengukur seberapa mudah oksigen memasuki aliran darah. Ada pula tes latihan yang membantu mengevaluasi penyebab sesak napas. Ada juga tes untuk mengetahui apakah asma hadir ketika hasil tes pernapasan biasa normal [24].

Nilai volume dapat diprediksi berdasarkan perhitungan usia, tinggi, dan jenis kelamin, seperti pada gambar 2.1. Jika nilainya abnormal, mungkin ada masalah paru-paru. Terkadang pasien dengan paru-paru normal mungkin memiliki nilai tes pernapasan yang tidak normal. Untuk mengetahui secara jelas hasil tes fungsi paru-paru, diperlukan konsultasi dokter, sedangkan untuk melakukannya, diperlukan persyaratan tertentu dikarenakan dapat membahayakan kesehatan pasien. Tes ini dilarang untuk seorang yang: mengalami penyakit jantung, serangan jantung atau stroke dalam waktu 3 bulan terakhir, aneurisma, cedera kepala, atau operasi mata dalam waktu dekat [25].

Predictive Nomogram-Inspiratory Capacity**
Nomograma predictivo-Capacidad inspiratoria**

		FEMALE • MUJER			• HEIGHT • ALTURA					
		58"	60"	62"	64"	66"	68"	70"	72"	74"
		1.47m	1.52m	1.57m	1.63m	1.68m	1.73m	1.78m	1.83m	1.88m
20		1900	2100	2300	2500	2700	2900	3100	3300	3500†
25		1850	2050	2250	2450	2650	2850	3050	3250	3450
30		1800	2000	2200	2400	2600	2800	3000	3200	3400
35		1750	1950	2150	2350	2550	2750	2950	3150	3350
40		1700	1900	2100	2300	2500	2700	2900	3100	3300
45	• Age	1650	1850	2050	2250	2450	2650	2850	3050	3250
50	• Edad	1600	1800	2000	2200	2400	2600	2800	3000	3200
55		1550	1750	1950	2150	2350	2550	2750	2950	3150
60		1500	1700	1900	2100	2300	2500	2700	2900	3100
65		1450	1650	1850	2050	2250	2450	2650	2850	3050
70		1400	1600	1800	2000	2200	2400	2600	2800	3000
75		1350	1550	1750	1950	2150	2350	2550	2750	2950
80		1300	1500	1700	1900	2100	2300	2500	2700	2900

		MALE • HOMBRE			• HEIGHT • ALTURA							
		58"	60"	62"	64"	66"	68"	70"	72"	74"	76"	78"
		1.47m	1.52m	1.57m	1.63m	1.68m	1.73m	1.78m	1.83m	1.88m	1.93m	1.98m
20		2000	2200	2400	2600	2800	3000	3200	3400	3600	3800	4000†
25		1950	2150	2350	2550	2750	2950	3150	3350	3550	3750	3950
30		1900	2100	2300	2500	2700	2900	3100	3300	3500	3700	3900
35		1800	2000	2200	2400	2600	2800	3000	3200	3400	3600	3800
40		1750	1950	2150	2350	2550	2750	2950	3150	3350	3550	3750
45	• Age	1700	1900	2100	2300	2500	2700	2900	3100	3300	3500	3700
50	• Edad	1650	1850	2050	2250	2450	2650	2850	3050	3250	3450	3650
55		1550	1750	1950	2150	2350	2550	2750	2950	3150	3350	3550
60		1500	1700	1900	2100	2300	2500	2700	2900	3100	3300	3500
65		1400	1600	1800	2000	2200	2400	2600	2800	3000	3200	3400
70		1350	1550	1750	1950	2150	2350	2550	2750	2950	3150	3350
75		1300	1500	1700	1900	2100	2300	2500	2700	2900	3100	3300
80		1250	1450	1650	1850	2050	2250	2450	2650	2850	3050	3250

Gambar 2.1 Prediksi kapasitas vital (mL) berdasarkan umur dan tinggi badan [25]

2.2 Spirometri

Spirometri adalah tes fisiologis yang mengukur bagaimana individu menghirup atau mengembuskan volume udara sebagai fungsi waktu. Sinyal primer yang diukur dalam spirometri dapat berupa volume atau laju aliran. Spirometri sangat berharga sebagai tes umum untuk mengetahui kesehatan pernapasan. Spirometri bekerja dengan cara menganalisis beberapa parameter yang dapat digunakan dalam diagnosis berbagai penyakit paru-paru, dengan fokus khusus pada perbedaan antara penyakit paru-paru obstruktif dan restriktif. Salah satu alat yang digunakan dalam spirometri, yaitu spirometer.

Spirometer yang dikembangkan dalam penelitian ini digunakan untuk mengevaluasi beberapa parameter fungsi paru, seperti *Forced Expiratory Volume* pada detik pertama (FEV1), *Forced Vital Capacity* (FVC), rasio FEV1 dengan FVC, dan *Peak Expiratory Flow* (PEF). FVC adalah volume maksimal udara yang dihembuskan dengan upaya paksa setelah inspirasi maksimal. FEV1 adalah volume maksimal udara yang dihembuskan dalam detik pertama dari ekspirasi paksa dari posisi inspirasi penuh. Pada seseorang dengan saluran udara normal, sebagian besar udara dari paru-paru (hampir 80%) dapat dikeluarkan dalam satu detik. Rasio FEV1 / FVC digunakan sebagai indikator fungsi jalan napas. PEF adalah laju aliran tertinggi yang dicapai dari ekspirasi paksa dimulai dari posisi inflasi paru maksimal [1], [4].

Berdasarkan standarisasi spirometer [4], spirometer harus mampu mengakumulasi volume selama 15 detik dan mengukur volume ± 8 L dengan akurasi setidaknya $\pm 3\%$ dari membaca atau $\pm 0,050$ L, dipilih yang lebih besar, dengan aliran antara 0 dan 14 L s^{-1} dan resolusi $0,2 \text{ L s}^{-1}$. Spirometer dapat dibagi menjadi berbagai jenis, diantaranya adalah spirometer insentif, yang pada umumnya mengukur volume udara yang dihirup paru-paru, dan spirometer digital, yang dapat menampilkan volume dan laju aliran pernapasan berdasarkan volume udara yang dihirup dan dihembuskan.



(a)



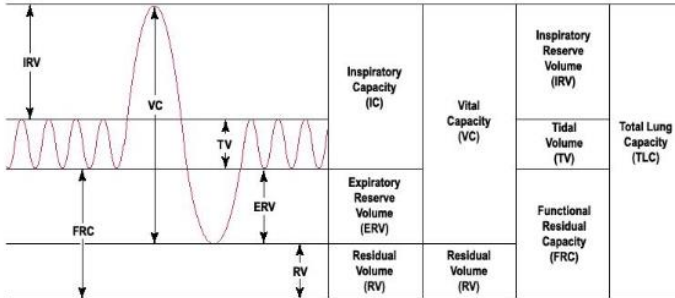
(b)

Gambar 2.2 (a) Spirometer insentif dan (b) Spirometer digital

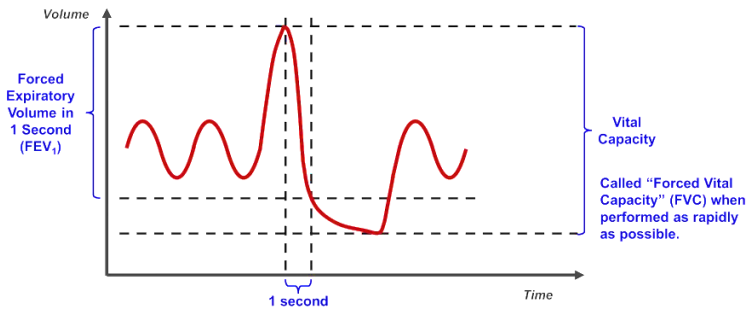
2.3 Volume Paru-Paru

Kapasitas total paru-paru terdiri dari beberapa volume dan kapasitas yang tumpang tindih. Semua dapat diukur dengan spirometer kecuali *Residual Volume* (RV), *Functional Residual Capacity* (FRC), dan kapasitas total paru-paru. Macam-macam volume udara dalam paru-paru manusia dijelaskan sebagai berikut [24].

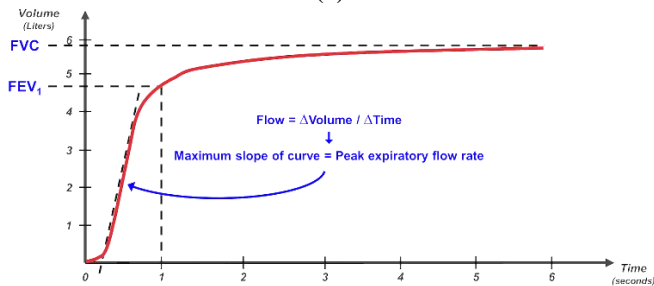
1. *Tidal Volume* (TV) adalah volume udara yang memasuki paru-paru (inspirasi) atau volume udara yang meninggalkan paru-paru (ekspirasi). Volumennya $\pm 0,5$ L, tetapi tergantung pada ukuran tubuh.
2. *Inspiratory Residual Volume* (IRV) merupakan jumlah udara maksimal yang dapat diinspirasi di atas volume tidal. Volumennya ± 3 L.
3. *Functional Residual Capacity* (FRC) adalah volume yang tersisa di paru-paru setelah ekspirasi normal. Volumennya $\pm 2,5$ L, namun akan berkurang jika otot-otot dada lemah. FRC merupakan penjumlahan dari ERV dan RV.
4. *Expiratory Reserve Volume* (ERV) merupakan volume udara maksimal yang diekspirasi setelah ekspirasi normal. Volumennya $\pm 1,5$ L.
5. *Residual Volume* (RV) adalah volume udara yang masih tersisa di paru-paru setelah ekspirasi maksimal. Volumennya ± 1 L. RV tidak bisa diukur dengan spirometer.
6. *Vital Capacity* (VC) merupakan jumlah udara maksimal yang dapat diekspirasi oleh seseorang setelah inspirasi maksimal. VC adalah penjumlahan dari TV, IRV, dan ERV. Ketika melakukan ekspirasi atau inspirasi dengan usaha menghirup atau mengeluarkan udara semaksimal mungkin, volume yang berpindah ini disebut *Forced Vital Capacity* (FVC).



Gambar 2.3 Volume dan Kapasitas Paru-Paru



(a)



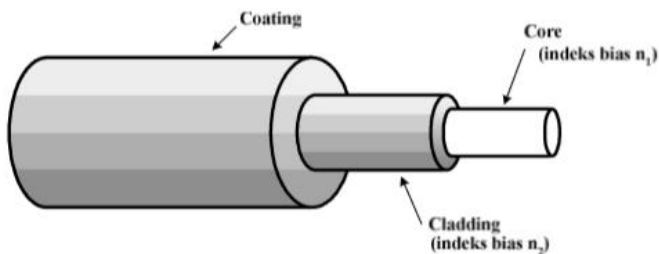
(b)

Gambar 2.4 Ilustrasi FVC, FEV_1 , rasio FEV_1 / FVC dan PEF pada (a) Pola pernapasan dan (b) Perubahan volume terhadap waktu pada ekspirasi maksimum [24]

2.4 Serat Optik

Serat optik adalah pemandu gelombang elektromagnetik yang bekerja pada frekuensi optik. Satu paket gelombang elektromagnetik yang terpandu disebut dengan moda [26]. Pemanduan gelombang optik merupakan pemanduan berkas cahaya dari suatu tempat ke tempat yang lain. Agar pemanduan cahaya tersebut berhasil, maka diperlukan medium yang memiliki indeks bias yang berbeda [27].

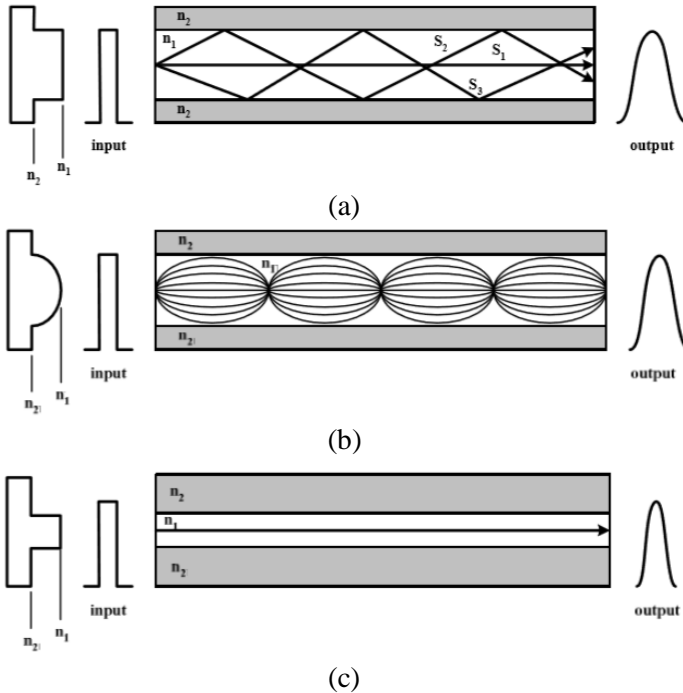
Serat optik terdiri dari tiga bagian utama yaitu *core*, *cladding*, dan *coating*. *Core* merupakan bagian utama dari serat optik, karena pada *core* terdapat informasi berupa energi cahaya yang ditransmisikan. *Core* dan *cladding* terbuat dari bahan silika atau kaca yang berkualitas tinggi dan tahan air. *Core* memiliki indeks bias yang lebih besar daripada *cladding* ($n_1 > n_2$) hingga pada batas kritis, sehingga memungkinkan terjadinya *Total Internal Reflection* (TIR). Dengan demikian cahaya akan selalu merambat dalam *core* hingga ke ujung serat [28].



Gambar 2.5 Serat optik [28]

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

Bentuk geometri profil indeks bias dan tipe perambatan sinar pada jenis serat optik dapat dilihat pada gambar 2.6.

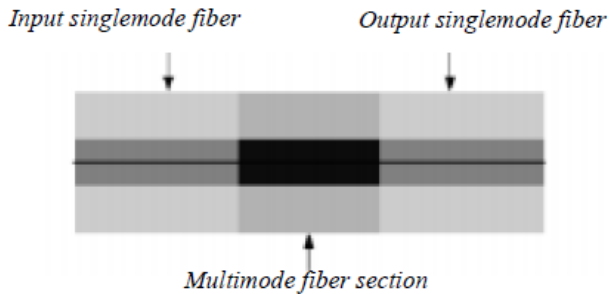


Gambar 2.6 Bentuk geometri, profil indeks bias, dan tipe perambatan sinar pada (a) serat optik *multimode step index*, (b) serat optik *multimode graded index*, (c) serat optik *singlemode* [29]

2.5 Serat Optik Berstruktur *Singlemode-Multimode-Singlemode*

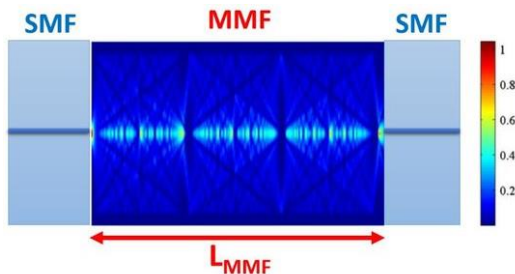
Serat optik berstruktur SMS terdiri dari serat optik *multimode* yang disambungkan pada kedua ujungnya serat optik *singlemode* [30]. Sambungan antar serat optik harus tersambung rata secara aksial untuk menghindari adanya eksitasi moda dengan orde lebih tinggi pada daerah sambungan

masuk *lead-in* antara *singlemode* dan *multimode* maupun pada sambungan keluar *lead-out* serat *multimode*.



Gambar 2.7 Skema struktur serat optik SMS [31]

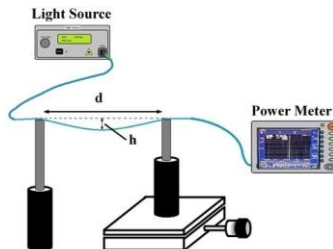
Pada serat optik SMS terjadi peristiwa MMI (*Multimode Interference*) yang disebabkan oleh moda cahaya yang masuk dari serat optik *singlemode* ke dalam serat optik *multimode* membangkitkan moda-moda yang mengakibatkan terbentuknya *self imaging* (interferensi konstruktif) yang terjadi pada jarak tertentu dan berulang pada kelipatan jarak tertentu. Kejadian tersebut dapat digambarkan seperti pada gambar 2.8.



Gambar 2.8 Struktur SMS dan pola interferensi di dalam serat multimode [32]

2.6 Prinsip Sensor Aliran Udara pada Serat Optik

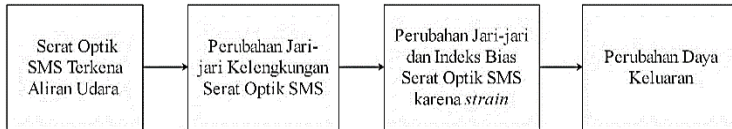
Perilaku intensitas daya keluaran sensor *bending* SMS sebagai pengaruh dari perubahan jari-jari kelengkungan yang secara langsung mempengaruhi distribusi daya dalam mode tereksitasi MMF dan bagaimana mereka berinterferensi ketika *bending*. *Bending* atau lekukan pada serat optik menyebabkan adanya *strain* atau regangan pada bahan serat optik yang menyebabkan bahan tersebut mengalami perubahan kerapatan dan perubahan jari-jari. Perubahan ini menyebabkan indeks bias pada bahan serat optik mengalami perubahan secara langsung mempengaruhi lintasan moda-moda cahaya di dalam serat optik dan menyebabkan sebagian cahaya keluar dari serat optik. Hasilnya total daya keluaran akan lebih rendah seiring dengan kenaikan kelengkungan atau pengurangan jari-jari kelengkungan [18].



Gambar 2.9 Penerapan *bending* pada serat optik [33]

Perilaku intensitas daya keluaran sensor SMS sebagai pengaruh jari-jari kelengkungan secara langsung terkait dengan distribusi daya dalam mode tereksitasi MMF dan bagaimana mereka berinterferensi sebagai pengaruh kelekukan. Total daya pada output SMS tergantung pada interferensi konstruktif dan destruktif dalam amplitudo dan fase yang disebabkan oleh masing-masing mode dan efek yang dihasilkan adalah pengaruh dari keseluruhan [33].

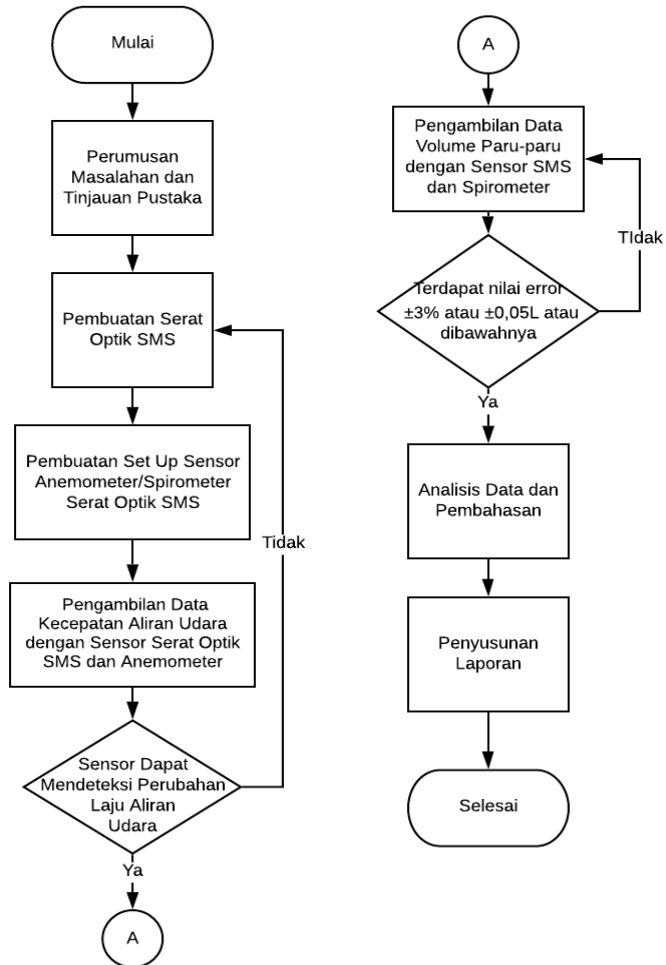
Pada penelitian ini, aliran udara akan menyebabkan *bending* pada serat optik yang meningkatkan jari-jari kelengkungan dan merubah distribusi moda terinterferensi dan merubah keluaran daya serat optik.



Gambar 2.10 Diagram alur penginderaan

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Adapun metodologi penelitian tugas akhir ini adalah sebagai berikut:



Gambar 3.1 Diagram alir proses pengerjaan tugas akhir

3.1 Studi Literatur

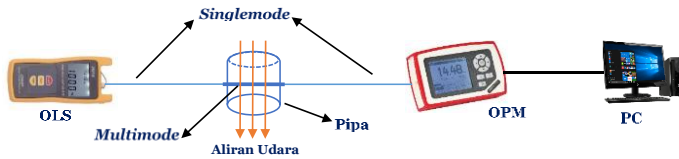
Penelitian ini dimulai dengan melakukan studi literatur terkait spirometri, pertimbangan panjang serat optik *multimode*, dan referensi pembuatan sensor aliran udara berbasis serat optik berdasarkan penelitian-penelitian yang telah dipublikasikan sebelumnya.

3.2 Persiapan Sensor

Persiapan dilakukan dengan menyiapkan bahan, antara lain serat optik *singlemode*, serat optik *multimode step index*, dan alkohol 99%. Adapun alat yang diperlukan antara lain kipas angin elektrik, anemometer, spirometer, pipa silindris berdiameter 40mm, *Fusion Splicer type-ZIC* Sumitomo Electric, *Optical light source* JDSU type-OLS-35, *Optical power meter* Thorlabs PM-100D, *Fiber cleaver*, *Fiber stripper*, dan PC yang dengan *driver* Thorlabs PM-100D.

Serat optik SMS dibuat dengan menyambung satu serat optik *multimode* dengan dua serat optik *singlemode* menggunakan *Fusion Splicer type-ZIC* Sumitomo Electric.

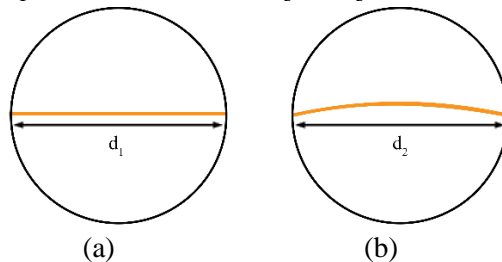
Serat optik berstruktur SMS diletakan di tengah pipa silinder yang diameternya sudah diketahui, yaitu 25mm untuk variasi panjang *multimode* 1 cm dan 60mm untuk panjang *multimode* 4 cm, agar dapat menghitung area yang dilewati aliran udara pernapasan. Adapun *setup* pengujian sensor serat optik, menggunakan sumber cahaya *Optical light source* JDSU type-OLS-35 panjang gelombang 1550nm untuk meminimalisir *loss*, *Optical power meter* Thorlabs PM-100D sebagai detektor, dan PC untuk *display* dan menyimpan data pembacaan Thorlabs PM-100D. Diujung pipa diletakan anemometer yang akan mengukur kecepatan aliran udara agar dapat mengkarakterisasi sensor. Berikut pada gambar 3.2 ilustrasi *setup* pengujian serat optik.



Gambar 3.2 Setup pengujian serat optik SMS

3.3 Pengambilan Data Kecepatan Aliran Udara dengan Sensor Serat Optik SMS dan Anemometer

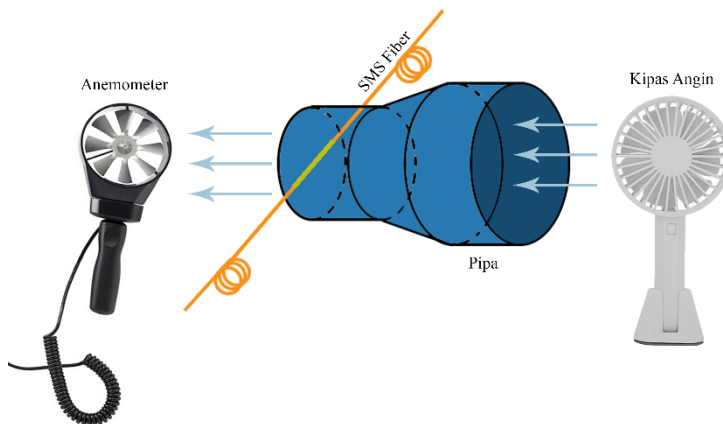
Serat optik SMS dibuat menjadi sensor laju aliran udara. Panjang serat *multimode* yang akan diuji adalah 10mm [34], 40mm, dan 40mm dengan *bending* [33] sesuai dengan penelitian sebelumnya, dimana sistem memiliki nilai sensitivitas yang optimal. Serat optik SMS yang telah disambung, dikarakterisasi terlebih dahulu sebagai sensor kecepatan aliran udara menggunakan penghasil angin yang mengalirkan udara kepada sensor SMS dan dicatat perubahan dari keluaran daya sensor SMS. Karakterisasi dilakukan dengan memberikan variasi kecepatan aliran udara yang konstan menggunakan kipas angin elektrik, yang divariasikan dengan kecepatan 0-5 m/s dengan kenaikan 1 m/s, dan dikarakterisasi terhadap anemometer. Setelah itu, sensitivitas dari sensor SMS akan diketahui dalam satuan dB/ms^{-1} . Kecepatan udara kemudian dapat dikonversikan menjadi laju aliran.



Gambar 3.3 Diameter serat optik dalam keadaan (a) tidak ada *bending* ($d_1=6$ cm) dan (b) dengan *bending* ($d_2=5.8$ cm)



Gambar 3.4 Anemometer Dekko FT-7935

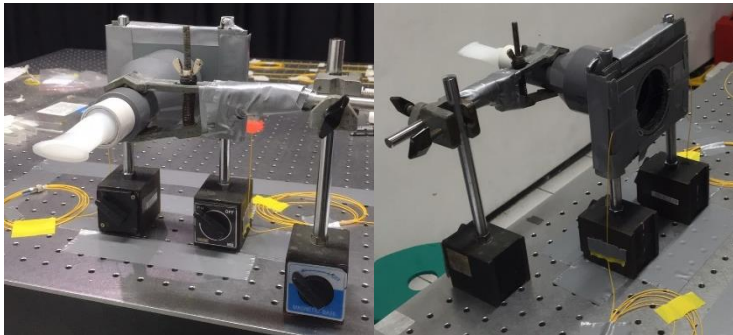


Gambar 3.5 *Setup* pengambilan data kecepatan aliran udara dari kipas angin

3.4 Pengambilan Data Volume Pernapasan dengan Sensor Serat Optik SMS dan Spirometer

Sensor SMS sebagai spirometer dikarakterisasi dengan cara menarik napas secara maksimal dan kemudian mengembuskan napas dengan usaha maksimal terhadap sensor SMS. Pengembusan napas pada umumnya akan berlangsung selama 6 detik [24], data keluaran sensor akan diambil selama dilakukannya penghembusan

napas. Pengujian dilakukan sebanyak 3 kali. Sebelum pengujian dilakukan, spirometer klinis Volydyne 5000 digunakan untuk mengukur volume udara yang masuk paru-paru sebelum dihembuskan pada spirometer serat optik. Pengujian dengan spirometer klinis digunakan dengan cara inhalasi maksimal. Hasil pengukuran dari kedua spirometer akan diperbandingkan untuk mengetahui error dari spirometer serat optik SMS.



Gambar 3.6 Setup pengambilan data volume paru-paru



Gambar 3.7 Spirometer Volydyne 5000

3.5 Pengolahan dan Analisis Data

Pengolahan data dilakukan dengan merubah data variasi kecepatan angin dalam ms^{-1} menjadi laju aliran dalam satuan L/s menggunakan persamaan:

$$Q = Av \quad (3.1)$$

Di mana Q adalah laju aliran fluida, A adalah luas dari pipa, dan v adalah kecepatan dari fluida. Berdasarkan hasil tersebut, sensor dapat dikarakterisasi sebagai sensor laju aliran udara atau anemometer.

Untuk mengkarakterisasi sensor sebagai spirometer, data diolah dengan memperhitungkan jumlah volume yang didapatkan dari hasil ekspirasi maksimal dan dibandingkan dengan hasil data volume inspirasi maksimal menggunakan spirometer klinis untuk mengetahui nilai error dari setiap pengukuran sensor SMS. Error ini yang kemudian dapat digunakan untuk mendapatkan nilai akurasi.

$$Error(\%) = \left| \frac{FVC_{spirometer} - FVC_{sensor SMS}}{FVC_{spirometer}} \right| \times 100\% \quad (3.2)$$

$$Akurasi(\%) = 100\% - Error(\%) \quad (3.3)$$

Dapat diperoleh juga ketidakpastian (U) sensor berdasarkan perbedaan data antara pengukuran spirometer klinis dan sensor serat optik dengan persamaan regresi linear. Perbedaan atau residual (error) ini dijumlahkan secara kuadrat untuk mendapatkan Residual Sum of Squares (SSR). Bersama dengan derajat kebebasan (V) dapat dicari derajat kebebasan, dimana n adalah jumlah data.

$$U = \sqrt{\frac{SSR}{V}} = \sqrt{\frac{SSR}{n-2}} \quad (3.4)$$

3.6 Penyusunan Laporan

Penyusunan laporan Tugas Akhir merupakan pembukuan serta dokumentasi yang menghasilkan sebuah tulisan ilmiah sebagai tahap akhir dari penelitian ini.

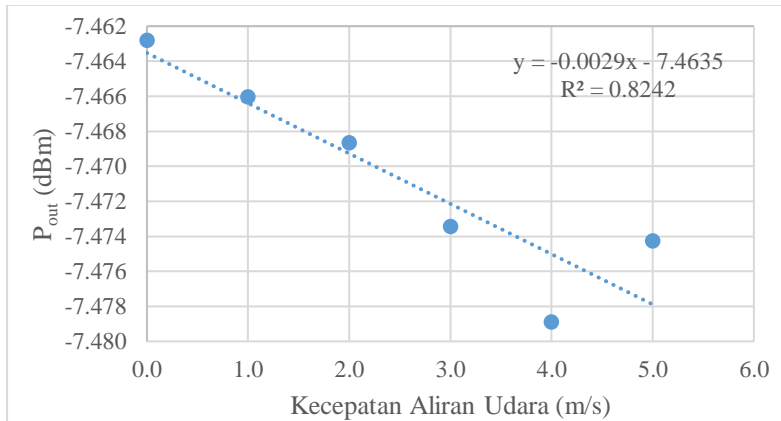
Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB IV ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Karakterisasi

Karakterisasi dilakukan dengan menganalisis pengaruh terhadap daya keluaran serat optik ketika diberi aliran udara dengan kecepatan konstan dengan variasi tanpa aliran udara dan kecepatan aliran udara dengan rentang 1 sampai 5 m/s untuk setiap serat optik dengan variasi panjang *multimode*.

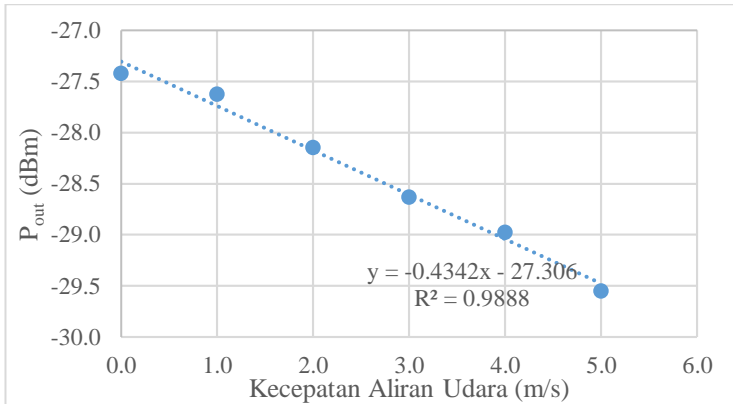
Eksperimen dilakukan dengan mencatat keluaran serat optik selama diberi aliran udara menggunakan kipas angin selama 10 detik untuk masing-masing variasi kecepatan aliran udara. Hasil ini kemudian dapat dirata-rata untuk mendapatkan nilai pengaruh kecepatan aliran angin terhadap daya keluaran sistem (P_{out}) yang dapat digunakan untuk mencari sensitivitas dari sensor. Hasilnya adalah sebagai berikut.



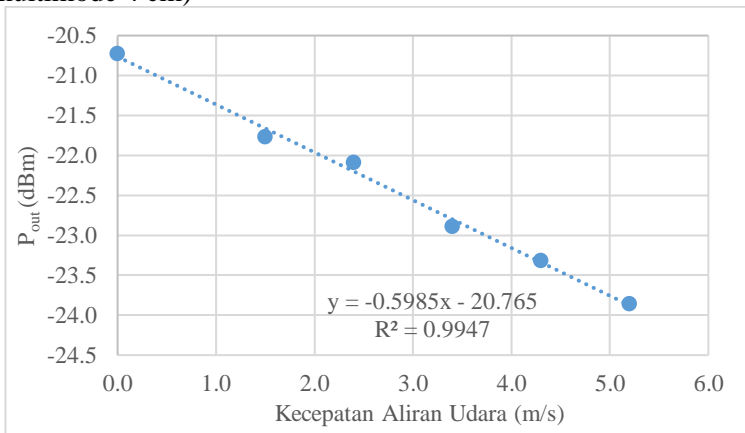
Gambar 4.1 Hasil karakterisasi sensor serat optik SMS (panjang multimode 1 cm)

Dari hasil karakterisasi sensor serat optik SMS dengan panjang *multimode* 1 cm didapatkan nilai sensitivitas yang sangat kecil yaitu $-0,004 \text{ dB/m}\cdot\text{s}^{-1}$ untuk kecepatan 0 sampai dengan 4 m/s.

Adapun kelemahan dari hasil karakterisasi, yaitu pada kecepatan 5 m/s, perubahan keluaran daya dari serat optik menjadi meningkat dan menyebabkan sistem tidak linear lagi. Karena sensitivitas yang sangat kecil dan kesulitan untuk mengukur kecepatan di atas 4 m/s, variasi panjang multimode ini tidak akan digunakan karena sulit untuk mendeteksi perubahan.

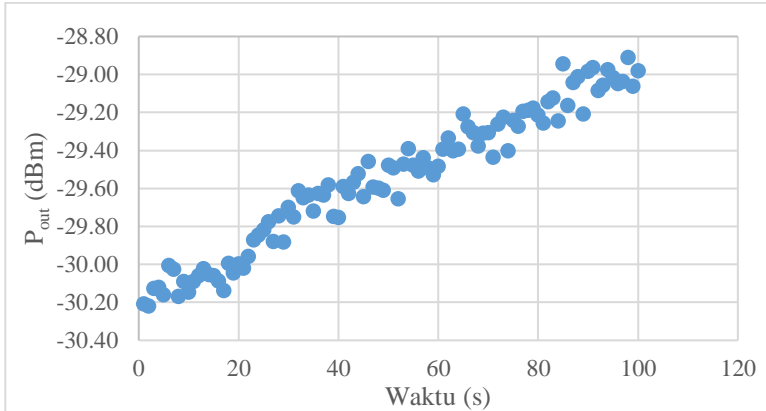


Gambar 4.2 Hasil karakterisasi sensor serat optik SMS (panjang multimode 4 cm)

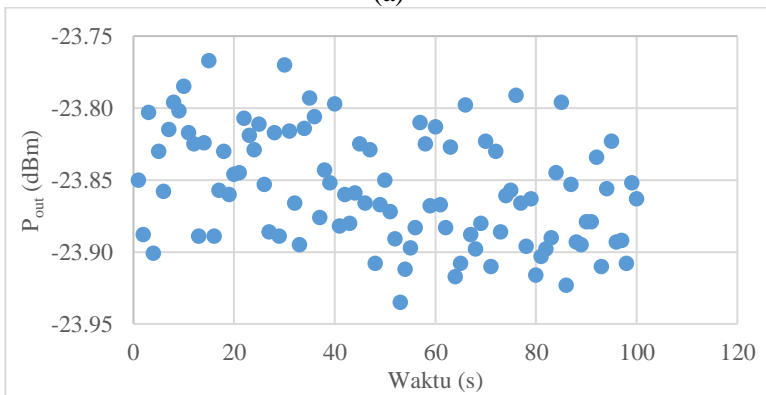


Gambar 4.3 Hasil karakterisasi sensor serat optik SMS (panjang multimode 4 cm dengan *bending*)

Untuk serat optik SMS dengan panjang multimode 4 cm didapatkan nilai sensitivitas $-0,4342 \text{ dB/m}\cdot\text{s}^{-1}$ dan untuk serat optik SMS dengan panjang multimode 4 cm dengan *bending* didapatkan nilai sensitivitas $-0,5985 \text{ dB/m}\cdot\text{s}^{-1}$.



(a)



(b)

Gambar 4.4 Respon serat optik SMS dengan panjang multimode (a) 4 cm dan (b) 4 cm dengan *bending* terhadap pemberian aliran udara dengan kecepatan 5 m/s

Dari gambar 4.4, dapat dilihat respon dari serat optik SMS dengan panjang *multimode* 4 cm dan 4 cm dengan *bending* ketika

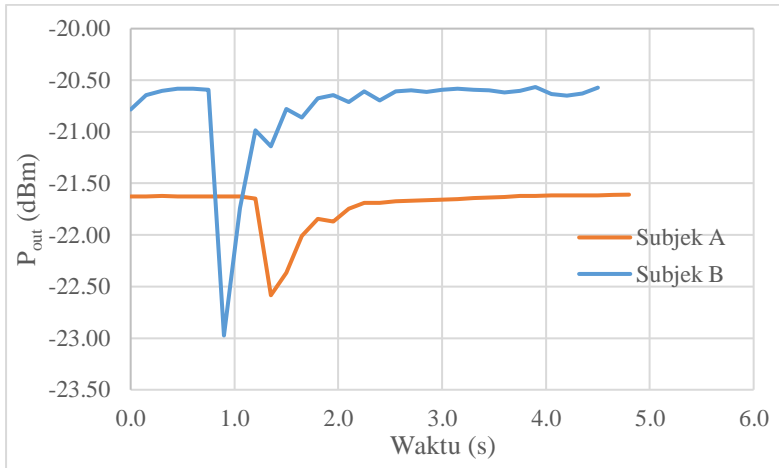
diberi angin kecepatan konstan. Pada serat optik dengan panjang *multimode* 4 cm tanpa *bending* terdapat perubahan pada daya keluaran yang konstan seiring waktu. Diketahui bahwa serat optik SMS memiliki sifat sensitif terhadap suhu [18]. Diobservasi bahwa udara dingin dari kipas angin menyebabkan suhu pada serat optik turun sebanyak 2°C dan menyebabkan peningkatan daya sebanyak 1,31 dB selama pemberian aliran udara. Hal yang sama tidak terjadi pada serat optik SMS yang memiliki panjang *multimode* 4 cm dengan *bending*. Serat optik tersebut tidak memiliki respon jelas terhadap perubahan suhu.

Berdasarkan analisis data pada gambar 4.4, dari kedua sensor dengan panjang *multimode* 4 cm, serat optik tanpa *bending* memiliki standar deviasi sebesar 0,37 dB dan serat optik dengan *bending* memiliki standar deviasi sebesar 0,039 dB. Dari ini diketahui bahwa sensor serat optik SMS dengan panjang *multimode* 4 cm dan *bending* memiliki sifat lebih stabil.

Berdasarkan hasil pengambilan data pengaruh kecepatan aliran udara terhadap daya keluaran serat optik, didapatkan bahwa karakteristik terbaik dimiliki oleh sensor serat optik yang memiliki panjang *multimode* 4 cm dengan *bending*, hal tersebut berdasarkan sensitivitasnya yang lebih tinggi dan kestabilannya. Sensitivitas dari sensor SMS tersebut adalah $-0,5985 \text{ dB/m.s}^{-1}$ atau jika dikonversi menjadi sensitivitas terhadap laju aliran adalah $-0,212 \text{ dB/L.s}^{-1}$. Maka dari itu sensor yang digunakan untuk uji pernapasan adalah sensor tersebut.

4.2 Uji pernapasan maksimal terhadap Sensor

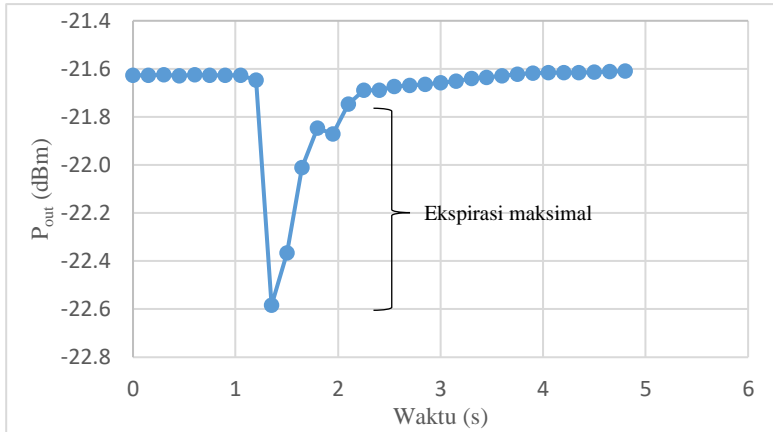
Berikut adalah contoh hasil dari uji pernapasan maksimal untuk menjelaskan proses pengambilan dan pengolahan data. Contoh data berikut diambil dari wanita berumur 21 tahun dan pria berumur 22 tahun untuk menggambarkan hasil pengambilan data menggunakan spirometer berbasis serat optik SMS. Pada contoh berikut subjek A adalah subjek wanita dan subjek B adalah subjek pria. Subjek diinstruksikan untuk memposisikan *mouthpiece* di mulut dan meniup dengan usaha maksimal sampai tidak bisa meniup lagi.



Gambar 4.5 Grafik perbandingan hasil ekspirasi dua subjek eksperimen

Pada gambar 4.5, terdapat perbandingan grafik yang dihasilkan oleh ekspirasi maksimal yang dilakukan pada kedua subjek. Pada grafik tersebut, pengaruh ekspirasi subjek B terlihat bahwa grafik menunjukkan penurunan keluaran daya yang lebih tajam dibanding dengan grafik hasil ekspirasi subjek A. Namun demikian, ekspirasi yang dilakukan subjek A berjalan selama 1,2 detik, lebih lama dibandingkan subjek B, yaitu 0,9 detik.

Gambar 4.6 menunjukkan hasil ekspirasi maksimal subjek A setelah melakukan inhalasi maksimal pada spirometer klinis. Pada spirometer klinis ditunjukkan hasil pengukuran 2000 ml, maka hasil tersebut yang akan digunakan untuk perbandingan dengan nilai terukur pada serat optik SMS. Kemudian dilakukan konversi perubahan daya output selama pengukuran menjadi kecepatan dan kemudian laju aliran untuk menghitung volume FVC dari masing-masing subjek.



Gambar 4.6 Grafik hasil ekspirasi maksimal subjek A

Dengan sensitivitas dan ukuran area pipa yang sudah diketahui, laju aliran udara dapat dicari dengan persamaan berikut,

$$Q = (\Delta P_{out} / -0,5985) \times A \times 1000 \text{ (L. s}^{-1}\text{)} \quad (4.1)$$

dimana ΔP_{out} adalah perubahan keluaran daya dari serat optik dari keluaran daya pada saat kondisi stabil atau ketika tidak ada aliran udara dan A adalah area dari pipa yang diberi aliran udara pernapasan yaitu 0.0028 m^2 .

Setelah mengetahui laju aliran udara pada setiap titik terukur kemudian dicari nilai volume total dengan persamaan berikut,

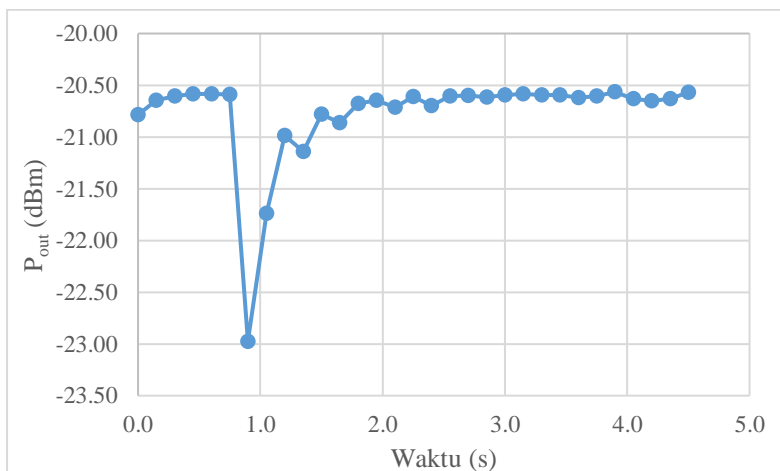
$$V_{total} = \sum (Q_i \times t) \quad (4.2)$$

dimana Q_i adalah laju aliran udara yang berlaku selama waktu t , yaitu 0,15 detik, berdasarkan resolusi dari OPM yang digunakan. Volume total didapatkan dengan menjumlahkan volume hasil perkalian setiap laju aliran dan waktu. Data yang digunakan untuk perhitungan volume total adalah daya keluaran serat optik selama berlangsungnya ekspirasi maksimal saja.

Tabel 4.1 Hasil perhitungan volume total subjek A

No.	Waktu (s)	ΔP_i (dB)	v_i (m/s)	Q_i (L/s)	V_i (L)
1	0,00	-0,019	0,031743	0,090	0,01346
2	0,15	-0,957	1,598864	4,521	0,6781
3	0,30	-0,738	1,23298	3,486	0,52293
4	0,45	-0,383	0,63988	1,809	0,27138
5	0,60	-0,219	0,365884	1,035	0,15518
6	0,75	-0,243	0,405981	1,148	0,17218
7	0,90	-0,12	0,200485	0,567	0,08503
8	1,05	-0,062	0,103584	0,293	0,04393
9	1,20	-0,062	0,103584	0,293	0,04393
Vtotal (ml)					1986,12

Berdasarkan hasil perhitungan, diperoleh hasil dari pengukuran FVC menggunakan spirometer serat optik SMS adalah 1986 ml. Didapatkan juga dari tabel perhitungan bahwa nilai PEF dari subjek adalah 4,52 L/s. Ketika dibandingkan dengan hasil spirometer klinis, spirometer serat optik SMS dengan persamaan 3.2 memiliki error 13,87 ml atau 0,69%.

**Gambar 4.7** Grafik hasil ekspirasi maksimal subjek B

Eksperimen yang sama dilakukan pada subjek B dan menunjukkan bahwa menggunakan spirometer klinis, volume yang terukur adalah 3500 ml. Perhitungan yang sama dilakukan pada data yang didapatkan dari subjek pria dan diperoleh hasil sebagai berikut,

Tabel 4.2 Hasil perhitungan volume total subjek B

No.	Waktu (s)	ΔP_1 (dB)	v_i (m/s)	Q_i (L/s)	V_i (L)
1	0,00	-0,007	0,011696	0,033069	0,00496
2	0,15	-2,39	3,993317	11,29084	1,693626
3	0,30	-1,156	1,931495	5,461175	0,819176
4	0,45	-0,403	0,67335	1,903852	0,285578
5	0,60	-0,558	0,932331	2,636103	0,395415
6	0,75	-0,196	0,327485	0,925943	0,138891
7	0,90	-0,276	0,461153	1,303879	0,195582
Vtotal (ml)					3533,23

Hasil perhitungan volume total dari ekspirasi maksimal yang dilakukan subjek pria menunjukkan bahwa volume FVC adalah 3533,23 ml dan PEF sebesar 11,29 L/s. Dengan melakukan perhitungan dengan persamaan 3.2, diperoleh nilai error 33,23 ml atau 0.95%.

4.3 Analisis karakteristik sensor

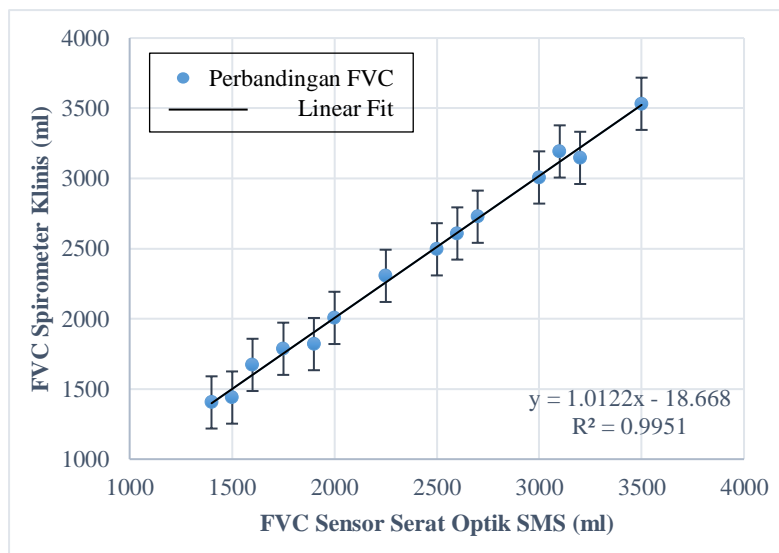
Uji pernapasan diulang selama 3 kali per sesi untuk 10 orang subjek, 5 pria dan 5 wanita, diantaranya tidak merokok, tidak meminum alkohol, dan dalam keadaan sehat tanpa penyakit pernapasan yang diketahui. Total data pernapasan yang didapatkan adalah 60 sampel. Tiap-tiap hasil uji tersebut kemudian dicari nilai error dari spirometer serat optik SMS ketika dibandingkan dengan hasil pengukuran dengan spirometer klinis. Nilai error ini kemudian dirata-rata untuk mendapatkan nilai error rata-rata dari sensor. Berikut adalah perbandingan karakteristik spirometer serat

optik SMS dengan standarisasi spirometri dari *European Respiratory Journal* [4].

Tabel 4.3 Perbandingan parameter karakteristik spirometer serat optik SMS dengan rekomendasi standarisasi spirometri

Parameter	Spirometer serat optik SMS	Rekomendasi standarisasi spirometri
Range (L/s)	0 – 14,703	0 – 14
Error	1,65%	±3%
	36,49 ml	±50 ml

Berdasarkan tabel 4.3, diketahui bahwa sensor menggunakan serat optik SMS memiliki karakteristik *range* dan error standar memenuhi persyaratan standarisasi spirometri untuk digunakan sebagai spirometer. Diperoleh juga nilai akurasi dari sensor ini, berdasarkan persamaan 3.3, yaitu 98,35%.



Gambar 4.8 Perbandingan hasil ukur FVC pada spirometer klinis dengan FVC pada sensor serat optik SMS

Pada gambar 4.8, grafik perbedaan antara FVC dari hasil ukur menggunakan spirometer klinis dengan sensor serat optik SMS menunjukkan bahwa terdapat 14 variasi volume sampel, dari 60 sampel, bernilai mulai dari 1400 sampai dengan 3500 ml. Dari hasil regresi linear pada data dari grafik, diperoleh persamaan $y = 1.0122x - 18.668$ dan nilai $R^2 = 0.9951$ yang menunjukkan bahwa hasil pengukuran FVC sensor serat optik hubungannya sangat linear dengan FVC spirometer klinis. Dari regresi linear tersebut diperoleh juga nilai ketidakpastian, berdasarkan persamaan 3.4, 49,89 ml.

Dari 60 sampel, 36 diantaranya memiliki hasil pengukuran FVC spirometer klinis yang sama, yaitu 2000 ml. Berdasarkan 36 sample ini nilai standar deviasi sebesar 40,88 ml dan standar deviasi relatif 2,04%.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Adapun kesimpulan yang didapatkan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Telah berhasil dibuat sensor laju aliran udara untuk spirometri berbasis sensor serat optik SMS yang mampu mengukur laju aliran pernapasan dan volume paru-paru.
2. Diperoleh hasil karakterisasi yang terbaik adalah dari serat optik SMS yang memiliki panjang multimode 4 cm dengan *bending*. Hasil karakterisasinya adalah sensitivitas $-0,5985 \text{ dB/m.s}^{-1}$ atau $-0,212 \text{ dB/L.s}^{-1}$. Serat optik ini juga tidak terpengaruhi oleh perubahan suhu yang disebabkan aliran udara. Karakteristik sensor serat optik SMS untuk spirometri memenuhi syarat yang ditentukan standarisasi spirometri untuk digunakan sebagai spirometer, yaitu range 0-14.703 L/s, error rata-rata 1.65% atau 36,49 ml, akurasi 98,35%, dan ketidakpastian 49,89 ml.

5.2 Saran

Adapun saran yang dapat diberikan untuk penelitian selanjutnya adalah:

1. Melakukan percobaan dengan variasi radius lengkungan serat optik untuk mengetahui pengaruh kelengkungan serat optik terhadap sensitivitas sensor terhadap laju aliran udara.
2. Membuat program yang dapat secara langsung mengolah data perubahan daya terhadap waktu menjadi tampilan volume paru-paru.

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR PUSTAKA

- [1] M. C. Yu, J. L. Liou, S. W. Kuo, M. S. Lee, and Y. P. Hung, "Noncontact respiratory measurement of volume change using depth camera," in *Proc. IEEE Eng. Med. Biol. Soc.*, San Diego, 2012.
- [2] Asher MI, Montefort S, Björkstén B, et al., Worldwide time trends in the prevalence of symptoms of asthma, allergic rhinoconjunctivitis, and eczema in childhood: ISAAC Phases One and Three repeat multicountry cross-sectional surveys, *Lancet*, 2006, p. 368 (9537).
- [3] Forum of International Respiratory Society (FIRS) United for Lung Health, "Home page-Publications," [Online]. Available: <https://www.firsnet.org/>. [Accessed 1 September 2019].
- [4] M. R. Miller, et al, "Standardisation of spirometry," *Eur. Respir. J.*, vol. 26, pp. 319-338, August 2005.
- [5] A. Bates, M. J. Ling, J. Mann, D.K. Arvind, "Respiratory Rate and Flow Waveform Estimation from Tri-Axial Accelerometer Data," in *2010 International Conference on Body Sensor Network (BSN)*, Biopolis, 2010.
- [6] S., Manjusha; Babu, Preethi S.; S., Swapna M.; Sankararaman, S., "Fiber Sensor Based Pulmonary Function Test," *Int. J. Cur. Res. Rev.*, vol. 9, no. 8, pp. 41-43, 2017.
- [7] O. Temitope. Takpor, Member, IAENG, and Oboyerulu E. Agboje, "Advances in Optical Biomedical Sensing Technology," *WCE 2016*, vol. 11, 2016.

- [8] B. Lee, "Review of the present status of optical fiber sensors," *Optical Fiber Technology*, vol. 9, pp. 57-79, 2003.
- [9] A. Mendez, "Biomedical fiber optic sensor application," pp. 521-1069, 2015.
- [10] A.T. Augousti, K.T.V. Grattan and A.W. Palmer,, "Visible-LED pumped fiber optic temperature sensor," *IEEE Trans. Instrument. Measurement* 37, vol. 37, pp. 470-472, 1988.
- [11] Zengling Ran, Shan Liu, Qin Liu, Yanjun Wang, Haihong Bao, and Yunjiang Rao, "Novel High-Temperature Fiber-Optic Pressure Sensor Based on Etched PCF F-P Interferometer Micromachined by a 157 nm Laser," *IEEE sensors journal*, vol. 15, p. 7, 2015.
- [12] A. Daniel May-Arrijoja, Victor I Ruiz-Perez, Yaneth Bustos-Terrones, and Miguel A. Basurto-Pensado, "Fiber Optic Pressure Sensor Using a Conformal Polymer on Multimode Interference Device," vol. 16, p. 1956, 2016.
- [13] J.N.C.K. Asawa, O.G.Ramer, and M.K. Barnoski,, "Fiber optic pressure sensor," *J. Acoust. Soc.*, vol. 67, p. 816, 2016.
- [14] Sven Poeggel, Daniele Tosi , Dinesh Babu Duraibabu, Gabriel Lee, Deirdre McGrath and Elfed Lewis, "Optical Fiber Pressure sensor in medical application," vol. 15, pp. 17115-17148, 2015.
- [15] W. C. Goss, R. Goldstein, M. D. Nelson, H. T. Fearnhaugh, and O. G. Ramer, "Fiber Optic Rotation Sensor Technology," vol. 19, pp. 852-858, 1980.
- [16] J. R. Guzman-Sepulveda, I. Hernandez-Romano, M. Torres-Cisneros, and D. A. May-Arrijoja, "Fiber Optic Vibration

- Sensor based on Multimode Interference Effects," p. 117, 2012.
- [17] J.R. Guzman-Sepulveda, I. Hernandez-Romani, M. Torres-Cisneros, and D.A. May-Arrijoja, "Fiber Optic Vibration Sensor based on Multimode Interference Effects," *Optical Society of America*, 2012.
- [18] K.T.V. Grattan, Dr. T. Sun., "Fiber optic sensor technology: an," vol. 82, pp. 40-61, 1999.
- [19] X. Li, D. Liu, R. Kumar, W. P. Ng, Y.-q. Fu, J. Yuan, C. Yu, Y. Wu, G. Zhou, G. Farrell, Y. Semenova and Q. Wu, "A simple optical fiber interferometer based breathing sensor," *Meas. Sci. Technol.*, vol. 28, pp. 1-6, 2017.
- [20] Dziuda L, Skibniewski F W, Krej M and Lewandowski J, "Monitoring respiration and cardiac activity using fiber Bragg grating based sensor," *IEEE Trans. Bio-med. Eng.*, vol. 59, pp. 1-9, 2012.
- [21] S. Ambastha, S. Umesh, U. M. K and S. Asokan, "Pulmonary Function Test Using Fiber Bragg Grating Spirometer," *Journal of Lightwave Technology*, vol. 34, no. 24, pp. 5682-5688, 2016.
- [22] Wu Q, Semenova Y, Wang P, Hatta A M and Farrell G, "Experimental demonstration of a simple displacement sensor based on a bent single-mode-multimode-single-mode fiber structure," *Meas. Sci. Technol.*, vol. 22, 2011.
- [23] Wu Q, Yang M, Yuan J, Chan H P, Ma Y, Semenova Y, Wang P, Yu C and Farrell G, "The use of a bend singlemode-

multimode–singlemode (SMS) fiber structure for vibration sensing," *Opt. Laser Technol.*, vol. 63, pp. 29-33, 2014.

- [24] S. Berntsen, S. B. Stølevik, P. Mowinckel, W. Nystad and T. Stensrud, "Lung Function Monitoring; A Randomized Agreement Study," *The Open Respiratory Medicine Journal*, vol. 10, pp. 51-57, 2016.
- [25] G. Polgar and V. Promadhat, "The American Review of Respiratory Diseases," *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine*, vol. 120, no. 3, 1979.
- [26] G. Keiser, in *Optical Fiber Communication, 3rd edition*, USA, McGraw-Hill Companies, 2000, pp. 65-65.
- [27] K. Thyagarajan and A. Ghatak, *Introduction to Fiber Optics*, UK: Cambridge University Press, 1998.
- [28] K. A. G. Thyagarajan, in *Fiber Optic Essentials*, Canada, Wiley Interscience, 2007, p. 31.
- [29] C. K. Kao, *Optical Fiber Systems: Technology, Design, and Applications*, New York: McGraw-Hill Companies, 2009.
- [30] Kumar, Arun; Varshney, K. Ravi; C., Siny Antony; Sharma, Pratha, "Transmission Characteristics of SMS Fiber Optic Sensor Structures," *Department of Physics, Indian Institute of Technology*, vol. 219, pp. 215-219, 2003.
- [31] P. Y. Aisyah, "Design of SMS (Single mode – Multi mode Coreless – Single mode)," in *Second International Seminar on Photonics, Optics and its Applications (ISPhOA 2016)*, SPIE Vol 10150, Surabaya, 2016.

- [32] J. H. Osório, "Specialty Optical Fibers for Sensing," Campinas, 2017.
- [33] J. W. Costaa, M. A. Francob and V. A. Serrãob, "Macrobending SMS fiber-optic anemometer and flow sensor," *Optical Fiber Technology*, vol. 52, no. 101981, 2019.
- [34] Perdana, Fajar P., Hatta, A. M., Sekartedjo, "Rancang Bangun Sensor Aliran Udara Menggunakan Serat Optik Singlemode-Multimode-Singlemode (SMS," itspress, Surabaya, 2019.

Halaman ini sengaja dikosongkan

LAMPIRAN A

Peralatan dan Spesifikasi

- Anemometer DEKKO FT-7935



- Spesifikasi Anemometer DEKKO FT-7935

Features :

- Dual display
- Air velocity level indication
- Backlight display
- Area setting units : CM2, m2, ft2
- Air velocity units : m/s, Km/h, ft/min, Knot, Mph
- Temperature units : °C/°F
- Battery indication
- Timing power-off

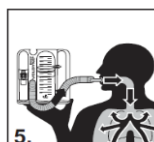
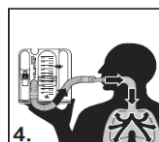
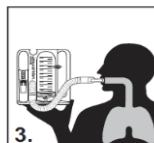
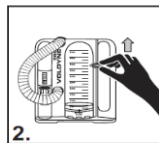
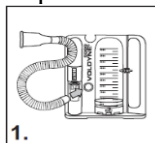
Specification

Circuit	Based on fast and high accurate MCU design
Air Velocity Range	0.4 ~ 30m/s; 1.4 ~ 108Km/s 78.7 ~ 590ft/min; 0.8 ~ 58.3knot 0.9 ~ 67mph
Air Flow	0 ~ 9999 x 100 CMM 0 ~ 9999 x 100 CFM
Area Set	0.1 ~ 9999cm2/0.1/~9999m2/0.1 ~ 9999ft2
Temperature Range	-30 ~ 60° C (-22 ~ 140° F)
Operation Conditions	0 ~ 60° C (32 ~ 140° F); <90%RH (Non-condensation)
Storage Conditions	-40 ~ 60° C (14 ~ 140° F); <80%RH
Air Velocity Accuracy	3% ±0.1
Air Velocity Resolution	0.1m/s
Sampling Time	1time/second
Temperature Accuracy	±1.5° C (±2.7° F)
Air Velocity Level Indication	Level 1-12 by analog bar-graph, level 12 above by digits
Dimension (L * W * H)	159 * 62 * 33mm
Weight	292g
Accessories	User's Manual, Anemometer Probe, Battery, Carrying Pouch, Gift Box

- Spirometer Voldyne 5000



- Instruksi Pemakaian Spirometer Voldyne 5000



English

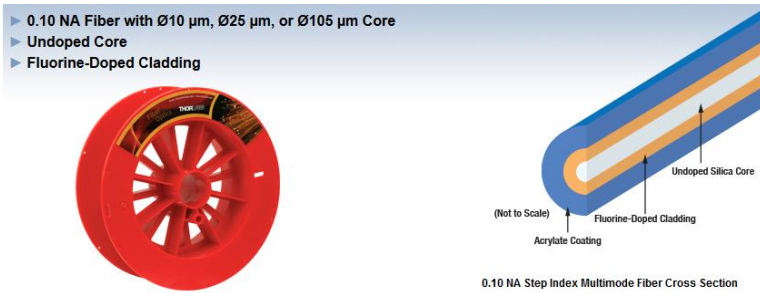
VOLUMETRIC EXERCISER

Incentive Deep Breathing Exerciser For Maintaining and Improving Inspiratory Volume and Respiratory Fitness.
DIRECTIONS FOR USE:

1. Remove components from package and attach open end of tubing to stem on front side of exerciser.
2. Slide the pointer on side of unit to prescribed volume level.
3. Hold or stand exerciser in an upright position. Exhale normally. Then place lips tightly around mouthpiece.
4. Inhale slowly to raise the piston in the chamber. When inhaling, top of yellow air float should be raised between blue arrows.
5. Continue inhaling and try to raise piston to prescribed volume level (top of piston indicates inspired volume). When inhalation is complete, remove mouthpiece, hold the breath as prescribed, and exhale normally. Allow piston to return to bottom of chamber. Rest and repeat exercises. Frequency of use and recommended inspiratory volumes should be at the direction of your physician or therapist.

NOTE: For care of unit, rinse mouthpiece after each use and shake dry. Replace unit in this bag when not in use. When the Voldyne Exerciser is placed on table between uses, mouthpiece end of tubing can be placed in notch at top of device.

- Serat Optik Step-Index Multimode Thorlabs



- Spesifikasi Serat Optik Step-Index Multimode 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 μm	25 \pm 3.0 μm	105 \pm 3.0 μm
Cladding Diameter	125 \pm 2.0 μm		
Coating Diameter	245 \pm 10 μm		250 \pm 10 μm
Core/Clad Concentricity	<1.0 μm		
Other Specifications			
Coating	Two-Layer Acrylate		
Minimum Bend Radius (Short Term ^b / Long Term ^c)	120 x Cladding Diameter / 240 x Cladding Diameter		
Operating Temperature	-60 to 85 °C		-40 to 85 °C
Proof Test	\geq 100 kpsi		

- Serat Optik Singlemode FC Pigtail



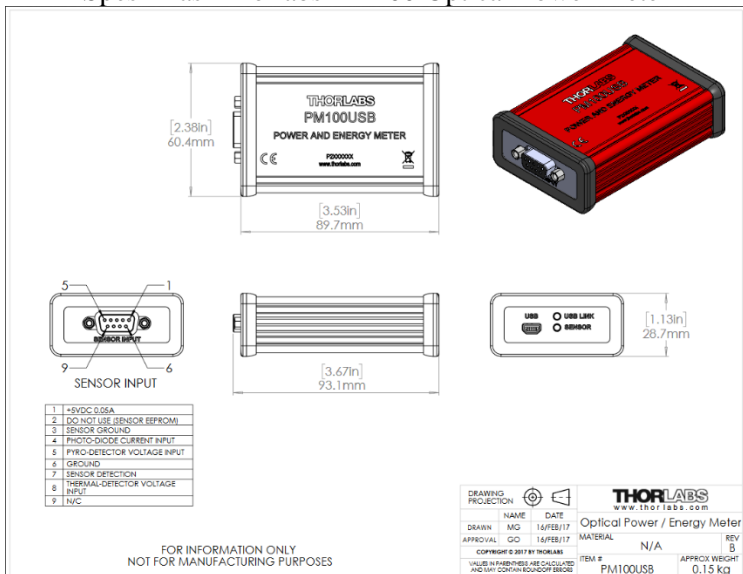
- Spesifikasi Serat Optik Singlemode

Fiber Type	G.652
Alternative Name	Standard SMF/zero dispersion-shifted fiber
Specified Wavelength	1310, 1550, 1625 nm (C and D excluded)
Dispersion Point	1310 nm
Dispersion Value	Higher
Division	A-B-C-D
Attenuation Parameter	Less than 0.4 dB/km
PMD Parameter	Less than 0.5 over C and 0.2 over D
Applications	LAN, MAN, access networks and CWDM transmission

- Thorlabs PM100 Optical Power Meter



- Spesifikasi Thorlabs PM100 Optical Power Meter



- Optical Light Source Joinwit JW3109



- Spesifikasi Optical Light Source Joinwit JW3109

Type	JW3109			
Wavelengths(nm)	650	1310/1550	850/1300	850/1300/1310/1550
Emitter	TypeFP-LD,LED or others please specify			
Typical Output Power (dBm)	0	-7dBm for LD, -20dBm for LED		
Spectral Width(nm)	1. \leq 10			
Output Stability	\pm 0.05dB/15mins; \pm 0.1dB/ 8hours			
Modulation Frequencies	CW,2Hz	CW,270Hz,1KHz,2KHz		
Optical Connector	FC/ universal adaptor	FC/PC		
Power Supply	Alkaline Battery(3 AA 1.5V batteries)			
Battery Operating Time(hour)	45			
Operating Temperature($^{\circ}$ C)	-10-- $+$ 60			
Storage Temperature($^{\circ}$ C)	-25-- $+$ 70			
Dimension(mm)	175x82x33			
Weight (g)	295			
Joinwit Recommendation	Joinwit Recommendation			
JW3109 Handheld Light Source is designed for optimal use with JW3208 Optical Power Meter for measuring optical loss on both single mode and multimode fiber cable.				

- *Fusion Splicer type-ZIC Sumitomo Electric*



- Fusion Splicer type-ZIC Sumitomo Electric

[Z1C specifications]

Optical fiber requirement	Material	Silica glass
	Profile type	SMF (ITU-T G.652), MMF (ITU-T G.651) DDF (ITU-T G.653), NZDDF (ITU-T G.656, G.656)
	Fiber diameter	80 - 150 μ m
	Fiber coating diameter	100 - 1,000 μ m
	Cleave length *1	up to ϕ 1,300 μ m 5 - 15 mm
Size and weight	Fiber count	Single fiber
	Size (main body) *2	120W x 154D x 130H (mm)
	Weight	Approx. 2.0 kg (with BU-11S)
Standard performance	Monitor	4.3" touch screen color LCD display
	Typical splice loss *3	SMF : 0.02dB DDF : 0.04dB MMF : 0.01dB NZDDF : 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. 20 seconds
Functions	Splicing/heating operation per fully charged battery *5	Approx. 100
	Loss Estimation	Provided
	Splice data storage	10,000 splices
	Splice image capture	84 splices
	Proof test *6	1.96N (200gf)
	Heat shrink oven	Provided
	Arc environment calibration	Automatically compensates for environmental condition changes
	Arc test	Provided
	V-groove white LED illuminator interface	Provided
	Storage media	SD / SDHC memory card
	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-11S) 11.1V (2300mAh)
	DC output	12V For Sumitomo's hot jacket remover
Environmental conditions	Operation temperature *7	-10 °C ~ +50 °C
	Storage temperature *7 *8	-40 °C ~ +80 °C
	Altitude	0 to 6,000m
	Windproof	Max. 15m/s
	Water & Dust resistance	Equivalent to IP62 *9
Shock resistance		Drop from 76cm on 5 faces *10
	Electrode life	3,000 arc discharges *11

Halaman ini sengaja dikosongkan

LAMPIRAN B
Data Karakteristik Sensor

Tabel B-1 Karakterisasi sensor SMS panjang multimode 1 cm

	Kecapatan Aliran Udara (m/s)					
	5	4	3	2	1	0
No.	Daya (dBm)					
1	-7.474	-7.481	-7.475	-7.471	-7.467	-7.464
2	-7.473	-7.481	-7.474	-7.472	-7.468	-7.465
3	-7.474	-7.482	-7.474	-7.470	-7.468	-7.465
4	-7.474	-7.481	-7.475	-7.470	-7.468	-7.465
5	-7.474	-7.482	-7.474	-7.471	-7.468	-7.465
6	-7.475	-7.482	-7.475	-7.470	-7.468	-7.465
7	-7.476	-7.482	-7.475	-7.471	-7.468	-7.466
8	-7.475	-7.482	-7.475	-7.471	-7.468	-7.466
9	-7.475	-7.483	-7.474	-7.469	-7.469	-7.465
10	-7.475	-7.482	-7.473	-7.470	-7.469	-7.465
11	-7.475	-7.482	-7.475	-7.470	-7.469	-7.465
12	-7.475	-7.482	-7.476	-7.471	-7.469	-7.465
13	-7.475	-7.481	-7.474	-7.470	-7.468	-7.465
14	-7.474	-7.482	-7.473	-7.470	-7.469	-7.465
15	-7.474	-7.483	-7.476	-7.472	-7.469	-7.465
16	-7.475	-7.482	-7.475	-7.471	-7.468	-7.465
17	-7.475	-7.482	-7.476	-7.471	-7.468	-7.466
18	-7.475	-7.483	-7.475	-7.471	-7.468	-7.465
19	-7.475	-7.482	-7.475	-7.470	-7.468	-7.465
20	-7.475	-7.483	-7.475	-7.472	-7.468	-7.464
21	-7.474	-7.483	-7.475	-7.471	-7.468	-7.464
22	-7.475	-7.482	-7.476	-7.472	-7.469	-7.464
23	-7.475	-7.483	-7.475	-7.471	-7.469	-7.464

24	-7.474	-7.483	-7.475	-7.471	-7.469	-7.465
25	-7.475	-7.482	-7.476	-7.472	-7.469	-7.465
26	-7.475	-7.482	-7.475	-7.470	-7.468	-7.464
27	-7.475	-7.482	-7.475	-7.473	-7.468	-7.465
28	-7.474	-7.482	-7.476	-7.471	-7.467	-7.465
29	-7.474	-7.480	-7.476	-7.470	-7.469	-7.465
30	-7.473	-7.481	-7.476	-7.471	-7.468	-7.465
31	-7.476	-7.482	-7.476	-7.470	-7.469	-7.465
32	-7.473	-7.483	-7.474	-7.471	-7.468	-7.465
33	-7.474	-7.481	-7.475	-7.472	-7.469	-7.464
34	-7.474	-7.481	-7.475	-7.472	-7.468	-7.464
35	-7.474	-7.482	-7.476	-7.472	-7.468	-7.465
36	-7.474	-7.481	-7.477	-7.471	-7.469	-7.464
37	-7.475	-7.480	-7.477	-7.471	-7.468	-7.464
38	-7.474	-7.481	-7.476	-7.473	-7.468	-7.464
39	-7.474	-7.481	-7.478	-7.472	-7.469	-7.464
40	-7.474	-7.480	-7.477	-7.472	-7.468	-7.465
41	-7.474	-7.480	-7.476	-7.471	-7.469	-7.465
42	-7.474	-7.480	-7.476	-7.472	-7.469	-7.465
43	-7.476	-7.481	-7.476	-7.472	-7.468	-7.465
44	-7.474	-7.481	-7.476	-7.472	-7.469	-7.465
45	-7.474	-7.481	-7.477	-7.471	-7.468	-7.470
46	-7.474	-7.483	-7.476	-7.472	-7.469	-7.472
47	-7.474	-7.480	-7.476	-7.472	-7.468	-7.464
48	-7.474	-7.480	-7.477	-7.472	-7.469	-7.465
49	-7.475	-7.481	-7.477	-7.473	-7.468	-7.464
50	-7.475	-7.480	-7.474	-7.470	-7.468	-7.465
51	-7.475	-7.482	-7.477	-7.472	-7.469	-7.464
52	-7.475	-7.481	-7.477	-7.471	-7.468	-7.465

53	-7.475	-7.482	-7.477	-7.471	-7.469	-7.465
54	-7.475	-7.480	-7.475	-7.471	-7.469	-7.464
55	-7.475	-7.482	-7.475	-7.472	-7.468	-7.465
56	-7.475	-7.482	-7.477	-7.471	-7.468	-7.465
57	-7.475	-7.483	-7.477	-7.469	-7.468	-7.465
58	-7.475	-7.480	-7.477	-7.471	-7.469	-7.464
59	-7.474	-7.481	-7.477	-7.472	-7.468	-7.465
60	-7.474	-7.482	-7.476	-7.470	-7.468	-7.465
61	-7.475	-7.479	-7.477	-7.472	-7.469	-7.465
62	-7.474	-7.480	-7.478	-7.471	-7.467	-7.465
63	-7.474	-7.480	-7.477	-7.472	-7.469	-7.464
64	-7.474	-7.481	-7.476	-7.473	-7.469	-7.464
65	-7.474	-7.482	-7.476	-7.472	-7.469	-7.464
66	-7.474	-7.482	-7.476	-7.472	-7.468	-7.465
67	-7.475	-7.481	-7.476	-7.473	-7.468	-7.464
68	-7.474	-7.482	-7.477	-7.472	-7.469	-7.464
69	-7.474	-7.482	-7.477	-7.472	-7.469	-7.464
70	-7.474	-7.483	-7.476	-7.470	-7.469	-7.465
71	-7.475	-7.481	-7.478	-7.472	-7.468	-7.465
72	-7.474	-7.482	-7.477	-7.472	-7.468	-7.464
73	-7.474	-7.482	-7.478	-7.471	-7.468	-7.465
74	-7.474	-7.483	-7.476	-7.472	-7.469	-7.465
75	-7.474	-7.480	-7.476	-7.472	-7.468	-7.464
76	-7.473	-7.482	-7.477	-7.471	-7.468	-7.465
77	-7.474	-7.484	-7.478	-7.473	-7.468	-7.465
78	-7.474	-7.483	-7.477	-7.471	-7.468	-7.465
79	-7.474	-7.482	-7.478	-7.473	-7.469	-7.465
80	-7.474	-7.482	-7.478	-7.472	-7.470	-7.465
81	-7.474	-7.482	-7.477	-7.471	-7.468	-7.465

82	-7.474	-7.482	-7.477	-7.470	-7.468	-7.465
83	-7.474	-7.482	-7.476	-7.472	-7.470	-7.465
84	-7.474	-7.481	-7.476	-7.472	-7.468	-7.465
85	-7.474	-7.482	-7.477	-7.472	-7.468	-7.470
86	-7.474	-7.482	-7.476	-7.472	-7.470	-7.473
87	-7.474	-7.481	-7.475	-7.472	-7.468	-7.474
88	-7.475	-7.482	-7.477	-7.472	-7.470	-7.464
89	-7.473	-7.481	-7.478	-7.471	-7.468	-7.464
90	-7.474	-7.483	-7.477	-7.471	-7.468	-7.465
91	-7.475	-7.480	-7.476	-7.472	-7.467	-7.465
92	-7.475	-7.482	-7.476	-7.472	-7.468	-7.464
93	-7.473	-7.481	-7.477	-7.472	-7.468	-7.465
94	-7.473	-7.481	-7.476	-7.472	-7.467	-7.465
95	-7.474	-7.482	-7.476	-7.472	-7.468	-7.465
96	-7.473	-7.482	-7.478	-7.471	-7.468	-7.464
97	-7.473	-7.481	-7.476	-7.471	-7.469	-7.464
98	-7.475	-7.480	-7.477	-7.471	-7.468	-7.464
99	-7.474	-7.481	-7.475	-7.471	-7.468	-7.464
100	-7.475	-7.482	-7.477	-7.473	-7.468	-7.464

Tabel B-2 Karakterisasi sensor SMS panjang multimode 4 cm

	Kecepatan Aliran Udara (m/s)					
	0	1	2	3	4	5
No.	Daya (dBm)					
1	-27.39	-27.89	-28.44	-28.97	-29.45	-30.21
2	-27.38	-27.95	-28.45	-28.96	-29.36	-30.22
3	-27.38	-27.89	-28.56	-28.89	-29.34	-30.13
4	-27.38	-27.84	-28.60	-28.96	-29.38	-30.12
5	-27.38	-27.82	-28.35	-28.86	-29.39	-30.16
6	-27.38	-27.87	-28.40	-28.87	-29.39	-30.01

7	-27.38	-27.82	-28.48	-28.95	-29.27	-30.03
8	-27.38	-27.80	-28.47	-28.67	-29.34	-30.17
9	-27.38	-27.84	-28.46	-29.04	-29.35	-30.09
10	-27.38	-27.78	-28.40	-28.93	-29.38	-30.15
11	-27.38	-27.81	-28.35	-28.93	-29.27	-30.09
12	-27.38	-27.90	-28.32	-28.89	-29.29	-30.06
13	-27.38	-27.82	-28.50	-28.90	-29.22	-30.03
14	-27.39	-27.83	-28.40	-28.83	-29.10	-30.06
15	-27.39	-27.81	-28.26	-28.80	-29.22	-30.06
16	-27.39	-27.83	-28.43	-28.84	-29.19	-30.09
17	-27.39	-27.81	-28.46	-28.97	-29.21	-30.14
18	-27.39	-27.71	-28.41	-28.91	-29.15	-30.00
19	-27.39	-27.80	-28.34	-28.98	-29.23	-30.05
20	-27.39	-27.77	-28.38	-28.81	-29.34	-30.00
21	-27.40	-27.76	-28.46	-28.91	-29.50	-30.02
22	-27.40	-27.83	-28.34	-28.85	-29.35	-29.96
23	-27.40	-27.77	-28.21	-28.89	-29.35	-29.87
24	-27.40	-27.78	-28.39	-28.89	-29.23	-29.85
25	-27.40	-27.74	-28.40	-28.88	-29.21	-29.82
26	-27.41	-27.72	-28.38	-28.91	-29.38	-29.78
27	-27.41	-27.77	-28.37	-28.91	-29.19	-29.88
28	-27.41	-27.79	-28.23	-28.88	-29.22	-29.75
29	-27.41	-27.74	-28.29	-28.70	-29.27	-29.88
30	-27.41	-27.79	-28.31	-28.70	-29.11	-29.70
31	-27.41	-27.75	-28.28	-28.63	-29.13	-29.75
32	-27.41	-27.70	-28.28	-28.83	-29.05	-29.61
33	-27.41	-27.69	-28.19	-28.72	-29.20	-29.65
34	-27.41	-27.70	-28.17	-28.67	-29.14	-29.64
35	-27.41	-27.70	-28.27	-28.75	-29.04	-29.72

36	-27.41	-27.66	-28.27	-28.91	-29.05	-29.63
37	-27.41	-27.67	-28.24	-28.81	-29.07	-29.64
38	-27.41	-27.65	-28.25	-28.56	-28.96	-29.59
39	-27.41	-27.67	-28.33	-28.78	-29.00	-29.75
40	-27.41	-27.73	-28.23	-28.78	-29.00	-29.75
41	-27.42	-27.63	-28.13	-28.65	-28.90	-29.59
42	-27.42	-27.69	-28.37	-28.70	-29.06	-29.63
43	-27.42	-27.72	-28.29	-28.77	-28.88	-29.57
44	-27.43	-27.63	-28.16	-28.51	-28.88	-29.53
45	-27.43	-27.68	-28.31	-28.75	-28.99	-29.65
46	-27.43	-27.64	-28.27	-28.59	-29.02	-29.46
47	-27.44	-27.62	-28.20	-28.65	-29.11	-29.60
48	-27.45	-27.65	-28.11	-28.73	-28.93	-29.60
49	-27.45	-27.73	-28.23	-28.64	-29.01	-29.61
50	-27.46	-27.59	-28.24	-28.59	-28.98	-29.48
51	-27.46	-27.59	-28.27	-28.67	-28.87	-29.49
52	-27.46	-27.57	-28.22	-28.60	-28.94	-29.66
53	-27.46	-27.54	-28.17	-28.67	-28.87	-29.47
54	-27.45	-27.56	-28.20	-28.67	-29.01	-29.39
55	-27.45	-27.64	-28.00	-28.63	-28.87	-29.48
56	-27.45	-27.60	-27.96	-28.61	-28.83	-29.51
57	-27.44	-27.58	-28.15	-28.57	-28.75	-29.44
58	-27.45	-27.55	-27.97	-28.55	-28.97	-29.49
59	-27.45	-27.51	-28.03	-28.65	-28.93	-29.53
60	-27.44	-27.52	-28.00	-28.66	-28.80	-29.49
61	-27.44	-27.51	-28.09	-28.59	-28.80	-29.40
62	-27.44	-27.54	-28.03	-28.58	-28.83	-29.34
63	-27.44	-27.58	-27.96	-28.69	-28.80	-29.40
64	-27.43	-27.51	-27.96	-28.52	-28.85	-29.40

65	-27.43	-27.48	-28.08	-28.61	-28.91	-29.21
66	-27.43	-27.59	-27.99	-28.60	-28.89	-29.28
67	-27.43	-27.49	-28.17	-28.54	-28.72	-29.31
68	-27.43	-27.53	-28.06	-28.64	-28.87	-29.38
69	-27.43	-27.54	-27.98	-28.58	-28.89	-29.31
70	-27.43	-27.57	-28.05	-28.59	-28.92	-29.31
71	-27.43	-27.49	-27.93	-28.39	-28.73	-29.44
72	-27.43	-27.46	-27.90	-28.51	-28.75	-29.26
73	-27.43	-27.49	-28.01	-28.53	-28.69	-29.23
74	-27.43	-27.55	-27.97	-28.53	-28.67	-29.40
75	-27.43	-27.51	-27.95	-28.48	-28.74	-29.25
76	-27.43	-27.54	-28.01	-28.40	-28.84	-29.28
77	-27.43	-27.43	-28.00	-28.51	-28.78	-29.20
78	-27.43	-27.50	-27.98	-28.57	-28.76	-29.19
79	-27.42	-27.48	-27.91	-28.41	-28.85	-29.18
80	-27.42	-27.51	-27.88	-28.30	-28.75	-29.22
81	-27.42	-27.46	-27.78	-28.32	-28.65	-29.26
82	-27.42	-27.47	-27.81	-28.33	-28.84	-29.15
83	-27.42	-27.46	-27.80	-28.37	-28.65	-29.13
84	-27.42	-27.53	-27.82	-28.25	-28.69	-29.25
85	-27.42	-27.44	-27.88	-28.38	-28.65	-28.95
86	-27.43	-27.45	-27.84	-28.39	-28.68	-29.17
87	-27.43	-27.45	-27.89	-28.22	-28.70	-29.05
88	-27.43	-27.44	-27.88	-28.18	-28.67	-29.01
89	-27.44	-27.41	-27.84	-28.06	-28.54	-29.21
90	-27.44	-27.43	-27.93	-28.17	-28.77	-28.99
91	-27.44	-27.38	-27.84	-28.24	-28.78	-28.97
92	-27.44	-27.39	-27.88	-28.25	-28.67	-29.09
93	-27.44	-27.41	-27.87	-28.37	-28.70	-29.06

94	-27.44	-27.41	-27.78	-28.38	-28.60	-28.98
95	-27.45	-27.47	-27.77	-28.27	-28.71	-29.02
96	-27.45	-27.44	-27.86	-28.33	-28.74	-29.05
97	-27.45	-27.42	-27.86	-28.29	-28.77	-29.04
98	-27.45	-27.38	-27.87	-28.39	-28.74	-28.91
99	-27.45	-27.47	-27.87	-28.30	-28.66	-29.06
100	-27.45	-27.42	-27.95	-28.40	-28.59	-28.98

Tabel B-3 Karakterisasi sensor SMS panjang multimode 4 cm dengan *bending*

	Kecepatan Aliran Udara (m/s)					
	0	1	2	3	4	5
No.	Daya (dBm)					
1	-20.687	-21.701	-22.043	-22.841	-23.293	-23.850
2	-20.655	-21.686	-22.042	-22.887	-23.242	-23.888
3	-20.688	-21.696	-22.046	-22.895	-23.292	-23.803
4	-20.652	-21.726	-22.027	-22.874	-23.300	-23.901
5	-20.670	-21.690	-22.035	-22.839	-23.251	-23.830
6	-20.727	-21.705	-22.026	-22.862	-23.299	-23.858
7	-20.661	-21.704	-22.072	-22.865	-23.273	-23.815
8	-20.660	-21.714	-22.047	-22.901	-23.272	-23.796
9	-20.694	-21.748	-21.936	-22.875	-23.307	-23.802
10	-20.633	-21.679	-21.927	-22.897	-23.247	-23.785
11	-20.657	-21.714	-21.937	-22.857	-23.288	-23.817
12	-20.703	-21.733	-21.954	-22.868	-23.288	-23.825
13	-20.709	-21.751	-21.986	-22.848	-23.275	-23.889
14	-20.677	-21.740	-21.970	-22.917	-23.231	-23.824
15	-20.705	-21.707	-22.148	-22.895	-23.330	-23.767
16	-20.723	-21.722	-22.252	-22.859	-23.305	-23.889

17	-20.674	-21.724	-22.224	-22.884	-23.254	-23.857
18	-20.662	-21.744	-22.220	-22.918	-23.308	-23.830
19	-20.644	-21.711	-22.075	-22.883	-23.298	-23.860
20	-20.718	-21.727	-21.908	-22.887	-23.266	-23.846
21	-20.670	-21.722	-21.918	-22.857	-23.254	-23.845
22	-20.668	-21.709	-21.977	-22.884	-23.330	-23.807
23	-20.722	-21.745	-21.962	-22.878	-23.264	-23.819
24	-20.740	-21.694	-22.014	-22.866	-23.216	-23.829
25	-20.733	-21.719	-21.986	-22.865	-23.236	-23.811
26	-20.666	-21.723	-21.997	-22.884	-23.282	-23.853
27	-20.697	-21.704	-21.976	-22.836	-23.329	-23.886
28	-20.695	-21.752	-22.001	-22.855	-23.276	-23.817
29	-20.724	-21.755	-21.987	-22.901	-23.304	-23.889
30	-20.748	-21.759	-21.974	-22.937	-23.299	-23.770
31	-20.705	-21.751	-22.129	-22.888	-23.275	-23.816
32	-20.697	-21.813	-22.188	-22.885	-23.350	-23.866
33	-20.733	-21.757	-22.207	-22.858	-23.337	-23.895
34	-20.726	-21.764	-22.277	-22.841	-23.329	-23.814
35	-20.721	-21.757	-22.239	-22.893	-23.340	-23.793
36	-20.713	-21.750	-22.258	-22.859	-23.334	-23.806
37	-20.689	-21.716	-22.252	-22.861	-23.344	-23.876
38	-20.715	-21.763	-22.187	-22.901	-23.349	-23.843
39	-20.720	-21.752	-22.254	-22.893	-23.370	-23.852
40	-20.720	-21.770	-22.212	-22.895	-23.293	-23.797
41	-20.683	-21.791	-22.179	-22.888	-23.348	-23.882
42	-20.710	-21.760	-22.097	-22.902	-23.305	-23.860
43	-20.715	-21.747	-22.062	-22.864	-23.298	-23.880
44	-20.709	-21.752	-22.048	-22.894	-23.323	-23.859
45	-20.729	-21.759	-22.017	-22.873	-23.310	-23.825

46	-20.667	-21.757	-22.006	-22.881	-23.293	-23.866
47	-20.676	-21.764	-22.000	-22.901	-23.315	-23.829
48	-20.720	-21.757	-21.988	-22.888	-23.308	-23.908
49	-20.716	-21.780	-22.087	-22.882	-23.353	-23.867
50	-20.753	-21.741	-22.161	-22.890	-23.351	-23.850
51	-20.724	-21.736	-22.127	-22.878	-23.359	-23.872
52	-20.691	-21.726	-22.135	-22.901	-23.346	-23.891
53	-20.728	-21.758	-22.128	-22.884	-23.325	-23.935
54	-20.737	-21.770	-22.151	-22.862	-23.398	-23.912
55	-20.769	-21.791	-22.167	-22.858	-23.377	-23.897
56	-20.741	-21.804	-22.169	-22.872	-23.389	-23.883
57	-20.765	-21.764	-22.088	-22.885	-23.311	-23.810
58	-20.721	-21.811	-22.065	-22.854	-23.332	-23.825
59	-20.683	-21.838	-22.032	-22.864	-23.342	-23.868
60	-20.768	-21.844	-22.022	-22.834	-23.322	-23.813
61	-20.721	-21.808	-22.056	-22.879	-23.358	-23.867
62	-20.773	-21.796	-22.025	-22.887	-23.326	-23.883
63	-20.740	-21.778	-22.059	-22.899	-23.262	-23.827
64	-20.774	-21.859	-22.028	-22.910	-23.309	-23.917
65	-20.792	-21.816	-22.038	-22.934	-23.325	-23.908
66	-20.758	-21.780	-22.068	-22.891	-23.309	-23.798
67	-20.748	-21.786	-22.130	-22.904	-23.326	-23.888
68	-20.754	-21.817	-22.136	-22.897	-23.328	-23.898
69	-20.761	-21.792	-22.123	-22.889	-23.340	-23.880
70	-20.798	-21.816	-22.101	-22.906	-23.410	-23.823
71	-20.798	-21.840	-22.106	-22.909	-23.378	-23.910
72	-20.726	-21.839	-22.152	-22.916	-23.370	-23.830
73	-20.773	-21.806	-22.149	-22.900	-23.363	-23.886
74	-20.769	-21.789	-22.101	-22.919	-23.344	-23.861

75	-20.728	-21.768	-22.118	-22.933	-23.315	-23.857
76	-20.733	-21.819	-22.175	-22.917	-23.320	-23.791
77	-20.774	-21.774	-22.200	-22.925	-23.327	-23.866
78	-20.785	-21.769	-22.076	-22.920	-23.313	-23.896
79	-20.807	-21.766	-22.092	-22.859	-23.317	-23.863
80	-20.707	-21.784	-22.057	-22.887	-23.364	-23.916
81	-20.736	-21.840	-22.078	-22.874	-23.341	-23.903
82	-20.738	-21.805	-22.041	-22.897	-23.388	-23.898
83	-20.754	-21.783	-22.033	-22.890	-23.327	-23.890
84	-20.730	-21.823	-22.036	-22.896	-23.323	-23.845
85	-20.729	-21.819	-22.064	-22.933	-23.345	-23.796
86	-20.729	-21.796	-22.087	-22.922	-23.307	-23.923
87	-20.794	-21.828	-22.050	-22.927	-23.327	-23.853
88	-20.727	-21.797	-22.056	-22.941	-23.389	-23.893
89	-20.740	-21.775	-22.099	-22.935	-23.296	-23.895
90	-20.767	-21.792	-22.120	-22.915	-23.336	-23.879
91	-20.755	-21.785	-22.090	-22.900	-23.292	-23.879
92	-20.799	-21.824	-22.094	-22.918	-23.385	-23.834
93	-20.743	-21.830	-22.168	-22.909	-23.317	-23.910
94	-20.715	-21.781	-22.149	-22.870	-23.294	-23.856
95	-20.733	-21.812	-22.142	-22.915	-23.352	-23.823
96	-20.741	-21.808	-22.211	-22.960	-23.316	-23.893
97	-20.731	-21.807	-22.142	-22.913	-23.339	-23.892
98	-20.746	-21.843	-22.170	-22.891	-23.321	-23.908
99	-20.753	-21.830	-22.158	-22.921	-23.350	-23.852
100	-20.721	-21.778	-22.171	-22.945	-23.366	-23.863

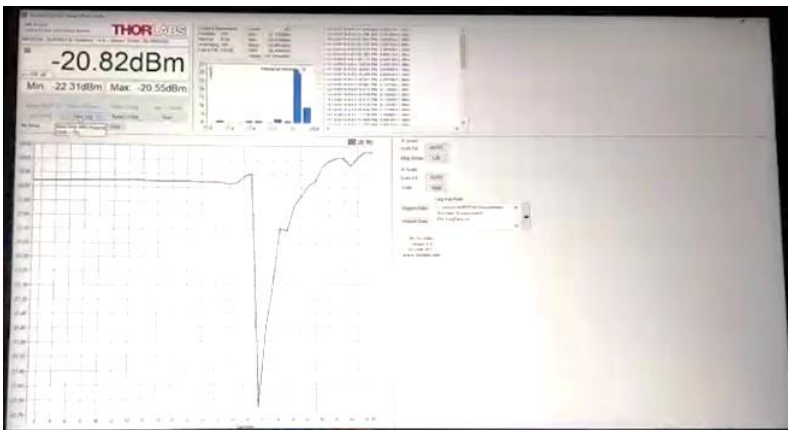
Halaman ini sengaja dikosongkan

LAMPIRAN C

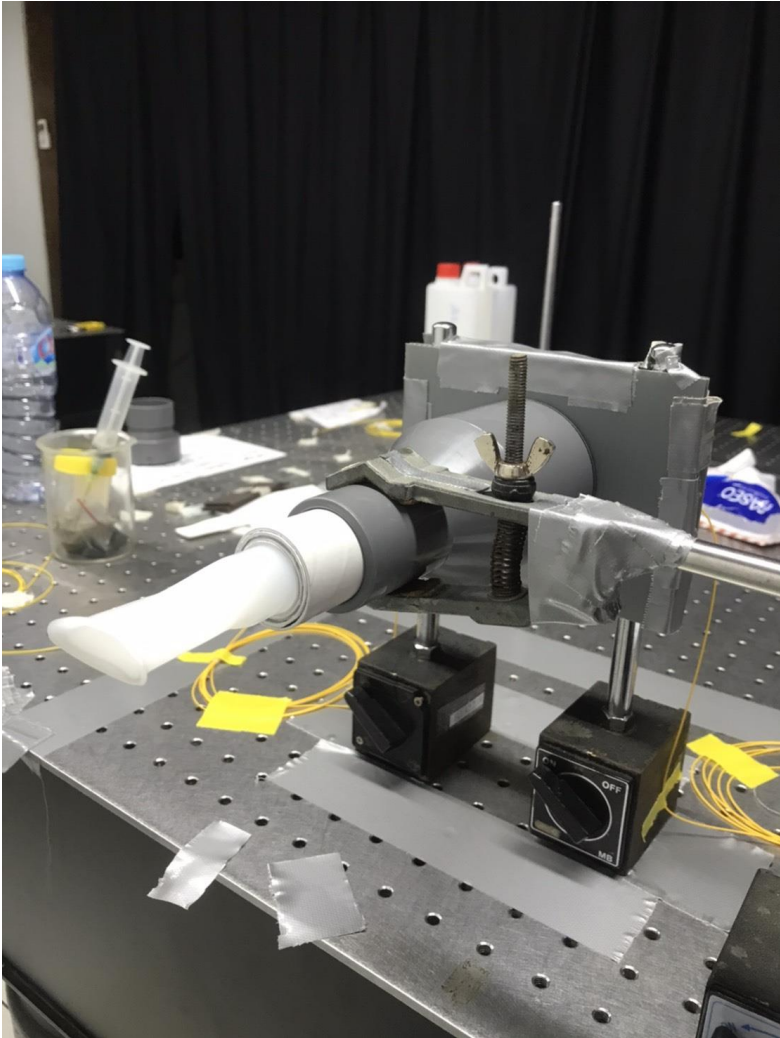
Pengambilan Data Pernapasan



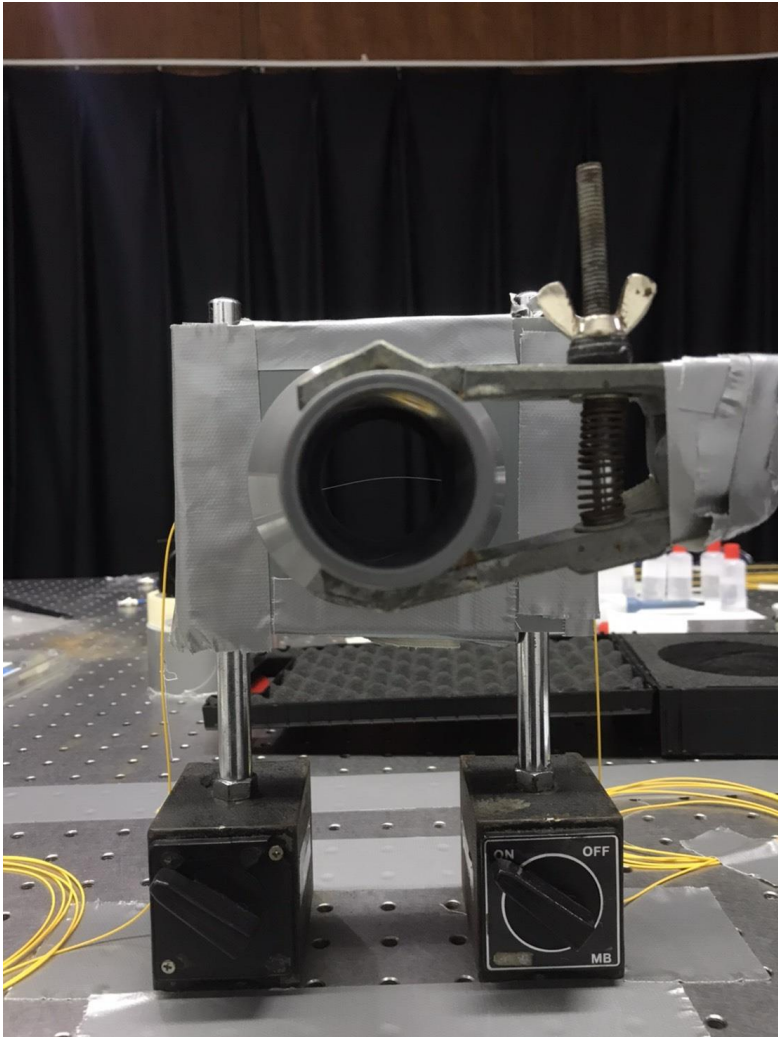
Gambar C-1 Pengambilan data pernapasan



Gambar C-2 Pengaruh ekspirasi maksimal pada tampilan program Thorlabs



Gambar C-3 Setup sensor serat optik SMS untuk spirometri



Gambar C-4 Pemasangan serat optik SMS pada setup

Tabel C-1 Data pengukuran volume kapasitas vital

No.	FVC _{Sensor SMS}	FVC _{Spirometer}	error (%)	error (ml)
1	3530.39	3500	0.87%	30.39
2	3533.23	3500	0.95%	33.23
3	3146.32	3200	1.68%	53.68
4	3192.21	3200	0.24%	7.79
5	3003.00	3000	0.10%	3.00
6	2965.97	3000	1.13%	34.03
7	2985.12	3000	0.50%	14.88
8	3073.06	3000	2.44%	73.06
9	2692.92	2700	0.26%	7.08
10	2741.85	2700	1.55%	41.85
11	2746.82	2700	1.73%	46.82
12	2607.81	2600	0.30%	7.81
13	2509.23	2500	0.37%	9.23
14	2564.55	2500	2.58%	64.55
15	2411.36	2500	3.55%	88.64
16	2294.33	2250	1.97%	44.33
17	2317.74	2250	3.01%	67.74
18	1984.40	2000	0.78%	15.60
19	1987.95	2000	0.60%	12.05
20	2040.43	2000	2.02%	40.43
21	2065.96	2000	3.30%	65.96
22	2002.13	2000	0.11%	2.13
23	2004.26	2000	0.21%	4.26
24	2000.01	2000	0.00%	0.01
25	2008.52	2000	0.43%	8.52
26	1998.59	2000	0.07%	1.41
27	1990.08	2000	0.50%	9.92

28	1991.50	2000	0.43%	8.50
29	1992.92	2000	0.35%	7.08
30	1954.62	2000	2.27%	45.38
31	2056.04	2000	2.80%	56.04
32	2009.23	2000	0.46%	9.23
33	1958.16	2000	2.09%	41.84
34	2040.43	2000	2.02%	40.43
35	1967.74	2000	1.61%	32.26
36	1971.64	2000	1.42%	28.36
37	2016.32	2000	0.82%	16.32
38	1983.70	2000	0.82%	16.30
39	2021.99	2000	1.10%	21.99
40	2151.78	2000	7.59%	151.78
41	2007.81	2000	0.39%	7.81
42	1999.30	2000	0.04%	0.70
43	1999.30	2000	0.04%	0.70
44	2055.33	2000	2.77%	55.33
45	2051.78	2000	2.59%	51.78
46	1947.52	2000	2.62%	52.48
47	1985.82	2000	0.71%	14.18
48	1950.36	2000	2.48%	49.64
49	2037.31	2000	1.87%	37.31
50	1969.28	2000	1.54%	30.72
51	2032.35	2000	1.62%	32.35
52	1952.98	2000	2.35%	47.02
53	2043.69	2000	2.18%	43.69
54	1819.86	1900	4.22%	80.14
55	1786.53	1750	2.09%	36.53
56	1671.64	1600	4.48%	71.64

57	1439.01	1500	4.07%	60.99
58	1350.36	1400	3.55%	49.64
59	1426.25	1400	1.87%	26.25
60	1436.18	1400	2.58%	36.18

BIODATA PENULIS



Penulis bernama lengkap Amodya Satriatama Subagio, lahir di Jakarta pada tanggal 30 September 1997. Penulis menempuh pendidikan di TK Madania Prapanca (2001-2003), SD Madania Bogor (2003-2009), SMP Madania Bogor (2009-2012), SMA Madania Bogor (2012-2015). Penulis melanjutkan studi jenjang S-1 di Departemen Teknik Fisika,

Fakultas Teknologi Industri dan Rekayasa Sistem, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya. Bidang minat yang diambil oleh penulis adalah Rekayasa Fotonika dengan judul Tugas Akhir adalah “Rancang Bangun Sensor Laju Aliran Berbasis Serat Optik SMS (*Singlemode-Multimode-Singlemode*) untuk Spirometri. Penulis dapat dihubungi melalui emailnya di amossubagio@gmail.com.

Halaman ini sengaja dikosongkan