TUGAS AKHIR-MK TF 141581

RANCANG BANGUN SISTEM MONITORING PERNAPASAN BERBASIS SERAT OPTIK BERSTRUKTUR *SINGLEMODE-MULTIMODE-SINGLEMODE* (SMS)

SANIF SYAFRANI
NRP. 2412100053

Dosen Pembimbing :
Agus Muhamad Hatta, ST, M.si, Ph. D
Ir. Apriani Kusumawardhani, M.Sc

JURUSAN TEKNIK FISIKA
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2016

Halaman ini memang dikosongkan

FINAL PROJECT TF 141581

DESIGN AND FABRICATION OF RESPIRATION MONITORING SYSTEM BASED ON SINGLEMODE-MULTIMODE-SINGLEMODE (SMS) FIBER OPTIC STRUCTURE

SANIF SYAFRANI
NRP. 2412100053

Dosen Pembimbing :
Agus Muhamad Hatta, ST, M.si, Ph. D
Ir. Apriani Kusumawardhani, M.Sc

ENGINEERING PHYSICS DEPARTMENT
Faculty of Industrial Technology
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2016

Halaman ini memang dikosongkan

RANCANG BANGUN SISTEM MONITORING PERNAPASAN BERBASIS SERAT OPTIK BERSTRUKTUR *SINGLEMODE-MULTIMODE-SINGLEMODE* (SMS)

TUGAS AKHIR

Oleh :

Sanif Syafrani
NRP : 2412100053

Surabaya, Juli 2016
Mengetahui/Menyetujui

Pembimbing I	Pembimbing II
Agus M. Hatta, S.T., M.Si, Ph.D	**Ir. Apriani Kusumawardhani, M.Sc**
NIP. 19780902 200312 1 002	**NIP. 19530404 197901 2 001**

Ketua Jurusan
Teknik Fisika FTI-ITS

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

Halaman ini memang dikosongkan

RANCANG BANGUN SISTEM MONITORING PERNAPASAN BERBASIS SERAT OPTIK BERSTRUKTUR *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 Jurusan Teknik Fisika
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :
SANIF SYAFRANI
NRP. 2412100053

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir :

1. Agus M. Hatta, S.T., M.Si, Ph.D. ..... (Pembimbing I)
2. Ir. Apriani Kusumawardhani, M.Sc. ..... (Pembimbing II)
3. Prof. Dr. Ir. Sekartedjo, M.Sc. .....(Ketua Penguji)
4. Dr.rer.nat. Ir. Aulia M. T. Nasution, M.Sc. .....(Penguji I)
5. Detak Yan Pratama ST., M.Sc. .....(Penguji II)

SURABAYA
JULI, 2016

Halaman ini memang dikosongkan

RANCANG BANGUN SISTEM MONITORING PERNAPASAN BERBASIS SERAT OPTIK BERSTRUKTUR *SINGLEMODE-MULTIMODE-SINGLEMODE* (SMS)

Nama Mahasiswa	**:**	**Sanif Syafrani**
NRP	**:**	**2412 100 053**
Jurusan	**:**	**Teknik Fisika FTI-ITS**
Dosen Pembimbing	**:**	**Agus M. Hatta, S.T., M.Si, Ph.D**
		Ir. Apriani Kusumawardhani, M.Sc.

Abstrak

Pernapasan merupakan salah satu tanda vital yang harus dipantau pada seorang pasien selain denyut nadi, detak jantung, suhu tubuh, dan tekanan darah, karena dapat mengindikasikan adanya suatu kelainan pada tubuh pasien. Dalam penelitian ini telah dilakukan rancang bangun sistem monitoring pernapasan berbasis serat optik berstruktur *singlemode-multimode-singlemode* (SMS) dengan jenis serat optik *multimode coreless step index* sepanjang 22,30 mm. Proses monitoring pernapasan terkait dengan fenomena perubahan suhu, tekanan, dan kelembaban pada udara pernapasan, dimana perubahan tersebut akan menyebabkan perubahan indeks bias kulit *multimode coreless* sehingga menyebabkan perubahan penjalaran cahaya yang terpandu didalam serat optik berstruktur SMS. Dari hasil eksperimen ditunjukkan sensor SMS mampu memantau pernapasan biasa, pernapasan cepat, dan pernapasan disertai batuk. Adapun kelembaban merupakan faktor dominan yang mempengaruhi kinerja sensor, dengan sensitivitas sensor sebesar 0,044 dBm/%.

Kata kunci: Sensor pernapasan, serat optik SMS, *multimode coreless step index*, indeks bias, dan kelembaban.

Halaman ini memang dikosongkan

DESIGN AND FABRICATION OF RESPIRATION MONITORING SYSTEM BASED ON SINGLEMODE-MULTIMODE-SINGLEMODE (SMS) FIBER OPTIC STRUCTURE

Name	**:**	**Sanif Syafrani**
NRP	**:**	**2412 100 053**
Department	**:**	**Teknik Fisika FTI-ITS**
Supervisor	**:**	**Agus M. Hatta, St., MSi, P.D**
		Ir. Apriani Kusumawardhani, M.Sc.

Abstract

Respiration is one of the vital signs that have to be monitored in medical patients alongsides with pulse rate, heart rate, blood pressure, and temperature as it may indicate the presence of a anomaly on the patient's body. In this research, a respiratory monitoring system has been done using singlemode-multimode-singlemode (SMS) fiber optic sensor structure with multimode coreless step index optical fiber by length of 22.30 mm. The respiration monitoring system is based on the phenomenon of temperature, pressure, and humidity changes in the breathing air, where such changes will lead to changes in the refractive index of multimode coreless cladding and then causing changes in the propagation of the light guided in the optical fiber structured SMS. The experiment results showed that SMS sensor can be used for monitoring normal breathing, fast breathing, and cough. Furthermore humidity is the dominant factor that affecting the performance of the sensor with 0.044dBm/% sensitivity.

Keywords : Respiratory Sensor , Optical fiber SMS , multimode coreless stepindex , refractive index , and humidity

Halaman ini memang dikosongkan

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT karena dengan rahmat dan karuania-Nya laporan tugas akhir dengan judul "Rancang Bangun Sistem Monitoring Pernapasan Berbasis Serat Optik Berstruktur *Singlemode-Multimode-Singlemode* (SMS)" ini dapat terselesaikan dengan baik dan tepat waktu. Dalam pengerjaan dan penulisan laporan tugas akhir ini, penulis telah banyak dibantu oleh berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis mengucapkan terimakasih kepada:

a. Bapak Agus M. Hatta, ST, M.Sc, Ph.D selaku Ketua Jurusan Teknik Fisika ITS yang telah memberikan arahan, motivasi, dan ilmu yang bermanfaat kepada penulis.
b. Bapak Dr. Ir. Syamsul Arifin, MT., selaku dosen wali penulis yang telah memberikan bimbingan dalam proses perkuliahan kepada penulis.
c. Bapak Agus M. Hatta, ST, M.Sc, Ph.D dan Ibu Ir. Apriani Kusumawardhani, M.Sc selaku dosen pembimbing yang telah memberikan masukkan yang sangat bermanfaat serta memberikan ilmu yang beliau miliki kepada penulis sehingga penulis bisa lebih baik.
d. Bapak Prof. Dr. Ir. Sekartedjo, M. Sc, Ir. Heru Setiojono, dan Dr. rer. Nat. Aulia M.T. Nasution, selaku dosen bidang Rekayasa Fotonika yang senantiasa memberikan kritik dan masukkan yang membangun.
e. Bapak dan Ibu dosen Teknik Fisika yang telah memberikan bekal ilmu yang bermanfaat kepada penulis selam perkuliahan dan sampai saat ini.
f. Keluarga penulis, Bapak Syahrul Udin dan Ibu Sri Sundari yang senantiasa mendoakan, memberi nasihat, memberi kasih sayang secara tulus, dan menjadi motivasi hidup. Serta kedua kakak penulis, Santi Syamsiyah dan Sandi Syahdani yang senantiasa memberikan semangat dan doa.
g. Teman-teman seperjuangan Tugas Akhir bidang Rekayasa Fotonika yang senantiasa menjadi sahabat dalam bertukar pendapat.

h. Para Asisten Laboratorium Pengukuran Fisis yang telah memberikan dukungan selama pengerjaan tugas akhir ini dan telah menjadi keluarga semenjak penulis aktif sebagai asisten labortorium.

Penulis berharap laporan tugas akhir ini dapat memberi tambahan wawasan dan ilmu tentang aplikasi ilmu teknik fisika bagi pembaca dan khususnya bagi penulis. Guna penulisan laporan yang lebih baik di kemudian waktu, penulis berharap adanya kritik dan saran yang bersifat membangun dari berbagai pihak. Demikian laporan tugas akhir ini dibuat. Semoga dapat memberi manfaat.

Surabaya, Juli 2016

Penulis

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN i
COVER iii
LEMBAR PENGESAHAN v
ABSTRAK ix
ABSTRACT xi
KATA PENGANTAR xiii
DAFTAR ISI xv
DAFTAR GAMBAR xvii
DAFTAR TABEL xix
BAB I PENDAHULUAN
1.1 Latar Belakang 1
1.2 Rumusan Permasalahan 3
1.3 Batasan Masalah 3
1.4 Tujuan 3
BAB II TEORI PENUNJANG
2.1 Pernapasan 5
2.2 Suhu 6
2.3 Kelembaban Relatif 7
2.4 Tekanan Dinamik 8
2.5 Serat Optik 9
2.6 Serat Optik Berstruktur *Singlemode-Multimode Coreless-Singlemode* (SMS) 11
2.7 Indeks Bias 13
2.8 Efek *Multimode Interference* (MMI) 14
2.9 Sensor 15
BAB III METODOLOGI PENELITIAN
3.1 Diagram Alir Tahapan Penelitian 19
3.2 Alat dan Bahan Penelitian 20
3.3 Pembuatan Probe Sensor Berstruktur SMS 21
3.4 Pengujian Sensor 23
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN
4.1 Pembuatan Probe Sensor Monitoring Pernapasan 27
4.2 Perubahan Parameter Fisis Udara Pernapasan 28

4.3 Pengujian Sensor terhadap Pengaruh Suhu, Kelembaban, dan Tekanan Dinamik 30
4.4 Pengujian Sensor untuk Memantau Sinyal Pernapasan 39
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN
5.1 Kesimpulan.....49
5.2 Saran.....50
DAFTAR PUSTAKA
LAMPIRAN

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1.	Struktur serat optik.	9
Gambar 2. 2.	*Total Internal Reflection*	10
Gambar 2. 3.	Serat optik *Singlemode*	11
Gambar 2. 4.	Serat optik *Multimode step-index*	11
Gambar 2. 5.	Serat optik *singlemode-multimode coreless (step-index)-singlemode* (SMS)	12
Gambar 2. 6.	Skema pandu gelombang *multimode* pada serat optik SMS (Hatta, 2009)	15
Gambar 2. 7.	Profil medan *self imaging* pada pandu gelombang *multimode step-index* (Qian Wang, 2008)	15
Gambar 2. 8.	Diagram blok sistem pengukuran	16
Gambar 3. 1.	Diagram alir penelitian	20
Gambar 3. 2.	Desain probe sensor 1	22
Gambar 3. 3.	Desain probe sensor 2	22
Gambar 3. 4.	Desain probe sensor 3	23
Gambar 3. 5.	Pengujian sensor suhu	24
Gambar 3. 6.	Pengujian sensor terhadap kelembaban	25
Gambar 3. 7.	Pengujian sensor terhadap tekanan dinamik	25
Gambar 3. 8.	Rangkaian pengujian monitoring pernapasan	26
Gambar 4.1.	Probe sensor napas,	27
Gambar 4.2.	Hasil pengukuran parameter fisis pernapasan (a) Suhu (b) kelembaban relatif (c) tekanan dinamik	29
Gambar 4. 3.	(a) *Setup* pengujian pengaruh suhu, (b) *Setup* pengujian pengaruh kelembaban relatif, (c) *Setup* pengujian pengaruh tekanan dinamik	31
Gambar 4. 4.	Grafik pengaruh suhu terhadap keluaran daya Sensor 1	32
Gambar 4. 5.	Grafik pengaruh suhu terhadap keluaran daya Sensor 2	32

Gambar 4. 6. Grafik pengaruh suhu terhadap keluaran daya Sensor 3 33
Gambar 4. 7. Grafik pengaruh kelembaban terhadap keluaran daya Sensor 1.....35
Gambar 4. 8. Grafik pengaruh Kelembaban terhadap keluaran daya Sensor 2.....35
Gambar 4. 9. Grafik pengaruh Kelembaban terhadap keluaran daya Sensor 3.....36
Gambar 4. 10. Grafik pengaruh tekanan dinamik terhadap keluaran daya Sensor 1.....37
Gambar 4. 11. Grafik pengaruh tekanan dinamik terhadap Sensor 2 38
Gambar 4. 12. Grafik pengaruh tekanan dinamik terhadap keluaran daya Sensor 3.....38
Gambar 4. 13. Sensor serat optik SMS yang telah dimasukkan kedalam masker.....39
Gambar 4. 14. (a) diagram blok perangkat keras dan (b) realisasi perangkat keras sistem monitoring....40
Gambar 4. 15. Bagian perangkat lunak sistem monitoring 41
Gambar 4. 16. *Setup* sistem monitoring pernapasan 41
Gambar 4. 17. Hasil monitoring sinyal pernapasan untuk 42
Gambar 4. 18. Hasil monitoring sinyal pernapasan untuk 42
Gambar 4. 19. Hasil monitoring sinyal pernapasan untuk 43
Gambar 4. 20. Hasil monitoring Sensor 2 untuk kasus (a) pernapasan cepat, (b) pernapasandisertai batuk, (c) pernapasan biasa 45
Gambar 4. 21. Grafik sinyal pernapasan menggunakan (a) sensor SMS dan (b) spirometer 46

DAFTAR TABEL

Tabel 4. 1	Karakteristik Peranapasan manusia	30
Tabel 4. 2	Sensitivitas masing- masing Sensor pada suhu 29,1 ˚C – 32,5˚C	34
Tabel 4. 3	Sensitivitas masing- masing Sensor pada kelmbaban 79,7% – 83,7%	37
Tabel 4. 4	Sensitivitas masing- masing Sensor pada tekanan dinamik 0,16 Pa – 1,6 Pa	39

Halaman ini memang dikosongkan

BAB I
PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Tingkat pernapasan merupakan salah satu dari tanda vital yang digunakan untuk memantau keadaan pasien setiap hari selain denyut nadi, tekanan darah, dan suhu (Michelle A Cretikos, 2008). Nilai tingkat pernapasan seorang pasien adalah kunci vital untuk mengetahui perubahan kesehatan secara dini terhadap penyakit kritis, seperti penyakit jantung (Odell, 2010). Dalam bidang medis telah banyak dilakukan penelitian mengenai monitoring tingkat pernapasan pada manusia, seperti menggunakan alat respiR8 dan kapnograph (Ian Smith, 2011) yang dapat memberikan informasi tingkat pernapasan yang cukup baik. Namun pada aplikasi tertentu seperti pemantauan kondisi pasien pada MRI (*Magnetic Resonance Imaging*) alat yang menggunakan sensor berjenis perangkat elektronik/logam tidak diperkenankan, karena akan merusak proses pencitraan yang dilakukan. Ada juga penelitian yang menggunakan perhitungan manual menggunakan jam tangan untuk mengukur tingkat pernapasan (Ian Smith, 2011), sehingga bisa disimpulkan metode ini kurang praktis dan rentan akan kesalahan perhitungan.

Serat optik telah banyak dikembangkan sebagai sensor dalam berbagai bidang, dalam bidang industri serat optik telah dikembangkan untuk menggantikan sensor tradisional seperti sensor pengukuran rotasi, percepatan, elektrik dan medan magnet, suhu, tekanan, akustik, vibrasi, dan lainnya (Shizhuo Yin, 2008). Tentunya penggunaan sensor serat optik ini memiliki kelebihan dari pada sensor tradisional, yaitu sensor serat optik berukuran kecil, sensitivitas tinggi dan tahan terhadap interferensi medan listrik dan medan magnet, dan konsumsi daya yang rendah (Shizhuo Yin, 2008).

Penelitian mengenai monitoring pernapasan sudah banyak dikembangkan, diantaranya dilakukan oleh Marek Krahel dengan judul penelitian *An Optical Fibre-Based Sensor for Respiratory Monitoring* (Marek Krehel, 2014), serat optik digunakan sebagai

sensor untuk mendeteksi tingkat pernapasan melalui fenomena mikrobending, sensor akan merasakan perubahan naik turunnya dada dalam proses inspirasi dan ekspirasi. Didalam penelitian tersebut juga diamati posisi paling strategis dalam pemasangan sensor, jenis serat optik, dan konfigurasi sensor serat optik (Marek Krehel, 2014). Kemudian penelitian monitoring sinyal pernapasan berbasis serat optik plastik juga telah dilakunan oleh Wayan Suana dengan judul "Rancang Bangun Sistem Instrumentasi untuk Memantau Sinyal Pernapasan Berbasis Serat Optik Plastik", dimana pengukuran tingkat pernapasan dilakukan dengan menempatkan sensor kedalam masker. Sistem ini memanfaatkan perubahan besaran fisis yang terdapat dalam udara pernapasan yaitu suhu, kelembaban, dan tekanan (Wayan Suana, 2012). Dalam penelitian yang dilakukan oleh Y. Liang dkk, perubahan temperatur antara inspirasi dan ekspirasi dapat digunakan sebagai karakterisasi proses pernapasan, dimana perubahan temperatur akan mengakibatkan perubahan indeks bias inti FBG (Y. Liang, 2006). Kelembaban udara pernapasan juga dapat merubah indeks bias *clading* POF yang telah dilapisi selulosa, sehingga dapat digunakan untuk mengkarakterisasikan pernapasan, seperti penilitian yang telah dilakukan oleh Masuyaki Morisawa dkk (Masuyaki Morisawa, 2004). Sementara itu sensor napas menggunakan prinsip mikrobending memerlukan serat optik yang panjang, sensor napas dengan mengukur perbedaan suhu memerlukan material tambahan seperti selulosa, dan sensor napas dengan mengukur kelembaban memerlukan sensor jenis FBG. Semuanya tentunya memerlukan material tambahan dan biaya yang cukup tinngi. 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 (Hatta, 2009).

Berdasarkan penelitian yang sudah dilakukan sebelumnya, maka pada tugas akhir ini akan dilakukan perancangan monitoring pernapasan berbasis serat optik berstruktur

singlemode-multimode-singlemode (SMS). Sistem ini memanfaatkan pengaruh perubahan besaran fisis yang terdapat dalam pernapasan, yaitu suhu, tekanan dinamik, dan kelembaban. Hal tersebut ditunjang dengan aplikasi serat optik SMS sebgai sensor kelembaban (Jiali An, Realative Humidity Sensor Based on SMS Fiber Structure With Two Waist-Enlarged Tapers, 2014) dan sensor suhu (Qiang Wu Y. S., 2010).

1.2 Rumusan Permasalahan

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

a. Bagaimana membuat sensor pernapasan menggunakan serat optik berstruktur SMS?
b. Bagaimana kinerja sistem monitoring untuk memantau pernapasan yang meliputi pernapasan biasa, pernapasan cepat, dan pernapasan disertai batuk ?

1.3 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah yang terdapat didalam penelitian ini adalah:

a. Pernapasan yang dideteksi adalah pola pernapasan manusia yang terdiri dari proses menghirup (inspirasi) dan proses menghembuskan udara (ekspirasi).
b. Perubahan parameter fisis yang ditinjau pada penelitian ini adalah suhu, tekanan dinamik, dan kelembaban dari proses pernapasan.

1.4 Tujuan

Tujuan utama dari tugas akhir ini adalah untuk membuat rancang bangun sistem monitoring pernapasan menggunakan sensor serat optik berstruktur SMS berdasarkan perubahan parameter fisis pada pernapasan.

Halaman ini memang dikosongkan

BAB II
TEORI PENUNJANG

2.1 Pernapasan

Pernapasan adalah pertukaran antara oksigen (O_2) dan karbon dioksida (CO_2) diantara organisne dan lingkungan luar (Eric Widmainer, 2001). Oksigen yang dibutuhkan oleh sel-sel di dalam tubuh kita didapat dari lingkungan eksternal, yang kemudian didistribusikan oleh darah keseluruh sel didalam tubuh, sementara karbon dioksida yang merupakan produk limbah akan ditransfer ke udara luar. Selama proses bernapas, manusia akan menghirup udara yang kaya oksigen melaui hidung atau mulut yang kemudian melewati laring dan trakea menuju bronkus, yaitu percabangan antara paru-paru kanan dan paru-paru kiri, kemudian oksigen di salurkan oleh bronkeolus yang merupakan pipa-pipa kecil dan halus menuju alveolus. Di alveolus inilah terjadi pengambilan oksigen oleh alveoli dan selajutnya oksigen akan ditransfer oleh darah keseluruh sel didalam tubuh. Sedangkan udara yang mengadung karbon dioksida akan dikeluarkan kembali (Tu J., 2013).

Proses pernapasan dibagi menjadi dua, yang pertama dinamakan dengan inspirasi. Inspirasi merupakan proses menghirup udara oleh rongga hidung atau mulut dari lingkungan eksternal kedalam paru-paru. Proses yang kedua adalah ekspirasi, yaitu proses pelepasan udara yang kaya dengan karbondiokida dari paru-paru kelingkungan eksternal. Antara proses inspirasi dan ekspirasi kandungan gas didalam udara akan berbeda, udara inspirasi memeliki kandungan oksigen yang lebih tinggi dari pada karbondioksida, sedangkan udara ekspirasi memilki kandungan karbondioksida yang lebih tinggi dari pada oksigen (Tu J., 2013).

Dalam proses inspirasi dan ekspirasi juga terdapat perubahan parameter-parameter fisis dalam udara, diantaranya kelembaban, suhu, tekanan, kandungan karbondioksida, dan laju aliran udara (Wook Jae Yoo, 2010). Kelembaban udara ekspirasi lebih tinggi dari pada udara inspirasi kerana alveolus memiliki permukaan

yang lebih lembab dari udara inspirasi yang berasal dari lingkungan eksternal.

Perubahan suhu antara udara inspirasi dan ekspirasi disebabkan oleh perbedaan antara suhu lingkungan dan suhu tubuh manusia. Telah diketahui secara umum bahwa suhu tubuh manusia cenderung lebih hangat dari pada suhu lingkungan eksternal, sehingga suhu udara ekspirasi akan lebih hangat dari pada suhu inspirasi karena udara telah melalui paru-paru yang merupakan organ tubuh (Wayan Suana, 2012). Selama proses pernapasan terjadi, udara inspirasi yang dingin akan masuk ke paru-paru lewat rongga hidung sedangkan udara ekspirasi yang hangat akan keluar dari paru-paru melalui rongga hidung (Wook Jae Yoo, 2010).

Perubahan parameter fisis yang lain adalah tekanan. Pada proses pernapasan akan terdapat perbedaan tekanan antara rongga dada dan lingkungan, pada proses inspirasi udara akan masuk ke dalam paru-paru karena tekanan didalam paru-paru lebih kecil (menyempitnya rongga dada) dari pada lingkungan. Sebaliknya pada proses ekspirasi udara akan keluar ke lingkungan karena tekanan didalam paru-paru lebih besar (mengembangnya rongga dada) dari pada lingkungan. Tekanan pada udara ekspirasi akan diawali dengan adanya aliran udara dinamik yang terjadi, aliran udara ini dapat berupa aliran laminer ataupun turbulen. Tekanan udara ekpirasi akan didapat dari tekanan dinamik dari aliran dinamik udara ekspirasi.

2.2 Suhu

Suhu merupakan salah satu besaran fisis yang dapat dirasakan secara langsung oleh tubuh manusia melalui mekanisme perpindahan panas. Perpindahan panas terjadi sebagai akibat satu atau lebih dari tiga kemungkinan jenis mekanisme perpindahan panas yaitu konduksi, radiasi, dan konveksi. Konduksi merupakan faktor utama perpindahan panas yang dialami oleh benda padat. Sebuah benda padat dapat dianggap sebagai rantai atom yang saling berhubungan, maka peningkatan suhu disalah satu ujung dari benda padat akan menyebabkan

atom-atom bergetar dan menimbulkan amplitudo, energi getaran ini akan menjalar ke atom-atom berikutnya sampai menuju atom yang terakhir pada rantai. Proses tersebut akan mengakibatkan perpindahan panas ke ujung lain dari sebuah padatan (Bentley, 2005).

Zat padat pada dasarnya akan mengalami perubahan dimensi ketika mengalami perubahan suhu. Pada saat mngalami kenaikan suhu, zat padat akan memuai. Sebaliknya jika zat padat mengalami penurunan suhu maka dimensinya akan menyusut. Sesuai dengan sifat tersebut, serat optik juga akan mengalami perubahan jari-jari dan juga panjang. Perubahan dimensi tersebut akan mengakibat perubahan indeks bias inti dan kulit serat optik yang dinyatakan dengan (A.M. Hatta, 2010):

$$n_{(inti,kulit)_T} = n_{(inti,kulit)_0} + \xi . n_{(inti,kulit)_0} . \Delta T \qquad (2.1)$$

Dimana $n_{(inti,kulit)_T}$ adalah indeks bias inti dan kulit serat setelah mengalami perubahan suhu, $n_{(inti,kulit)_0}$ adalah indeks bias awal, dan ξ adalah koefisien termo optik, dan ΔT adalah perubahan suhu.

2.3 Kelembaban Relatif

Kelembaban relatif adalah presentase kandungan uap air di dalam udara. Kelembaban relatif biasa disingkat "RH" yang memiliki kepanjangan "*relative humidity"* dan dinyatakan dalam persentase antara 0 sampai 100%. Dalam fisika, RH diekspresikan dalam bentuk persamaan berikut:

$$\%\text{RH} = \frac{P_W}{P_S} \times 100 \qquad (2.2)$$

Keterangan:
RH = kelembaban relatif (%)
P_W = Tekanan parsial uap air dalam udara
P_S = Tekanan jenuh uap air

Dimana P_W secara umum merupakan tekanan parsial dari gas dari bagian total tekanan gas itu sendiri. Misal gas yang mengandung 20% oksigen (O_2) dan 80% Nitrogen (N_2) memiliki tekanan 14,7 psi pada tekanan atmosfer. Maka dari persentase perbandingan gas tersebut dapat dinyatakan tekanan parsial O_2 adalah 2,94 psi dan tekanan parsial N_2 adalah 11.76 psi. Sedangkan tekanan jenuh uap air adalah tekanan parsial uap air pada kelembaban 100% (The Humidity/Moisture Handbook , 2011).

2.4 Tekanan Dinamik

Tekanan dinamik merupakan energi kinetik yang dialami oleh fluida. Pada fluida cair tekanan dinamik didasarkan oleh aliran tak terkompresi dan dapat dinyatakan dalam persamaan berikut.

$$P = \frac{1}{2}\rho v^2 \tag{2.3}$$

Keterangan:
P = tekanan dinamik fluida tak terkompresi (Pa)
ρ = massa jenis (kg/m^3)
v = kecepatan (m/s)
Sedangkan dalam fluida terkompresi massa jenis adalah fungsi dari temperature, kemudian kecepatan (v) memiliki hubungan relatif dengan kecapatan suara (a) atau dikenal dengan *Mach number* (M) dengan rumus M = v/a. Dengan memperhatikan kondisi tersebut tekanan dinamik untuk fluida yang terkompresi adalah (Pritchard, 2011).

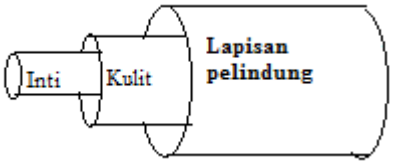
$$q = \frac{1}{2}\gamma P_s M^2 \tag{2.4}$$

Keterangan:
q = tekanan dinamik fluida terkompresi (Pa)
γ = rasio kalor spesifik (1.4 untuk udara)
P_s = tekanan gas ideal (Pa)
M = *March number.* M = 0,5 untuk udara standar.
Dalam beberapa litelatur tekanan dinamik untuk fluida terkompresi sama dengan fluida tak terkompresi. Dalam percobaan pengaruh tekanan dinamik (Clancy, 1975), pada

penelitian ini tekanan dinamik udara didekati dengan persamaan 2.3.

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 (Daniel Malacara, 2001). 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.



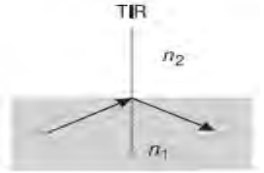
Gambar 2. 1. Struktur serat optik.

Inti memiliki nilai indeks bias sebesar n_1, dan dikelilingi oleh kulit dengan nilai indeks bias yang lebih kecil dari pada n_1 (Daniel Malacara, 2001). 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 melindingi serat optik agar tidak rusak akibat pengaruh fisik lingkungan luar (Daniel Malacara, 2001).

Fenomena terpandunya cahaya dalam serat optik dikarenakan adanya *total internal reflrction* (TIR) yang terjadi pada batas inti-kulit (Bahaa E. A. Saleh, 1991). 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 (Bahaa E. A. Saleh, 1991). Berikut ini adalah rumus matematis dari TIR.

$$\Phi_c = sin^{-1}(\frac{n_2}{n_1}) \quad (2.5)$$

Keterangan:
Φ_c = sudut kritis (˚)
n_1 = indeks bias medium 1
n_2 = indeks bias medium 2



Gambar 2. 2. *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) (Bahaa E. A. Saleh, 1991). Perubahan indeks bias (Δ) dapat dirumuskan secara matematis sebagai berikut.

$$\Delta = \frac{(n_1 - n_2)}{n_1} \quad (2.6)$$

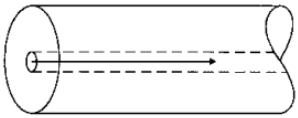
Sinar yang datang dari n_1 ke n_2 membentuk sudut yang lebih kecil dari pada sudut kritis maka akan dipandu sepanjang inti oleh fenomena TIR yang terjadi pada batas inti-kulit (Bahaa E. A. Saleh, 1991).

Sudut kritis terjadi menyesuaikan dengan besarnya *numeircal aperture* (NA), yang mana NA merupakan sudut peneerimaan cahaya yang datang dari udara kedalam serat optik (Bahaa E. A. Saleh, 1991). Adapun rumus matematisnya adalah sebagai berikut.

$$\text{NA} = ({n_1}^2 - {n_2}^2)^{1/2} \quad (2.7)$$

2.5.2 Serat Optik *Singlemode*

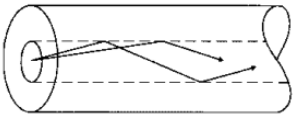
Serat optik *singlemode* (SMF) merupakan serat optik yang intinya terbuat dari gelas, dan hanya terdapat satu moda penjalaran dan memiliki ukuran inti sebesar 3-10 μm (Daniel Malacara, 2001). Penyebab hanya terbentuknya satu moda dalam SMF adalah frekuensi ternomalisasi (V)< 2,405 (Bahaa E. A. Saleh, 1991).



Gambar 2. 3. Serat optik *Singlemode*

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

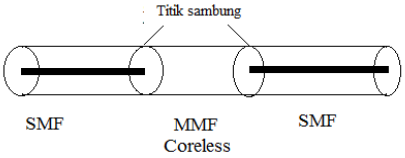
Serat optik *multimode* (*step-index*) memiliki ukuran diameter inti yang lebih besar dari pada SMF. Adapun moda penjalaran yang terbentuk dalam serat optik *multimode* terdiri dari beberapa moda yang berbeda. Sedangkan *multimode coreless* merupakan serat optik *multimode* yang hanya terdiri dari kulit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



Gambar 2. 4. 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. 5. 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 LP_{01} dan dipandu didalam serat (Hatta, 2009). 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 [(Yang Li Z. L., 2014)].

$$P_{out}(L) = 10log\left[\left|\sum_{n=1}^{N} \eta_n{}^2 \exp(j\beta_n L)\right|^2\right] \qquad (2.8)$$

Dimana L adalah panjang dari *multimode*, η_n dan β_n adalah koefisien eksitasi dan konstanta propagasi dari moda LP_{0n}, 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 (Yang Li Z. L., 2014).

$$V = k_0 a_M \sqrt{n_{inti}^2 - n_{kulit}^2} \quad (2.9)$$

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 (Yang Li Z. L., 2014).

$$\beta_n = k_0 n_{eff}^{(n)} \quad (2.10)$$

Dimana n_{eff} adalah indeks bias efektif dari moda LP_{0n}. 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 (CO_2) (Jones, 1981).

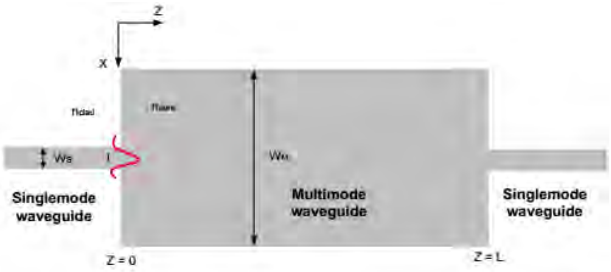
Udara memiliki dua komponen penyusun, yaitu udara bebas (78.09% N_2, 20.95% O_2, 0.93% Ar, dan 0.03% CO_2) dan uap air (Owens, 1967). Dalam menentukan indeks bias dari suatu udara pada kondisi tertentu maka pengaruh dari komponen-komponen penyusun udara tersebut harus diperhatikan. Dengan mengembangkan persamaan Edlen dan memperhatikan pengaruh suhu, tekanan, dan kelembaban, persamaan umum indeks bias dapat dirumuskan sebagai berikut (Owens, 1967):

$$(n-1)\times 10^8 = \left[8342{,}13 + \frac{2406030}{(130-\sigma^2)} + \frac{15997}{(38.9-\sigma^2)}\right] \times \left(\frac{P}{720{,}775}\right)\left[\frac{1+P(0.817-0.0133T)\times 10^{-6}}{1+0{,}0036610T}\right] - f[5.722 - 0.0457\sigma^2] \quad (2.11)$$

Keterangan:
n = indeks bias udara
$\sigma = 1/\lambda_{vac}$
P = tekanan udara (torr)
T = suhu (˚C)
f = tekanan parsial uap air (torr)
Dapat dilihat dari persamaan 2.11, 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 sapat dilihat bahwa semakin tinggi kelembaban maka semakin turun nilai indek bias udara.

2.8 Efek *Multimode Interference* (MMI)

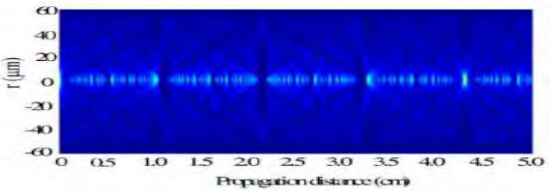
Multimode Interference (MMI) merupakan fenomena yang terjadi akibat adanya pemantulan cahaya secara berulang didalam susunan inti dan kulit pandu gelombang (Novitasari, 2015). Pemantulan yang berulang didalam inti menyebabkan terjadinya interferensi internal, sehingga terjadi perubahan pola cahaya yang 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) (Hatta, 2009).



Gambar 2. 6. Skema pandu gelombang *multimode* pada serat optik SMS **(Hatta, 2009)**

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) (Hatta, 2009). Jarak *self imaging* ditentukan oleh konstanta propagasi antar moda yang berdekatan ($\beta 0$ dan $\beta 1$), dinyatakan sebagai berikut (Qian Wang, 2008)

$$L_i = 10 * \frac{\pi}{\beta_0 - \beta_1} \tag{2.12}$$

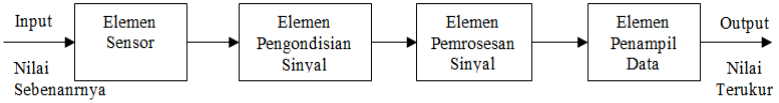


Gambar 2. 7. Profil medan *self imaging* pada pandu gelombang *multimode step-index* **(Qian Wang, 2008)**

2.9 Sensor

Berdasarkan sistem pengukuran, sensor ,merupakan elemen pertama yang memberikan sinyal keluaran sebagai fungsi dari

masukan besaran fisis tertentu (Bentley, 2005). Adapun sistem pengukuran secara umum dibangun dengan empat komponen utama, yaitu sensor, pengondisian sinyal, pemproesan sinyal, dan display. Berikut ini merupak diagram blok sistem pengukuran secara umum.



Gambar 2. 8. Diagram blok sistem pengukuran

Sensor memiliki beberapa karakteristik statik yang dijadikan sibagai tolok ukur performansi di dalam sistem pengukuran, diantaranya adalah sebagai berikut (Bentley, 2005).

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) (Bentley, 2005). Thermoucople mungkin memiliki range input dari 100˚C ke 250˚C.
b. *Span*
   Span adalah variasi maksimum pada nilai input atau ouput 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) (Bentley, 2005). Misalkan transduser tekanan memiliki span input 10^4 Pa dan span output 16 mA.
c. Linearitas
   Lineartas adalah hubungan antara nilai I dan O sensor yang ideal, jika digambarkan dalam grafik akan membentuk garis lurus (Bentley, 2005). Berikut ini merupakan rumus matematisnya.

$$O - O_{MIN} = [\frac{O_{MAX} - O_{MIN}}{I_{MAX} - I_{MIN}}](I - I_{MIN}) \qquad (2.13)$$

d. Non-Linearitas
Hubungan antara nilai input dan output tidak dalam garis lurus (Bentley, 2005).

e. Sensitivitas
Peruahan ouput sensor (ΔO) untuk setiap perubahan input sensor (ΔI), yang dinyatakan dalam rasio($\Delta O/\Delta I$) (Bentley, 2005).

f. Hysteresis
Perubahan nilai output (O) yang bergantung pada nilai input pengukuran naik dan pengukuran turun (Bentley, 2005).

$$Hysteresis\ H(I) = O(I)i\downarrow - O(I)i\uparrow \qquad (2.14)$$

g. Resolusi
Resolusi merupakan perubahan input (I) terbesar yang dapat terjadi tanpa adanya perubahan output (O) (Bentley, 2005).

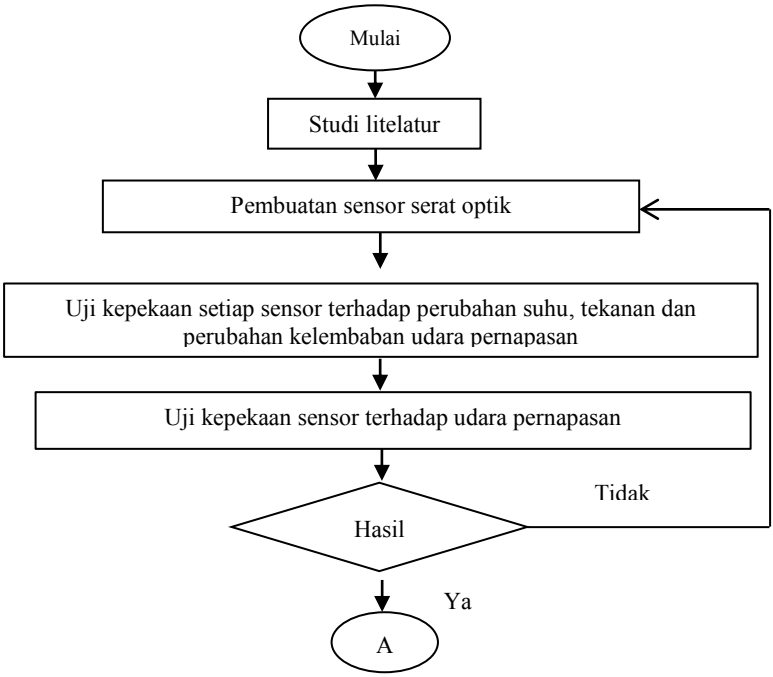
Halaman ini memang dikosongkan

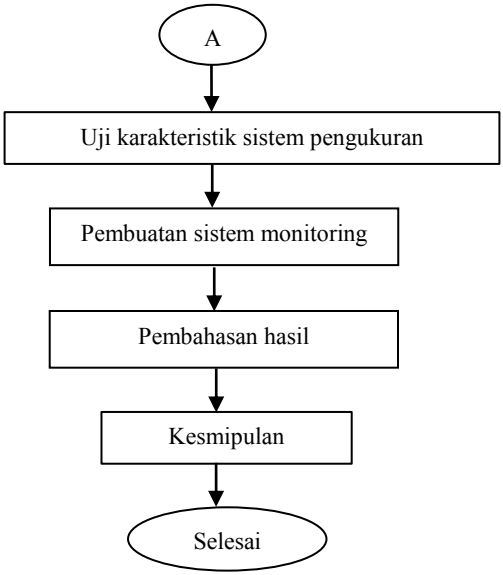
BAB III
METODOLOGI PENELITIAN

Pada bab ini akan dijelaskan tentang perancangan dan pembuatan sistem instrumentasi untuk memonitoring pernapasan 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 dibawah ini.





Gambar 3. 1. Diagram alir penelitian

3.2 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*
i. Masker (1buah)

Alat dan bahan yang digunakan dalam perancangan ruang uji yang berfungsi sebagai ruang pengondisian suhu, tekanan dan kelembaban yaitu.

a. Ruangan berukuran 30 x 30 cm yang terbuat dari bahan akrilik (1 buah)
b. Lampu pijar 10 watt (1 buah)
c. Semprotan air (1 buah)
d. Alat ukur suhu dan kelembaban (1 buah)
e. Termometer (1 buah)
f. Kompressor beserta pipa

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

1. PC/laptop yang telah terinstall labview (1 buah)
2. Mikrokontroller Arduino (1 buah)
3. Photodetector (1buah)
4. Rangkaian penguat *transimpedance* (1 buah)
5. Rangkaiam *Lowapass filter* (1 buah)
6. Baterai 9 v (1 buah)
7. Kabel USB (1buah)

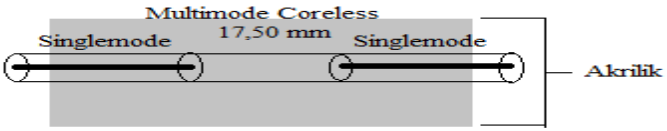
3.3 Pembuatan Probe Sensor Berstruktur SMS

Probe sensor napas yang dibuat berjumlah tiga jenis, probe Sensor 1 menggunakan panjang serat optik *multimode coreless* sebesar 17,50 mm, Sensor 2 menggunakan panjang serat optik *multimode coreless* sebesar 22,30 mm , dan Sensor 3 menggunakan panjang serat optik *multimode coreless* sepanajng 37,25 mm.

Prosedur pembuatan probe Sensor 1 yaitu sebagai berikut.

1. Memotong serat optik *multimode coreless* sepanjang 17,50 cm meggunakan *fiber cleaver*
2. Memotong dua buah serat optik *singlemode* menggunakan *fiber cleaver*
3. Mengupas lapisan pelindung serat optik *multimode coreless* menggunakan *fiber striper*
4. Mengupas lapisan pelindung dua buah serat optik *singlemode* menggunakan *fiber striper*
5. Menyambungkan serat optik *singlemode* pertama dengan serat optik *multimode coreless* menggunakan *fusion splicer*

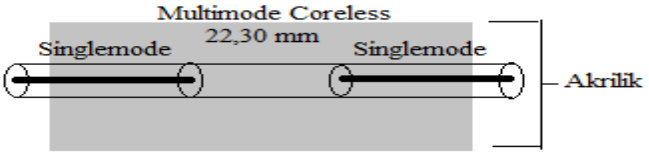
6. Menyambungkan serat optik *singlemode* kedua dengan sisi lain serat optik *multimode coreless* menggunakan *fusion splicer*
7. Meletakkan serat optik SMS ke penampang yang terbuat dari akrilik 2 cm x 5 cm.



Gambar 3. 2. Desain probe sensor 1

Prosedur pembuatan probe Sensor 2 yaitu sebagai berikut.

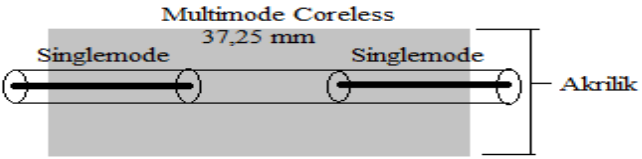
a. Memotong serat optik *multimode coreless* sepanjang 22,30 cm meggunakan *fiber cleaver*
b. Melakukan langkah 2 sampai 6 seperti prosedur pembuatan probe Sensor 1 diatas.



Gambar 3. 3. Desain probe sensor 2

Prosedur pembuatan probe sensor 3 yaitu sebagai berikut.

a. Memotong serat optik *multimode coreless* sepanjang 37,25 cm meggunakan *fiber cleaver*
b. Melakukan langkah 2 sampai 6 seperti prosedur pembuatan probe Sensor 1 diatas.



Gambar 3. 4. Desain probe sensor 3

3.4 Pengujian Sensor

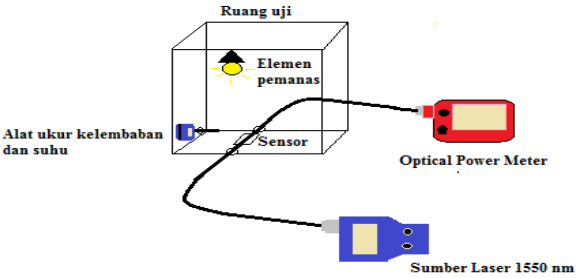
Dalam penelitian ini pengujian sensor dimaksudkan untuk mendapat struktur serat optik SMS yang baik untuk monitoring pernapasan ditinjau dari panjang MMF. Pengujian awal ditujukan untuk mengetahui respon sensor terhadap pengaruh udara lingkungan. Untuk mengetahui rentang suhu pernapasan manusia digunakan sensor termokopel yang dimasukkan kedalam masker, kemudian untuk mengetahui rentang pengujian untuk mengetahui kelembaban udara pernapasan digunakan sensor SHT11 yang dimasukkan kedalam masker, serta untuk mengetahui rentang pengujian tekanan dinamik terhadap udara pernapasan digunkan alat ukur kecepatan udara yaitu anemometer, kemudian hasil pengukuran kecepatan udara ini dikonversi ke tekanan dinamik menggunakan persamaan 2.4. Setelah diketahui rentang uji yang harus digunakan dalam pengujian sensor terhadap masing-masing besaran fisis, maka pengujian kedua ditujukan untuk mengetahui respon sensor terhadap perubahan suhu terhadap daya keluaran sensor, respon sensor terhadap perubahan kelembaban, dan respon sensor terhadap perubahan tekanan dinamik terhadap daya keluaran sensor. Pengujian keempat ditujukan untuk mengetahui respon sensor dalam mendeteksi pernapasan secara langsung. *Data sheet* alat ukur yang digunakan dapat dilihat pada lampiran C.

3.4.1 Pengujian Terhadap Suhu dan Kelembaban

Pengujian pengaruh suhu dan kelembaban udara pernapasan dilakukan disekitar nilai suhu dan kelembaban yang biasa terjadi di pernapasan manusia. Dimana rentang pengukurannya didasarkan oleh percobaan awal pada poin 3.4.

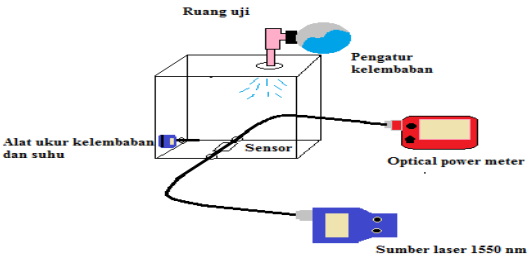
Prosedur dalam melakukan pengujiam terhadap pengaruh suhu dan kelembaban yaitu:

a. Meletakkan sensor napas dan alat ukur suhu dan kelembaban kedalam ruang uji dengan posisi berdekatan, yaitu 1,2 cm. Hal ini untuk menghindari bias pengukuran.
b. Memasang lampu sebagai elemen pemanas kedalam ruang uji.
c. Setelah semua siap, lalu pengujian dimulai dengan menyalakan lampu sehingga suhu ruang uji naik dari suhu 27˚C ke suhu 37˚C, kemudian hasil pembacaan sensor didapat dari OPM berupa keluaran daya dalam dBm.



Gambar 3. 5. Pengujian sensor suhu

d. Setelah diperoleh hasil pengujian suhu, kemudian dilanjut dengan pengujian terhadap perubahan kelembaban, yaitu dengan cara menambahkan bintik air kedalam dinding dalam ruang uji secara perlahan, kemudian hasil pembacaan sensor didapat dari OPM berupa keluaran daya dalam dBm. Gambar 3.8. menunjukkan rangkain pengujian ini.



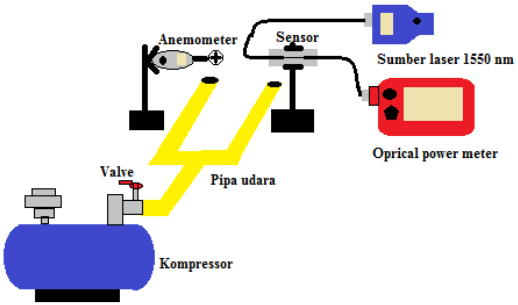
Gambar 3. 6. Pengujian sensor terhadap kelembaban

3.4.2 Pengujian Terhadap Tekanan dinamik

Pengujian terhadap tekanan dinamik dilakukan dengan cara mengukur aliran udara pernapasan. Dimana rentang pengukurannya didasarkan oleh percobaan awal pada poin 3.4. Dalam percobaan ini tekanan dinamik udara diukur dengan anemometer yang kemudian hasil keceptan udara dikonversi kedalam tekanan dinamik menggunakan persamaan 2.4.

Prosedur dalam melakukan pengujian terhadap pengaruh tekanan dinamik yaitu:

a. Melakukan penyusuan skema percobaan seperti gambar 3.7. Jarak pipa udara terhadap sensor dan anemometer harus sama sehingga tidak terjadi bias pengukuran. Dalam percobaan ini jarak yang digunakan adalah 5 cm.

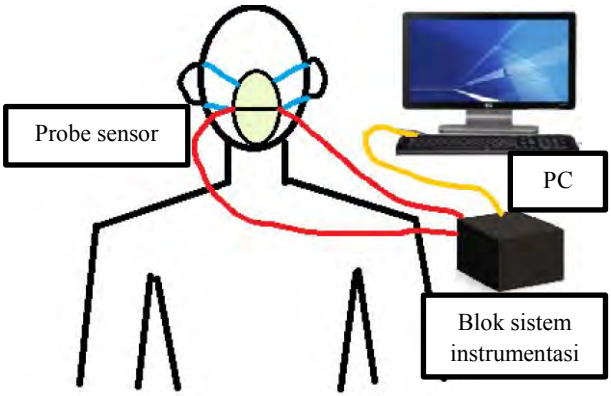


Gambar 3. 7. Pengujian sensor terhadap tekanan dinamik

b. Setelah semua siap, lalu pengujian dimulai dengan membuka *valve* kompressor secara perlahan sehingga diperoleh variasi kecepatan udara dalam rentang kecepatan udara pernapasan dengan berpatokan nilai yang tertera pada anemometer. Kemudian dengan menggunakan persamaan 2.4 kecepatan dikonversi ke tekanan dan dibandingkan dengan hasil pembacaan sensor yang didapat dari *optical power meter* berupa daya dalam dBm.

3.4.3 Pengujian untuk Mendeteksi Pernapasan

Pengujian sensor untuk mendeteksi pernapasan dilakukan pada tiga keadaan, yaitu pada pernapasan biasa, pernapasan cepat, dan pernapasan disertai batuk. Pernapasan biasa merupakan pernapasan seseorang dalam kondisi santai atau istirahat. Pernapasan cepat merupakan pernapasan seseorang setelah melakukan aktivitas fisik, yaitu lari ditempat selama 5 menit. Serta pernapasan disertai dengan batuk.



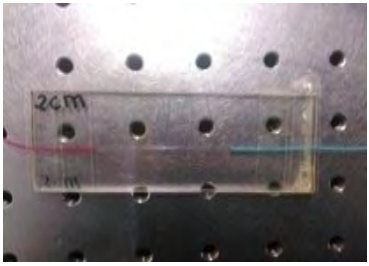
Gambar 3. 8. Rangkaian pengujian monitoring pernapasan

BAB IV
HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Pembuatan Probe Sensor Monitoring Pernapasan

Probe sensor terbuat dari serat optik berstruktur SMS yang menggunakan dua jenis serat optik, yaitu serat optik *singlemode* dengan diameter inti 4,15 μm dan diameter kulit 62,5 μm, dengan indeks bias inti 1,4504 dan kulit 1,4457, kemudian serat optik *multimode coreless* yang digunakan memiliki diameter inti 125 μm. Serat optik *singlemode* dan *multimode coreless* dikelupas lapisan pelindungnya agar dapat disambung, pengelupasan dilakukan dengan menggunkan *fiber cleaver,* kemudian dilakukan penyambungan dengan menggunkan *fiber splicer*. Langkah-langkah tersebut juga dilakukan pada penyambungan ujung *multimode coreless* yang lain dengan ujung *singlemode* yang lain agar menjadi serat optik berstruktur SMS. Sebelum digunakan sensor diluruskan menggunakan penampang akrilik agar tidak bengkok.

Dalam penelitian ini digunakan tiga variasi panjang *multimode*. Sensor 1 menggunakan panjang *multimode* 17,50 mm, Sensor 2 menggunakan panjang *multimode* 22.30 mm, Sensor 3 menggunakan panjang *multimode* 37.25 mm. Probe sensor napas yang dibuat ditunjukkan oleh Gambar 4.1.



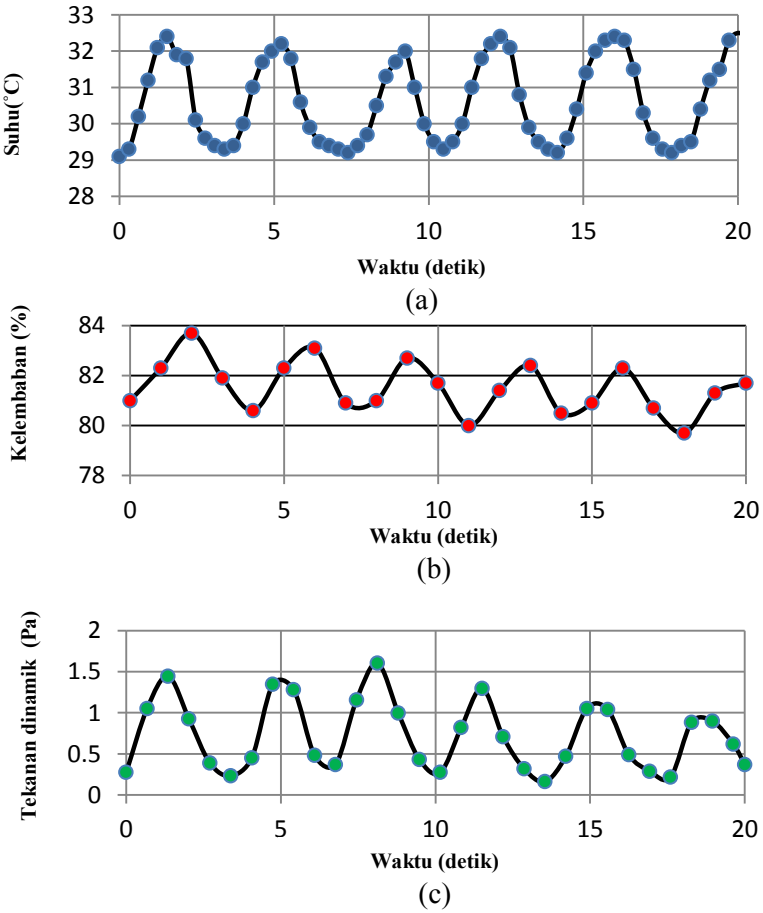
Gambar 4.1. Probe sensor pernapasan

4.2 Perubahan Parameter Fisis Udara Pernapasan

Dalam proses pernapasan terjadi tiga perubahan parameter fisis antara udara ekspirasi dan inspirasi, parameter-parameter itu adalah suhu, kelembaban relatif, dan tekanan dinamik. Untuk mengetahui rentang perubahan parameter-parameter tersebut dalam penelitian ini dilakukan pengambilan data dengan memasukkan sensor termokopel kedalam masker untuk mengukur perubahan suhu, kemudian memasukkan sensor SHT11 kedalam masker untuk mengukur perubahan kelembaban relatif, dan mengukur secara lansung perubahan tekanan dinamik udara pernapasan melalui perubahan aliran udara yang diukur menggunakan anemometer.

Dari hasil pengukuran yang ditunjukan Gambar 4.2 terlihat bahwa dalam proses pernapasan terjadi perubahan suhu, kelembaban relatif, dan tekanan dinamik. Hasil pengukuran suhu Gambar 4.2 (a) menunjukan pada saat proses ekspirasi, suhu udara pernapasan mengalami kenaikan dan pada saat proses inspirasi, suhu udara pernapasan mengalami penurunan. Suhu maksimal yang dapat dicapai dalam enam kali pernapasan normal adalah 32,5˚C, sedangkan suhu minimum yang dapat dicapai adalah 29,1˚C. Hal ini sejalan dengan konsep yang ada bahwa udara lingkungan yang masuk kedalam tubuh manusia akan menjadi lebih hangat karena transfer panas dari suhu tubuh rata-rata manusia yaitu 37˚C. Hasil pengukuran kelembaban relatif juga menunjukkan perilaku yang sama dengan pengukuran suhu yang dapat dilihat pada Gambar 4.2 (b), yaitu pada saat proses ekspirasi, kelembaban relatif udara pernapasan mengalami kenaikan dan pada saat proses inspirasi, kelambaban relatif udara pernapasan mengalami penurunan. Kenaikan kelambaban ini diakibatkan kondisi alveolus pada paru-paru manusia cenderung lebih lembab dari kelembaban udara lingkungan. Nilai kelembaban relatif maksimal yang dapat dicapai dalam proses pernapasan normal adalah 83,7 %, sedangkan kelembaban relatif minimum yang dapat dicapai adalah 79,7 %. Kemudian adanya perubahan volume paru-paru antara proses inspirasi-ekspirasi mengakibatkan perbedaan tekanan antara udara lingkungan dan

udara ekspirasi yang ditunjukkan oleh Gambar 4.2 (c), dapat dilihat pada proses ekspirasi, tekanan dinamik mengalami kenaikan, sedangkan pada proses inspirasi mengalami penurunan. Nilai tekanan dinamik maksimal yang dicapai oleh pernapasan normal adalah 1,6 Pa, sedangkan nilai minimumnya adalah 0,16 Pa.



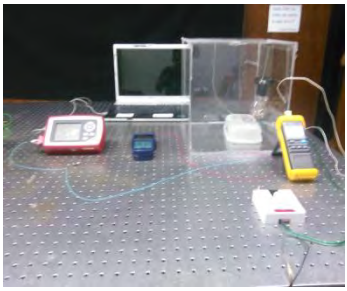
Gambar 4.2. Hasil pengukuran parameter fisis pernapasan (a) Suhu (b) kelembaban relatif (c) tekanan dinamik

Tabel 4. 1 Karakteristik Peranapasan manusia

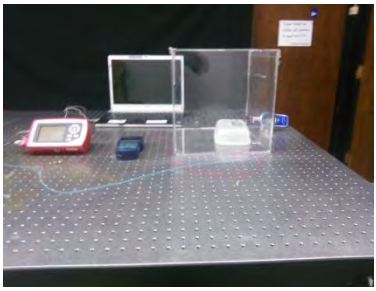
Parameter:	Suhu (˚C)	Kelembaban (%)	Tekanan dinamik (Pa)
Maksimal:	32.5	83.7	1.6
Minimum:	29.1	79.7	0.16
Range:	29.1-32.5	79.7-83.7	0.16-1.6

4.3 Pengujian Sensor terhadap Pengaruh Suhu, Kelembaban, dan Tekanan Dinamik

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh suhu, kelembaban, dam tekanan dinamik udara terhadap daya keluaran Sensor 1, Sensor 2, dan Sensor 3. Uji dilakukan dengan menempatkan sensor secara bergantian bersama alat ukur suhu dan kelembaban kedalam ruang uji. Alat ukur suhu yang digunakan adalah termometer APPA51, kemudian alat ukur kelembaban yang digunakan adalah Dekko FM-7903, dan alat ukur tekanan dinamik yang digunakan adalah alat ukur kecepatan udara anemometer Constant AN15, kemudian hasil pengukuran kecepatan udara akan dikonversi menjadi tekanan dinamik. Ruang uji (*chamber*) yang digunkan berukuran 30x30x30 cm^3. *Set up* pengujian ditunjukkan oleh Gambar 4.2



(a)



(b)

(c)

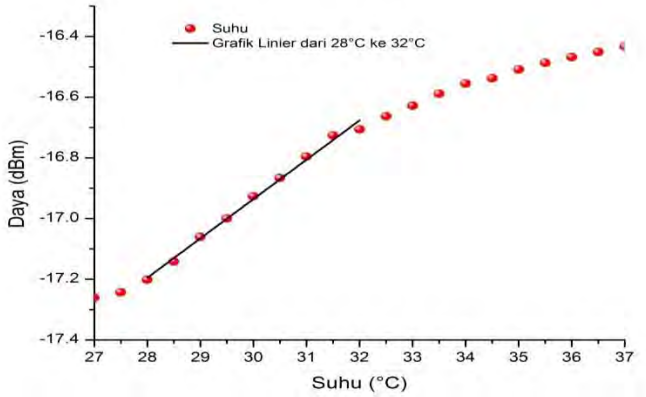
Gambar 4. 3. (a) *Setup* pengujian pengaruh suhu, (b) *Setup* pengujian pengaruh kelembaban relatif, (c) *Setup* pengujian pengaruh tekanan dinamik

.Pengujian terhadap pengaruh suhu dilakukan dengan memvariasikan suhu udara didalam ruang uji menggunakan lampu sebagai elemen pemanas, dimana posisi lampu berjarak 5 cm dari sensor dan jarak sensor dengan alat ukur 3 cm. Pada saat yang sama kelembaban udara dijaga agar tidak berubah secara signifikan. Variasi suhu yang digunakan dimulai dari suhu 27 ˚C ke suhu tubuh manusia sebesar 37˚C. Dari hasil pengukuran suhu udara pernapasan secara langsung pada pernapasan normal deiketahui bahwa perubahan suhu udara pernapasan berada pada rentang 29,1˚C sampai 32,5 ˚C , dimana rentang tersebut berada pada variasi pengujian suhu yang dilakukan. Sedangkan untuk pengujian kelembaban dilakukan pada rentang 60 % sampai 90%. Dari hasil pengukuran kelembaban udara pernapasan deiketahui bahwa perubahan kelembaban udara pernapasan berada pada rentang 79,7% sampai 83,7%, dimana rentang tersebut berada pada variasi pengujian suhu yang dilakukan. Kemudian hasil pengukuran tekanan dinamik secara langsung pada pernapasan didapat rentang 0,16 Pa sampai 1,6 Pa, dimana rentang tersebut masuk dalam rentang pengukuran yang dilakukan yaitu 0 Pa sampai 8 Pa.

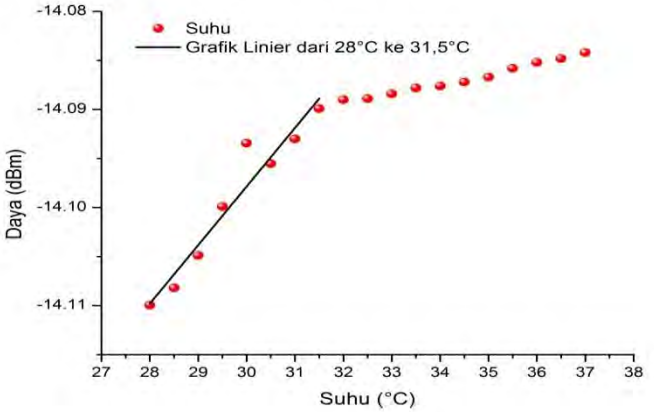
4.3.1 Hasil Pengujian Sensor Terhadap Pengujian Suhu

Berikut ini adalah hasil pengujian pengaruh suhu untuk Sensor 1, Sensor 2, dan Sensor 3. Variasi suhu dilakukan mulai dari suhu kamar hingga suhu tubuh manusia (hasil dapat dilihat

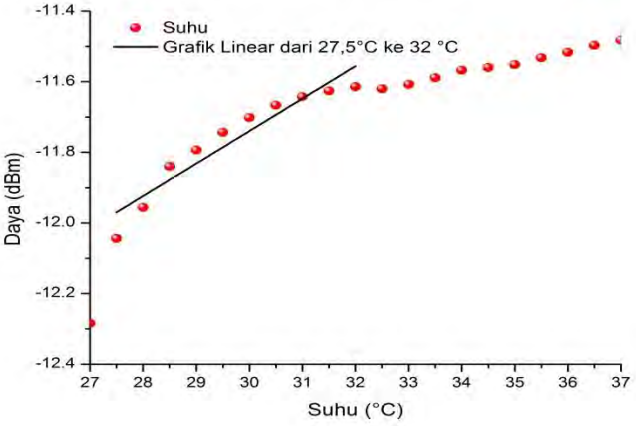
pada lampiran A). Telah diketahui bahawa rentang perubahan suhu pada proses inspirasi dan ekspirasi pada keadaan normal adalah 29,1˚C sampai 32,5 ˚C.



Gambar 4. 4. Grafik pengaruh suhu terhadap keluaran daya Sensor 1



Gambar 4. 5. Grafik pengaruh suhu terhadap keluaran daya Sensor 2



Gambar 4. 6. Grafik pengaruh suhu terhadap keluaran daya Sensor 3

Pada Gambar 4.4, Gambar 4.5 dan Gambar 4.6 yaitu grafik Sensor 1, Sensor 2, dan Sensor 3 diatas, terlihat bahwa semakin suhu dinaikkan maka daya yang dihasilkan juga semakin tinggi. Sesuai dengan persamaan (2.11), pada tekanan konstan dan kelembaban yang konstan, semakin suhu dinaikkan maka indeks bias udara sebagai indeks bias kulit dari serat optik *multimode coreless* juga mengalami kenaikan. Perubahan nilai indeks bias udara akan secara langsung mempengaruhi keluaran daya dari serat optik SMS sesuai persamaan (2.8). Dalam persamaan tersebut terlihat faktor yang mempengaruhi dari daya output adalah panjang serat optik *multimode*, konstanta propagasi, koefisien eksitasi dan jumlah moda yang terpandu. Semua fakator tesebut dipengaruhi oleh nilai indeks bias. Berdasarkan persamaan (2.9) yaitu tentang frekuensi normalisasi yang berhubungan dengan jumalah moda yang terpandu, semakin besar nilai indeks bias kulit (indek bias udara) maka moda yang terpandu akan semakin banyak. Kemudian berdasarkan persamaan (2.10) indeks bias efektif akan mengakibatkan nilai keluaran daya berubah. Dimana indeks bias efektif ini

dipengaruhi oleh indeks bias udara. Indeks bias efektif berhubungan linear dangan indeks bias udara pada saat nilai indeks bias inti konstan, berdasarkan konstanta propagasi yang ternormalisasi. Ketika suhu naik maka indeks bias udara naik dan indeks bias efektif juga akan naik, kenaikan ini juga akan mengakibatkan nilai konstanta propagasi mengalami kenaikan sehingga daya output semakin naik.

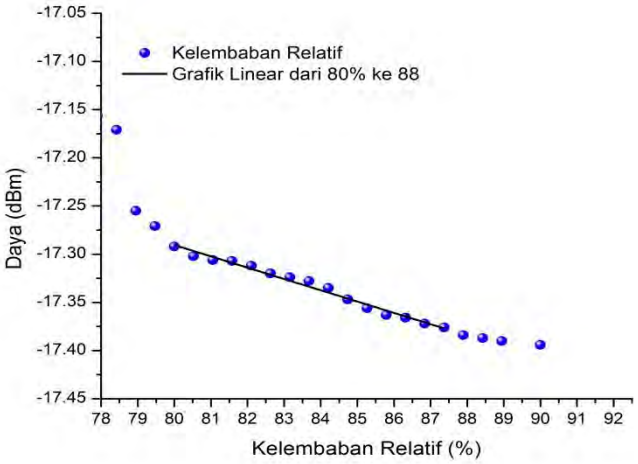
Dengan melakukan pendekatan dengan persamaan linieritas pada setiap grafik pengaruh suhu terhadap keluaran daya dari masing-masing sensor, maka dapat dicari nilai sensitivitas masing-masing sensor pada rentang 28˚C sampai 32 ˚C. Sensor 1 memiliki sensitivitas 0,129 dBm/ ˚C, Sensor 2 memiliki sensitivitas 0,006 dBm/ ˚C, dan Sensor 3 memiliki sensitivitas 0,091 dBm/ ˚C.

Tabel 4. 2 Sensitivitas masing- masing sensor terhadap pengaruh suhu

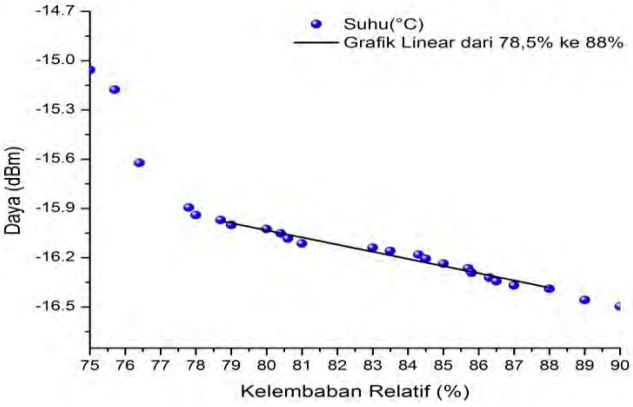
Sensor	Sensitivitas (dBm/ ˚C)
Sensor 1	0,129
Sensor 2	0,006
Sensor 3	0,091

4.3.2 Hasil Pengujian Sensor Terhadap Pengujian Kelembaban Relatif

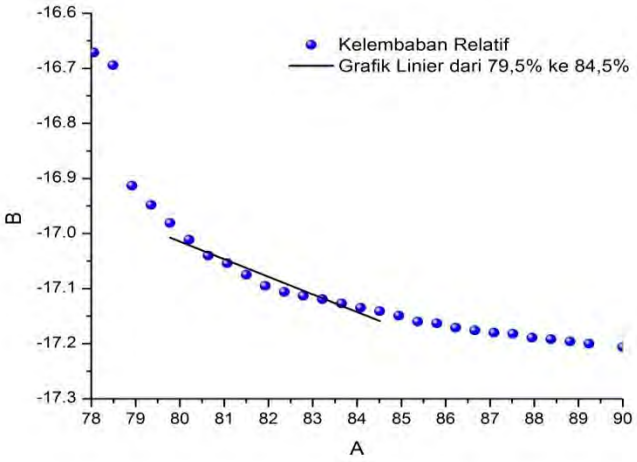
Berikut ini adalah hasil pengujian untuk masing-masing sensor terhadap pengaruh kelembaban relatif. Pada Gambar 4.7, Gambar 4.8 dan Gambar 4.9 yaitu grafik Sensor 1, Sensor 2, dan Sensor 3 terlihat bahwa semakin kelembaban relatif dinaikkan maka daya yang dihasilkan semakin turun, hasil pengukuran dapat dilihat pada lampiran A. Sesuai dengan persamaan (2.11), dimana kelembaban diwakili oleh tekanan parsial (f). Semakin kelembaban naik maka tekanan parsial uap air semkin naik pula, dengan demikian maka indeks bias udara juga akan semakin turun.



Gambar 4. 7. Grafik pengaruh kelembaban terhadap keluaran daya Sensor 1



Gambar 4. 8. Grafik pengaruh Kelembaban terhadap keluaran daya Sensor 2



Gambar 4. 9. Grafik pengaruh Kelembaban terhadap keluaran daya Sensor 3

Perubahan nilai indeks bias udara akan secara langsung mempengaruhi keluaran daya dari serat optik berstruktur SMS sesuai persamaan (2.8). Telah dijelaskan pada pengaruh perubahan indeks bias kulit (indeks bias udara) pada *multimode coreless* pada struktur SMS terhadap pengruh suhu akan mempengaruhi nilai konstanta propagasi, koefisien eksitasi, dan jumlah moda yang terpandu. Sebaliknya, apabila kelembaban naik maka indeks bias kulit akan turun dan nilai daya keluaran akan turun.

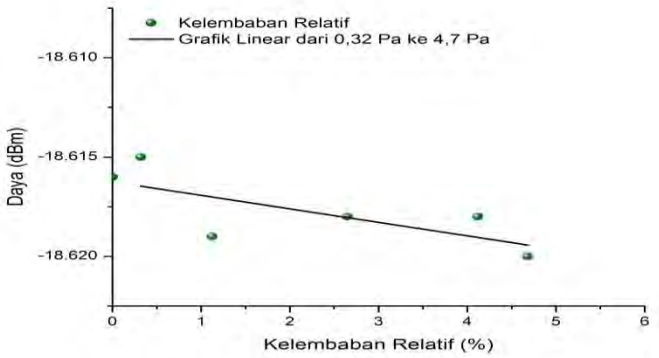
Dengan melakukan pendekatan dengan persamaan linieritas pada setiap grafik pengaruh kelembaban terhadap keluaran daya dari masing-masing sensor, maka dapat dicari nilai sensitivitas masing-masing sensor pada rentang 79% sampai 84% pada setiap grafik. Sensor 1 memiliki sensitivitas 0,012 dBm/ %, Sensor 2 memiliki sensitivitas 0,044 dBm/ %, dan Sensor 3 memiliki sensitivitas 0,032 dBm/ %.

Tabel 4. 3 Sensitivitas masing- masing sensor terhadap pengaruh kelembaban

Sensor	Sensitivitas (dBm/ %)
Sensor 1	0,012
Sensor 2	0,044
Sensor 3	0,032

4.3.3 Hasil Pengujian Sensor TerhadapTekanan Dinamik

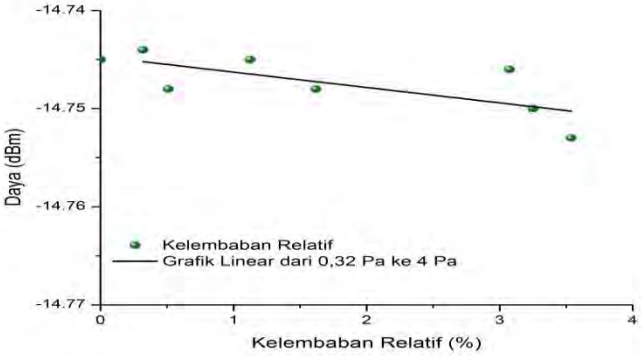
Berikut ini adalah hasil pengujian untuk masing-masing sensor terhadap pengaruh tekanan dinamik.



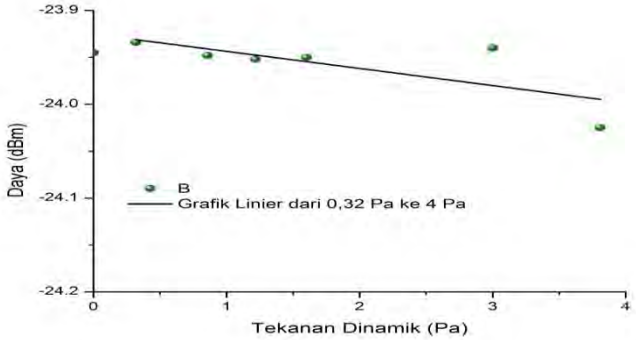
Gambar 4. 10. Grafik pengaruh tekanan dinamik terhadap keluaran daya Sensor 1

Pada Gambar 4.10, Gambar 4.11 dan Gambar 4.12 yaitu grafik Sensor 1, Sensor 2, dan Sensor 3 terlihat bahwa semakin tekanan dinamik dinaikkan maka daya yang dihasilkan semakin turun, hasil pengukuran dapat dilihat pada lampiran A. Seharusnya berdasarkan persamaan (2.11), dimana tekanan dinamik berbanding lurus dengan indeks bias udara. Semakin tinggi tekanan maka akan semakin tinggi daya yang dikeluarkan. Dengan rentang pengaruh tekanan dinamik pernapasan sebesar

0.16 Pa – 1.6 Pa seharusnya tidak begitu mempengaruhi keluaran sensor.



Gambar 4. 11. Grafik pengaruh tekanan dinamik terhadap keluaran daya Sensor 2



Gambar 4. 12. Grafik pengaruh tekanan dinamik terhadap keluaran daya Sensor 3

Penagruh keluaran lebih dipengaruhi oleh faktor kelembaban karena pada tahap pengujian, kompresor yang dipergunakan mengeluarkan bintik air pada saat dipergunakan. Artinya belum

dapat dipisahkan antara pengaruh tekanan dinamik dan kelembaban. Hal ini yang mempengaruhi pengukuran pengaruh tekanan dinamik.

Dengan melakukan pendekatan dengan persamaan linieritas pada rentang rentang yang ditunjukan pada masing-masing grafik, maka dapat ditentukan sensitivitas Sensor 1 sebesar 0,0006 dBm/ Pa, Sensor 2 sebesar 0,0015 dBm/ Pa, dan Sensor 3 sebesar 0,0018 dBm/ Pa.

Tabel 4. 4 Sensitivitas masing- masing Sensor terhadap pengaruh tekanan dinamik

Sensor	Sensitivitas (dBm/ Pa)
Sensor 1	0,0007
Sensor 2	0,0015
Sensor 3	0,0018

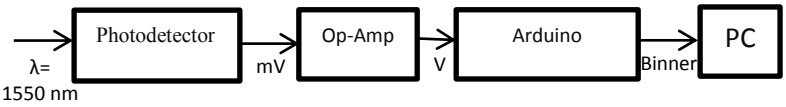
4.4 Pengujian Sensor untuk Memantau Sinyal Pernapasan

Untuk memantau sinyal pernapasan menggunakan sensor serat optik ini, maka perlu dilakukan tiga tahapan dalam melakukan monitoring. Tahap pertama adalah pemasangan setiap sensor kedalam masker, kemudian membuat sistem instrumentasi berupa perangkat keras yang digunakan sebagai pengondisian dan pemprosesan sinyal hasil outputan sensor, dan yang terakhir adalah membuat perangkat lunak sebagai tampilan sinyal hasil monitoting.

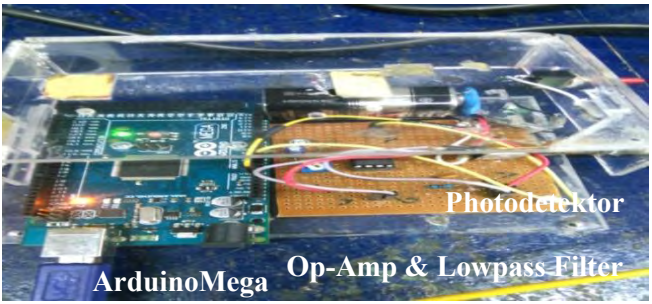
Gambar 4. 13. Sensor serat optik berstruktur SMS yang telah dimasukkan kedalam masker

Setelah semua perangkat siap, maka dilakuakan pengintegrasian setiap perangkat untuk membuat satu sistem

monitoring pernapasan. Hasil *setup* sistem monitoring ini dapat dilihat pada gambar 4.16.



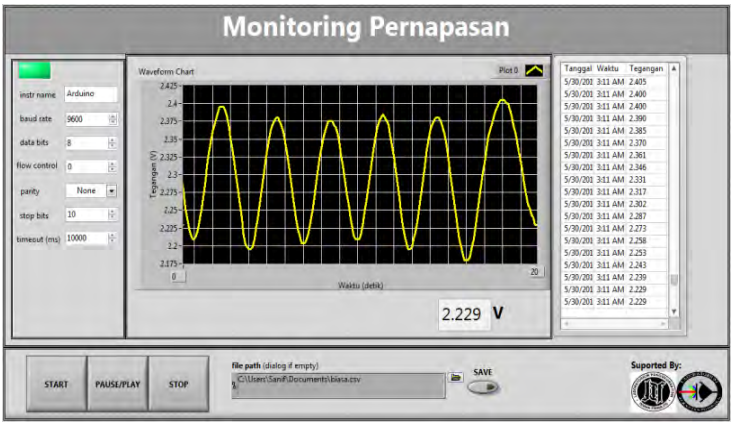
(a)



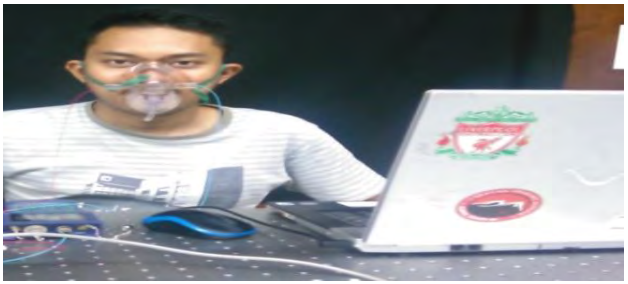
(b)

Gambar 4. 14. (a) diagram blok perangkat keras dan (b) realisasi perangkat keras sistem monitoring

Adapun bagian dari perangkat keras yang digunakan adalah Fotodetektor dengan range input 800 nm -1800 nm, pengondisian sinyal yang digunakan adalah Op-Amp 741 dan rangaian l*owpass filter*, kemudian pemprosesan data yang digunakan adalah Arduino Mega dengan ADC 10 bit dengan *sampling rate* 128 kHz. Sedangkan *software* monitoring yang digunakan adalah labView 2013.



Gambar 4. 15. Bagian perangkat lunak sistem monitoring

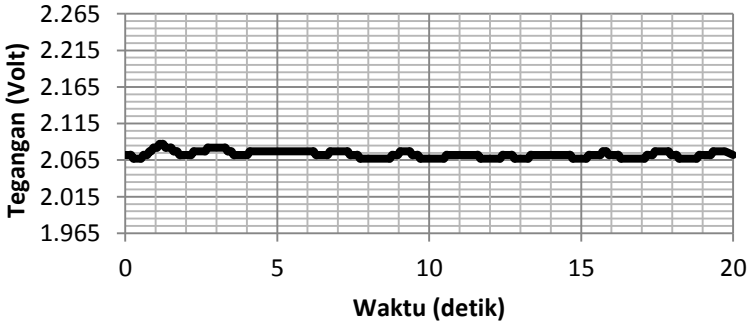


Gambar 4. 16. *Setup* sistem monitoring pernapasan

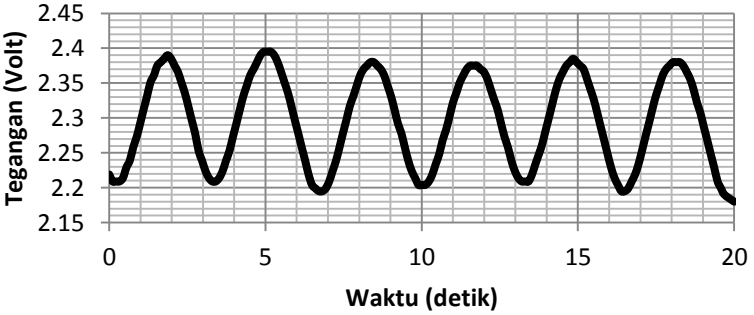
4.4.1 Hasil Pengujian Pernapasan Biasa

Pengambilan data dilakukan dengan memonitoring pernapasan selama 20 detik. Data keluaran grafik yang dihasilkan adalah data nilai tegangan terhadap waktu (dapat dilihat pada lampiran B). Dari Gambar 4.17, Gambar 4.18, dan Gambar 4.19 tersebut dapat diketahui kemampuan sensor dalam mendeteksi pernapasan. Gambar 4.18 merupakan grafik hasil monitoring pernapasan biasa oleh Sensor 2 dengan panjang *multimode coreless* 22,30 mm, dapat dilihat bahwa sensor memiliki kemampuan untuk memonitoring pernapasan pada proses ekspirasi dan inspirasi. Hasil pola monitoring pernapasan yang

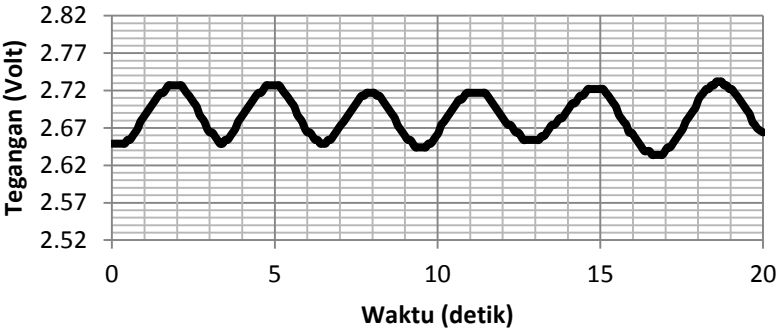
sama juga ditunjukan oleh Gambar 4.19 yaitu Sensor 3 dengan panjang *multimode coreless* 37,25 mm, dimana sensor mampu untuk memantau pernpasan pada proses ekspirasi dan inspirasi. Proses ekspirasi direpresentasikan oleh puncak sinyal hasil monitoring dan proses inspirasi direpresentasikan oleh lembah. Sedangkan pada Gambar 4.17 menujukan kemampuan Sensor 1 dengan panjang *multimode coreless* 17,50 mm dalam memantau pernapasan, dapat dilihat bahwa sensor tidak dapat melakukan monitoring dengan baik, walaupun terlihat ada pola pernapasan yang terjadi, namun tegangan yang dihasilkan terlalu kecil sehingga tidak dapat diamati dengan jelas.



Gambar 4. 17. Hasil monitoring sinyal pernapasan untuk Sensor 1



Gambar 4. 18. Hasil monitoring sinyal pernapasan untuk Sensor 2



Gambar 4. 19. Hasil monitoring sinyal pernapasan untuk Sensor 3

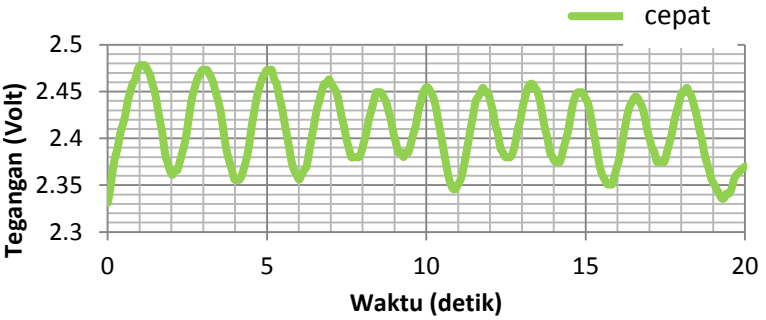
Pada penampilan grafik dengan rentang skala yang sama yaitu 0,3 V, terlihat Sensor dengan panjang *multimode coreless* 22,30 mm memiliki rentang keluaran output tegangan yang paling besar sehingga dapat diamati dengan jelas sinyal hasil monitoringnya. Untuk membandingkan kinerja terbaik dari semua sensor, maka dilakukan rata-rata rentang tegangan antara puncak (proses ekspirasi) dan pada lembah (proses inspirasi) dalam enam kali pernapasan pada setiap sensor. Sensor 2 dengan panjang *multimode coreless* 22,30 mm memiliki rentang keluaran 0.179 V, Sensor 3 dengan panjang *multimode coreless* 37,25 mm memiliki rentang keluaran 0,065 V, dan Sensor 1 dengan panjang *multimode coreless* 17,50 mm memiliki rentang keluaran 0,008 V.

Dari hasil perbandingan rentang keluaran ini maka Sensor 2 memiliki rentang keluaran terbesar sehingga dapat dengan jelas dilihat sinyal hasil monitoring pernapasan yang dilakukan. Faktor penyebab Sensor 2 memiliki hasil terbaik dalam memantau pernapasan adalah dominannya pengaruh kelembaban pada Sensor 2. Dari hasil pengujian awal terhadap pengaruh kelembaban, Sensor 2 memiliki sensitivitas terbesar dengan nilai 0.044 dBm/%, diikuti Sensor 3 dengan 0.032 dBm/%, dan Sensor 1 dengan 0.012 dBm/%. Hasil ini sesuai dengan hasil kinerja sensor dalam memantau sinyal pernpasan, dimana Sensor 2

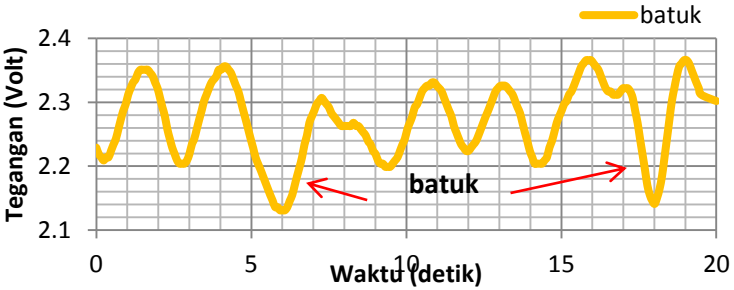
memiliki kinerja terbaik diikuti Sensor 3 kemudian Sensor 1. Walaupun Sensor 1 memiliki sensitivitas terbesar dalam pengujian suhu yaitu 0.245 dBm/˚C, namun dari hasil monitoring pernapasan memilki kinerja terburuk. Hal tersebut mengindikasikan bahwa kelembaban relatiflah yang paling dominan mengalami perubahan dalam proses pernapasan.

4.4.2 Hasil Pengujian Peranpasan Cepat dan Pernapasan Disertai Batuk

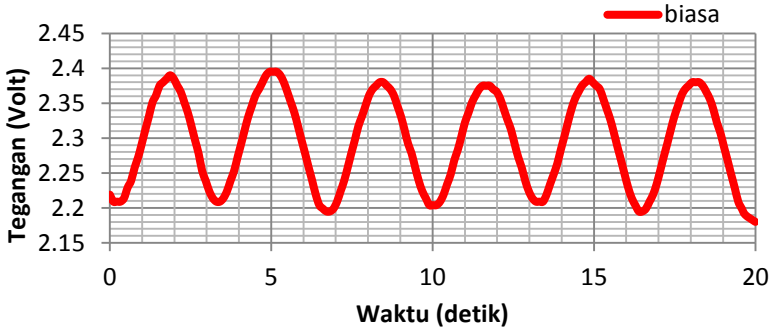
Setelah diketahui kinerja masing-masing sensor dalam mendeteksi pernapasan, maka dilakukan pengujian lebih lanjut untuk Sensor 2 dalam mendeteksi pernapasan biasa, pernapasan cepat, dan pernapasan yang disertai dengan batuk. Pernapasan cepat merupakan pernapasan seseorang setelah melakukan aktivitas fisik, yaitu lari ditempat selama 5 menit. Pada durasi yang sama, keadaan pernapasan cepat terjadi 11 kali napas dalam 20 detik Gambar 4.20 (a), sedangkan dalam pernapasan biasa terjadi 6 napas dalam 20 detik Gambar 4.20 (c). Berikutnya adalah mendeteksi kemampuan sensor dalam mendeteksi pernapasan disertai batuk. Pada Gambar 4.20 (b) tampak bahwa ada sinyal yang mengalami penurunan amplitudo yang lebih besar dari sinyal rata-rata lainnya, yaitu terjadi pada detik ke-6 dan detik ke- 18. Hal tersebut diakibatkan oleh batuk yang dilakukan oleh pasien. Dari pengujian yang dilakukan secara langsung pada saat terjadi batuk didapat nilai kelembaban rata-rata pada saat batuk adalah 88,39% yang berarti nilai ini lebih besar dari pada nilai rata-rata pada pernapasan biasa sehingga menyebabakan sinyal pernapasan memiliki penurunan amplitudo. Adapun pernapasan merupakan sinyal dinamik yang secara kontinyu akan mudah terpengaruh oleh aktivitas pernapasan lainnya. Pada Gambar 4.20 (b) dapat diamati bahwa batuk yang terjadi dalam durasi 20 detik adalah dua kali.



(a)



(b)

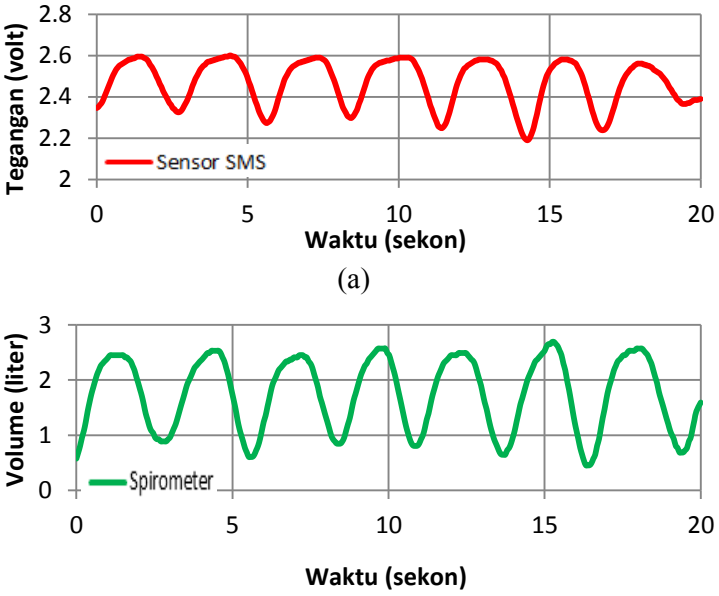


(c)

Gambar 4. 20. Hasil monitoring Sensor 2 untuk kasus (a) pernapasan cepat, (b) pernapasandisertai batuk, (c) pernapasan biasa

4.4.3 Perbandingan Sensor SMS dengan Sensor Konvensional

Pengambilan data dilakukan dengan menggunakan alat konvensional yaitu spirometer, dapat dilihat pada lampiran D. Alat ukur ini dapat menampilkan grafik pola pernapasan melalui mulut dimana sumbu x menyatakan waktu (sekon) dan sumbu y menyatakan volume (liter) udara yang keluar. Langkah-langkah untuk membandingkan sensor SMS dengan Spirometer adalah dengan melakukan pengambilan data secara bergantian dengan pola pernapasan mulut yang sama. Pertama Spirometer dikenai 7 kali napas melalui mulut, setelah pengambilan data selesai, sensor SMS dikenai 7 kali napas melalui mulut juga, dan didapat grafik perbandingan seperti Gambar 4.21.



Gambar 4. 21. Grafik sinyal pernapasan menggunakan (a) sensor SMS dan (b) spirometer

Terlihat pola pernapasan yang diperoleh oleh sensor konvensional menunjukan 7 kali napas dalam 20 detik Gambar 4.21 (b), kemudian sensor berstruktur SMS juga memilki pola pernapasan 7 kali napas dalam 20 detik Gambar 4.21 (a). Kesamaan jumlah dalam memantau pernapasan antara sensor berstruktur SMS dan spirometer menunjukan sensor SMS memilki kinerja yang baik. Adapun pengaruh perubahan parameter fisis dari udara pernapasan melalui mulut akan mempengaruhi keluaran sensor SMS seperti halnya pernapasan melalui hidung.

Halaman ini memamng 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 perancangan sistem monitoring pernapasan berbasis serat optik berstruktur SMS dengan panjang serat optik *multimode coreless* 22,30 mm, 37,25mm, dan 17,50 mm yang mampu mendeteksi sinyal pernapasan.
b. Sistem monitoring dengan menggunakan SMS dengan panjang serat optik *multimode coreless* 22,30 mm menghasilkan sensitivitas terbesar jika dibandingkan dengan menggunakan dua probe sensor lainnya. Dimana rata-rata perubahan keluaran sensor pada pernapasan biasa (ekspirasi dan inspirasi) untuk sensor ini sebesar 0.179 V, sedangkan sensor dengan panjang serat optik *multimode coreless* 37,25 mm sebesar 0,065 V, dan sensor dengan panjang seerat optik *multimode coreless* 17,50 mm sebesar 0,008 V.
c. Kelembaban relatif merupakan faktor paling dominan dalam proses pernapasan yang mempengaruhi sensitivitas sensor, yaitu sebesar 0.044%/dBm.
d. Sistem monitoring dengan menggunakan sensor SMS dengan panjang serat optik *multimode coreless* 22,30 mm mampu membedakan pernapasan biasa, cepat, dan pernapasan yang disertai batuk.
e. Sistem monitoring dengan menggunakan sensor SMS memilIki kinerja yang baik, karena dapat menunjukkan banyaknya pola pernapasan yang sama jika dibandingkan dengan spirometer.

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-paramter fisis diharapkan tidak terjadi pengaruh efek lingkungan yang dapat menggangu pengukuran. Maka diperlukan teknik-teknik pengukuran yang lebih baik.
d. Membandingkan sensor SMS dengan sensor konvensional yang berbasis pernapasan hidung

DAFTAR PUSTAKA

A.M. Hatta, Y. S. (2010). Analysis of temperature dependence for a ratiometric wavelength measurement system using SMS fiber structure based edge filters. *Optics Communications*, 1291-1295.

Bahaa E. A. Saleh, M. C. (1991). *Fundamental of Photonics.* New York: John Wiley & Sons, Inc.

Bentley, j. P. (2005). *Principles of Measurement Systems 4th Edition.* London: Prentice Hall.

Clancy, L. J. (1975). *Aerodynamics.* London: Pitman Publishing Limited.

Clara Mihaela Ionescu, R. D. (2008, Februari). Time Domain Validation of a Fractional Order Model for Human Respiratory System. *IEEE*, 89-95.

Daniel Malacara, B. J. (2001). *Handbook of Optical Engineering.* New York: Marcek Dekker, Inc.

E. R. McFadden, B. M. (1985). Thermal Mapping of The Airways in Humans. *The American Physiological Society*, 565-570.

Eric Widmainer, H. R. (2001). Respiration. Dalam H. R. Eric Widmainer, *Human Physiology: The Mechanism of Body* (hal. 463-504). New York, Amerika: The McGraw-Hill.

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.

Ian Smith, J. M. (2011). Respiratory Rate Measurement: A Comparison of Methods. *British Journal of Healthcare Assitants*, 18.

Jiali An, Y. J. (2014). Realative Humidity Sensor Based on SMS Fiber Structure With Two Waist-Enlarged Tapers. *IEEE SENSORS*, 2683-2686.

Jiali An, Y. J. (2014, August). Relative Humudity Sensor Based on SMS Fiber Structure With Two Waist-Enlarged. *IEEE Sensors Journal, 14*, 2683-2686.

Jones, F. E. (1981, January-February). The Refractivity of Air. *Journal of Research of National Bureau of Standards, 86*, 27-32.

Marek Krehel, M. S.-L. (2014, July). An Optical Fibre-Based Sensor for Respiratory Monitoring. *ISSN 1424-8220*, hal. 13088-13101.

Masuyaki Morisawa, S. M. (2004, Februari). A Novel Breathing Condition Sensor Using Plastic Optical Fiber. *IEEE*, 1277.

Michelle A Cretikos, R. B. (2008). Respiratory Rate: The Neglected Vital Sign. *MJA*, 657-659.

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.

Odell, M. (2010). *Are early Warning Scores The Only Way to Rapidly Detrect and Mange Deterioration?* Birmingham: Nursing Times.

Owens, J. C. (1967, Januari). Optical Refractive Index of Air: Dependence on Pressure, Temperature and Composition. *APPLIED OPTICS, 6*, 51-59.

Pritchard, P. J. (2011). *Introducing To Fluid Mechanics Eighth Edition*. John Wiley & Sons, Inc.

Qian Wang, G. F. (2008, Maret). Investigation on Single-Mode-*Multimode*-Single-Mode Fiber Structure. *Lightwave Technology, 26*, 512-519.

Qiang Wu, Y. S. (2010). Bent SMS Fiber Structure for Temperature Measurement. *Electronics Letters*.

Qiang Wu, Y. S. (2010, January). Bent SMS Fiber Structure for Temprature Measurement. *Electronics Letters, 46*.

Shizhuo Yin, P. B. (2008). *Fiber Optic Sensors*. Boca Raton: CRC Press.

Tu J., I. K. (2013). The Human Respiratory System. Dalam I. K. Tu J., *Computational Fluid and Particle Dynamics In The Human* (hal. 19-44). Springer.

Wayan Suana, M. S. (2012). Pengembangan Sensor Napas Berbasis Serat Optik Plastik dengan Cladding Terkelupas untuk Aplikasi di Bidang Medis. *Fisika dan Aplikasinya*, 1-5.

Wook Jae Yoo, K. W.-Y. (2010, Desember). Development of Nasal-cavity and Abdomen-attached Fiber-optic Respiration Sensors. *Korean Physical Society, 57*, 1550.

Y. Liang, A. P. (2006, July). Fibre Bragg Grating Sensor for Respiratory Monitoring. *ACOFT/OAS*, 75.

Yang Li, Z. L. (2014). *Multimode* Interference Refractive Index Sensor Based on Coreless Fiber. *Photonics Sensors*, 21-27.

Yang Li, Z. L. (2014). *Multimode* Interference Refractive Index Sensor Based on Coreless Fiber. *Photonic Sensor, 4*, 21-27.

Halaman ini memang diksongkan

LAMPIRAN A

A.1. Data Karakteristik Pernapasan Manusia

Tabel A.1.1 Karakteristik Suhu Pernapasan Biasa Selama 20 detik

Waktu (s)	Suhu (˚C)	Waktu (s)	Suhu (˚C)	Waktu (s)	Suhu (˚C)	Waktu (s)	Suhu (˚C)
0	29.1	5.236	32.2	10.472	29.3	15.708	32.3
0.308	29.3	5.544	31.8	10.78	29.5	16.016	32.4
0.616	30.2	5.852	30.6	11.088	30	16.324	32.3
0.924	31.2	6.16	29.9	11.396	31	16.632	31.5
1.232	32.1	6.468	29.5	11.704	31.8	16.94	30.3
1.54	32.4	6.776	29.4	12.012	32.2	17.248	29.6
1.848	31.9	7.084	29.3	12.32	32.4	17.556	29.3
2.156	31.8	7.392	29.2	12.628	32.1	17.864	29.2
2.464	30.1	7.7	29.4	12.936	30.8	18.172	29.4
2.772	29.6	8.008	29.7	13.244	29.9	18.48	29.5
3.08	29.4	8.316	30.5	13.552	29.5	18.788	30.4
3.388	29.3	8.624	31.3	13.86	29.3	19.096	31.2
3.696	29.4	8.932	31.7	14.168	29.2	19.404	31.5
4.004	30	9.24	32	14.476	29.6	19.712	32.3
4.312	31	9.548	31	14.784	30.4	20.02	32.5
4.62	31.7	9.856	30	15.092	31.4	20.328	32.3
4.928	32	10.164	29.5	15.4	32	20.636	31.3

Tabel A.1.2 Karakteristik Kelembaban Pernapasan Biasa Selama 20 Detik

Waktu (detik)	Kelmbaban (%)	Waktu (detik)	Kelmbaban (%)
0	81	11	80
1	82.3	12	81.4
2	83.7	13	82.4
3	81.9	14	80.5
4	80.6	15	80.9
5	82.3	16	82.3
6	83.1	17	80.7
7	80.9	18	79.7
8	81	19	81.3
9	82.7	20	81.7
10	81.7		

Tabel A.1.3 Karakteristik Tekanan Dinamik Pernapasan Biasa Selama 20 Detik

Waktu (s)	Tekanan Dinamik (Pa)	Waktu (s)	Tekanan Dinamik (Pa)
0	0.2738	10.832	0.8192
0.677	1.05125	11.509	1.29605
1.354	1.445	12.186	0.70805
2.031	0.9248	12.863	0.32
2.708	0.3872	13.54	0.16245
3.385	0.2312	14.217	0.47045
4.062	0.45125	14.894	1.05125

Tabel A.1.3 Lanjutan

Waktu (s)	Tekanan Dinamik (Pa)	Waktu (s)	Tekanan Dinamik (Pa)
4.739	1.3448	15.571	1.0368
5.416	1.28	16.248	0.49005
6.093	0.4802	16.925	0.2888
6.77	0.3698	17.602	0.2178
7.447	1.1552	18.279	0.88445
8.124	1.60205	18.956	0.8978
8.801	0.99405	19.633	0.61605
9.478	0.43245	20	0.3698
10.155	0.2738		

A.2. Data Pengujian Pengaruh Parameter-Parameter Fisis Terhadap Rugi Daya Sensor 1

Tabel A.2.1 Pengaruh Suhu Terhadap Rugi Daya Sensor 1

Suhu (˚C)	Rugi Daya			Rata-rata
	1	2	3	
27	-17.26	-17.259	-17.259	-17.2593
27.5	-17.242	-17.243	-17.244	-17.243
28	-17.202	-17.203	-17.204	-17.203
28.5	-17.14	-17.138	-17.139	-17.1383
29	-17.068	-17.068	-17.069	-17.0683
29.5	-16.995	-16.995	-16.996	-16.9953
30	-16.925	-16.926	-16.927	-16.926
30.5	-16.862	-16.864	-16.864	-16.8633
31	-16.796	-16.796	-16.797	-16.7963
31.5	-16.725	-16.726	-16.727	-16.726
32	-16.706	-16.706	-16.707	-16.7063

Tabel A.2.1 Lanjutan

Suhu (˚C)	Rugi Daya			Rata-Rata
	1	2	3	
32.5	-16.662	-16.663	-16.662	-16.6623
33	-16.628	-16.628	-16.628	-16.628
33.5	-16.589	-16.589	-16.589	-16.589
34	-16.555	-16.554	-16.555	-16.5547
34.5	-16.537	-16.537	-16.537	-16.537
35	-16.508	-16.508	-16.508	-16.508
35.5	-16.487	-16.487	-16.487	-16.487
36	-16.468	-16.468	-16.468	-16.468
36.5	-16.451	-16.451	-16.451	-16.451
37	-16.432	-16.432	-16.432	-16.432

Tabel A.2.2 Pengaruh Kelembaban Terhadap Rugi Daya Sensor 1

Kelembaban(%)	Rugi Daya			Rata-rata
	1	2	3	
60	-17.116	-17.124	-17.117	-17.119
60.5263	-17.125	-17.13	-17.126	-17.127
61.0526	-17.129	-17.132	-17.129	-17.13
61.5789	-17.127	-17.135	-17.128	-17.13
62.1052	-17.134	-17.139	-17.135	-17.136
62.6315	-17.137	-17.14	-17.137	-17.138
63.1578	-17.142	-17.15	-17.143	-17.145
63.6841	-17.148	-17.153	-17.149	-17.15
64.2104	-17.156	-17.159	-17.156	-17.157
64.7367	-17.158	-17.166	-17.159	-17.161
65.263	-17.161	-17.166	-17.162	-17.163
65.7893	-17.161	-17.164	-17.161	-17.162
66.3156	-17.158	-17.166	-17.159	-17.161

Tabel A.2.2 Lanjutan

Kelembaban(%)	Rugi Daya			Rata-rata
	1	2	3	
66.8419	-17.157	-17.162	-17.158	-17.159
67.3682	-17.155	-17.158	-17.155	-17.156
67.8945	-17.149	-17.157	-17.15	-17.152
68.4208	-17.142	-17.147	-17.143	-17.144
68.9471	-17.139	-17.142	-17.139	-17.14
69.4734	-17.133	-17.141	-17.134	-17.136
69.9997	-17.133	-17.138	-17.134	-17.135
70.526	-17.135	-17.138	-17.135	-17.136
71.0523	-17.131	-17.139	-17.132	-17.134
71.5786	-17.135	-17.14	-17.136	-17.137
72.1049	-17.137	-17.14	-17.137	-17.138
72.6312	-17.136	-17.144	-17.137	-17.139
73.1575	-17.139	-17.144	-17.14	-17.141
73.6838	-17.145	-17.148	-17.145	-17.146
74.2101	-17.147	-17.155	-17.148	-17.15
74.7364	-17.151	-17.156	-17.152	-17.153
75.789	-17.151	-17.159	-17.152	-17.154
76.3153	-17.154	-17.159	-17.155	-17.156
76.8416	-17.16	-17.163	-17.16	-17.161
77.3679	-17.155	-17.163	-17.156	-17.158
77.8942	-17.154	-17.159	-17.155	-17.156
78.4205	-17.17	-17.173	-17.17	-17.171
78.9468	-17.252	-17.26	-17.253	-17.255
79.4731	-17.269	-17.274	-17.27	-17.271
79.9994	-17.291	-17.294	-17.291	-17.292
80.5257	-17.299	-17.307	-17.3	-17.302
81.052	-17.304	-17.309	-17.305	-17.306

Tabel A.2.2 Lanjutan

Kelembaban(%)	Rugi Daya			Rata-rata
	1	2	3	
81.5783	-17.306	-17.309	-17.306	-17.307
82.1046	-17.309	-17.317	-17.31	-17.312
82.6309	-17.318	-17.323	-17.319	-17.32
83.1572	-17.323	-17.326	-17.323	-17.324
83.6835	-17.325	-17.333	-17.326	-17.328
84.2098	-17.333	-17.338	-17.334	-17.335
84.7361	-17.346	-17.349	-17.346	-17.347
85.2624	-17.353	-17.361	-17.354	-17.356
85.7887	-17.361	-17.366	-17.362	-17.363
86.315	-17.365	-17.368	-17.365	-17.366
86.8413	-17.369	-17.377	-17.37	-17.372
87.3676	-17.374	-17.379	-17.375	-17.376
87.8939	-17.383	-17.386	-17.383	-17.384
88.4202	-17.384	-17.392	-17.385	-17.387
88.9465	-17.388	-17.393	-17.389	-17.39
90	-17.393	-17.396	-17.393	-17.394

Tabel A.2.3 Pengaruh Tekanan Dinamik Terhadap Rugi Daya Sensor 1

Tekanan dinamik (Pa)	Rugi Daya			Rata-rata
	1	2	3	
0	-18.616	-18.626	-18.61	-18.612
0.32	-18.615	-18.609	-18.62	-18.616
1.125	-18.619	-18.629	-18.613	-18.615
2.645	-18.618	-18.612	-18.623	-18.619
4.11845	-18.618	-18.628	-18.612	-18.614
4.6818	-18.62	-18.614	-18.625	-18.621
6.37245	-18.609	-18.619	-18.603	-18.605

Tabel A.2.3 Lanjutan

Tekanan dinamik (Pa)	Rugi Daya			Rata-rata
	1	2	3	
8	-18.575	-18.569	-18.58	-18.576

A.3. Data Pengujian Pengaruh Parameter-Parameter Fisis Terhadap Rugi Daya Sensor 2

Tabel A.3.1 Pengaruh Suhu Terhadap Rugi Daya Sensor 2

Suhu	Rugi Daya			Rata-rata
	1	2	3	
27	-14.186	-14.185	-14.185	-14.185
27.5	-14.146	-14.148	-14.149	-14.1484
28	-14.11	-14.111	-14.111	-14.11
28.5	-14.108	-14.108	-14.108	-14.1082
29	-14.105	-14.105	-14.104	-14.1049
29.5	-14.099	-14.099	-14.099	-14.0999
30	-14.093	-14.093	-14.093	-14.0934
30.5	-14.095	-14.095	-14.095	-14.0955
31	-14.101	-14.101	-14.101	-14.1008
31.5	-14.104	-14.104	-14.104	-14.1048
32	-14.11	-14.11	-14.11	-14.1106
32.5	-14.112	-14.112	-14.112	-14.1126
33	-14.114	-14.114	-14.114	-14.114
33.5	-14.115	-14.115	-14.115	-14.1154
34	-14.118	-14.118	-14.118	-14.1188
34.5	-14.122	-14.122	-14.122	-14.1224
35	-14.125	-14.125	-14.125	-14.1253
35.5	-14.126	-14.126	-14.126	-14.126
36	-14.13	-14.13	-14.13	-14.1265
36.5	-14.129	-14.129	-14.129	-14.129
37	-14.127	-14.127	-14.127	-14.1273

Tabel A.3.2 Pengaruh Kelembaban Terhadap Rugi Daya Sensor 2

Kelembanban (%)	Rugi Daya			Rata-Rata
	1	2	3	
60	-14.601	-14.615	-14.614	-14.61
61	-14.84	-14.827	-14.823	-14.83
61.4	-14.805	-14.794	-14.807	-14.802
62.5	-14.814	-14.817	-14.805	-14.812
62.8	-14.813	-14.821	-14.82	-14.818
63.1	-14.817	-14.831	-14.83	-14.826
63.5	-14.847	-14.834	-14.83	-14.837
63.8	-14.858	-14.847	-14.86	-14.855
64.5	-14.871	-14.874	-14.862	-14.869
64.7	-14.879	-14.887	-14.886	-14.884
65	-14.89	-14.904	-14.903	-14.899
65.7	-14.924	-14.911	-14.907	-14.914
66	-14.933	-14.922	-14.935	-14.93
66.8	-14.947	-14.95	-14.938	-14.945
67.5	-14.945	-14.953	-14.952	-14.95
67.8	-14.961	-14.975	-14.974	-14.97
68.3	-14.986	-14.973	-14.969	-14.976
68.9	-14.976	-14.965	-14.978	-14.973
69	-15.007	-15.01	-14.998	-15.005
69.8	-15.01	-15.018	-15.017	-15.015
70	-14.973	-14.987	-14.986	-14.982
70.6	-14.996	-14.983	-14.979	-14.986
71.2	-15.008	-14.997	-15.01	-15.005
73	-15.019	-15.022	-15.01	-15.017
74	-14.977	-14.985	-14.984	-14.982
74.3	-14.995	-15.009	-15.008	-15.004
75	-15.066	-15.053	-15.049	-15.056

Tabel A.3.2 Lanjutan

Kelembanban (%)	Rugi Daya			Rata-Rata
	1	2	3	
75.7	-15.18	-15.169	-15.182	-15.177
76.4	-15.625	-15.628	-15.616	-15.623
77.8	-15.889	-15.897	-15.896	-15.894
78	-15.931	-15.945	-15.944	-15.94
78.7	-15.98	-15.967	-15.963	-15.97
79	-16.003	-15.992	-16.005	-16
80	-16.028	-16.031	-16.019	-16.026
80.4	-16.047	-16.055	-16.054	-16.052
80.6	-16.075	-16.089	-16.088	-16.084
81	-16.123	-16.11	-16.106	-16.113
83	-16.142	-16.131	-16.144	-16.139
83.5	-16.161	-16.164	-16.152	-16.159
84.3	-16.176	-16.184	-16.183	-16.181
84.5	-16.197	-16.211	-16.21	-16.206
85	-16.246	-16.233	-16.229	-16.236
85.7	-16.268	-16.257	-16.27	-16.265
85.8	-16.293	-16.296	-16.284	-16.291
86.3	-16.317	-16.325	-16.324	-16.322
86.5	-16.334	-16.348	-16.347	-16.343
87	-16.379	-16.366	-16.362	-16.369
88	-16.392	-16.381	-16.394	-16.389
89	-16.459	-16.462	-16.45	-16.457
90	-16.491	-16.499	-16.498	-16.496

Tabel A.3.3 Pengaruh Tekanan Dinamik Terhadap Rugi Daya Sensor 2

Tekanan Dinamik (Pa)	Rugi Daya			Rata-Rata
	1	2	3	
0	-14.737	-14.75	-14.748	-14.745

Tabel A.3.3 Lanjutan

Tekanan Dinamik (Pa)	Rugi Daya			Rata-Rata
	1	2	3	
0.32	-14.751	-14.74	-14.741	-14.744
0.51005	-14.739	-14.755	-14.75	-14.748
1.125	-14.737	-14.75	-14.748	-14.745
1.62	-14.755	-14.744	-14.745	-14.748
3.0752	-14.737	-14.753	-14.748	-14.746
3.25125	-14.742	-14.755	-14.753	-14.75
3.5378	-14.76	-14.749	-14.75	-14.753
4.47005	-14.744	-14.76	-14.755	-14.753
5.21645	-14.748	-14.761	-14.759	-14.756
6.23045	-14.764	-14.753	-14.754	-14.757
7.9202	-14.751	-14.767	-14.762	-14.76
8	-14.778	-14.791	-14.789	-14.786

A.4. Data Pengujian Pengaruh Parameter-Parameter Fisis Terhadap Rugi Daya Sensor 3

Tabel A.4.1 Pengaruh Suhu Terhadap Rugi Daya Sensor 3

Suhu (˚C)	Rugi Daya			Rata-rata
	1	2	3	
27	-12.279	-12.284	-12.29	-12.2845
27.5	-12.04	-12.042	-12.045	-12.0436
28	-11.955	-11.955	-11.956	-11.9559
28.5	-11.841	-11.841	-11.841	-11.8401
29	-11.792	-11.793	-11.793	-11.7939
29.5	-11.743	-11.742	-11.743	-11.7432
30	-11.701	-11.702	-11.702	-11.7016
30.5	-11.665	-11.666	-11.667	-11.6667

Tabel A.4.1 Lanjutan

Suhu (˚C)	Rugi Daya			Rata-rata
	1	2	3	
31	-11.644	-11.643	-11.644	-11.6463
31.5	-11.626	-11.626	-11.626	-11.626
32	-11.614	-11.614	-11.614	-11.6141
32.5	-11.62	-11.62	-11.62	-11.6201
33	-11.608	-11.608	-11.608	-11.608
33.5	-11.589	-11.589	-11.589	-11.589
34	-11.567	-11.567	-11.567	-11.5675
34.5	-11.559	-11.559	-11.559	-11.5596
35	-11.551	-11.551	-11.551	-11.5518
35.5	-11.532	-11.532	-11.532	-11.5323
36	-11.516	-11.516	-11.516	-11.5168
36.5	-11.497	-11.496	-11.496	-11.4967
37	-11.482	-11.482	-11.482	-11.4828

Tabel A.4.2 Pengaruh Kelembaban Terhadap Rugi Daya Sensor 3

Kelembaban (%)	Rugi Daya			Rata-Rata
	1	2	3	
60	-16.329	-16.322	-16.33	-16.327
60.43	-16.324	-16.322	-16.335	-16.327
60.86	-16.324	-16.335	-16.325	-16.328
61.29	-16.327	-16.332	-16.328	-16.329
61.72	-16.333	-16.32	-16.334	-16.329
62.15	-16.322	-16.333	-16.335	-16.33
62.58	-16.326	-16.333	-16.334	-16.331
63.01	-16.333	-16.326	-16.334	-16.331
63. 44	-16.433	-16.431	-16.444	-16.436
63.87	-16.46	-16.471	-16.461	-16.464

Tabel A.4.2 Lanjutan

Kelembaban (%)	Rugi Daya			Rata-Rata
	1	2	3	
64.3	-16.522	-16.527	-16.523	-16.524
64.73	-16.605	-16.592	-16.606	-16.601
65.16	-16.643	-16.654	-16.656	-16.651
65.59	-16.653	-16.66	-16.661	-16.658
66.02	-16.665	-16.658	-16.666	-16.663
66.45	-16.647	-16.645	-16.658	-16.65
66.88	-16.655	-16.666	-16.656	-16.659
67.31	-16.655	-16.66	-16.656	-16.657
67.74	-16.681	-16.668	-16.682	-16.677
68.17	-16.679	-16.69	-16.692	-16.687
68.6	-16.697	-16.704	-16.705	-16.702
69.03	-16.718	-16.711	-16.719	-16.716
69.46	-16.713	-16.711	-16.724	-16.716
69.89	-16.711	-16.722	-16.712	-16.715
70.32	-16.712	-16.717	-16.713	-16.714
70.75	-16.705	-16.692	-16.706	-16.701
71.18	-16.686	-16.697	-16.699	-16.694
71.61	-16.691	-16.698	-16.699	-16.696
72.04	-16.698	-16.691	-16.699	-16.696
72.47	-16.687	-16.685	-16.698	-16.69
72.9	-16.681	-16.692	-16.682	-16.685
73.33	-16.679	-16.684	-16.68	-16.681
73.76	-16.681	-16.668	-16.682	-16.677
74.19	-16.665	-16.676	-16.678	-16.673
74.62	-16.664	-16.671	-16.672	-16.669
75.05	-16.668	-16.661	-16.669	-16.666
75.48	-16.656	-16.654	-16.667	-16.659

Tabel A.4.2 Lanjutan

Kelembaban (%)	Rugi Daya			Rata-Rata
	1	2	3	
75.91	-16.653	-16.664	-16.654	-16.657
76.34	-16.657	-16.662	-16.658	-16.659
76.77	-16.665	-16.652	-16.666	-16.661
77.2	-16.654	-16.665	-16.667	-16.662
77.63	-16.655	-16.662	-16.663	-16.66
78.06	-16.673	-16.666	-16.674	-16.671
78.49	-16.691	-16.689	-16.702	-16.694
78.92	-16.909	-16.92	-16.91	-16.913
79.35	-16.946	-16.951	-16.947	-16.948
79.78	-16.985	-16.972	-16.986	-16.981
80.21	-17.003	-17.014	-17.016	-17.011
80.64	-17.035	-17.042	-17.043	-17.04
81.07	-17.056	-17.049	-17.057	-17.054
81.5	-17.072	-17.07	-17.083	-17.075
81.93	-17.091	-17.102	-17.092	-17.095
82.36	-17.104	-17.109	-17.105	-17.106
82.79	-17.117	-17.104	-17.118	-17.113
83.22	-17.111	-17.122	-17.124	-17.119
83.65	-17.122	-17.129	-17.13	-17.127
84.08	-17.137	-17.13	-17.138	-17.135
84.51	-17.138	-17.136	-17.149	-17.141
84.94	-17.145	-17.156	-17.146	-17.149
85.37	-17.158	-17.163	-17.159	-17.16
85.8	-17.167	-17.154	-17.168	-17.163
86.23	-17.163	-17.174	-17.176	-17.171
86.66	-17.171	-17.178	-17.179	-17.176
87.09	-17.182	-17.175	-17.183	-17.18

Tabel A.4.2 Lanjutan

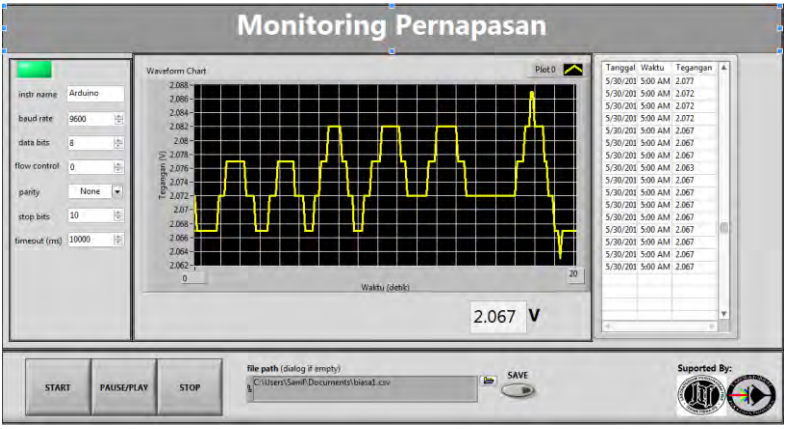
Kelembaban (%)	Rugi Daya			Rata-Rata
	1	2	3	
87.52	-17.179	-17.177	-17.19	-17.182
87.95	-17.185	-17.196	-17.186	-17.189
88.38	-17.19	-17.195	-17.191	-17.192
88.81	-17.2	-17.187	-17.201	-17.196
89.24	-17.192	-17.203	-17.205	-17.2
90	-17.201	-17.208	-17.209	-17.206

Tabel A.4.3 Pengaruh Tekanan Dinamik Terhadap Rugi Daya Sensor 3

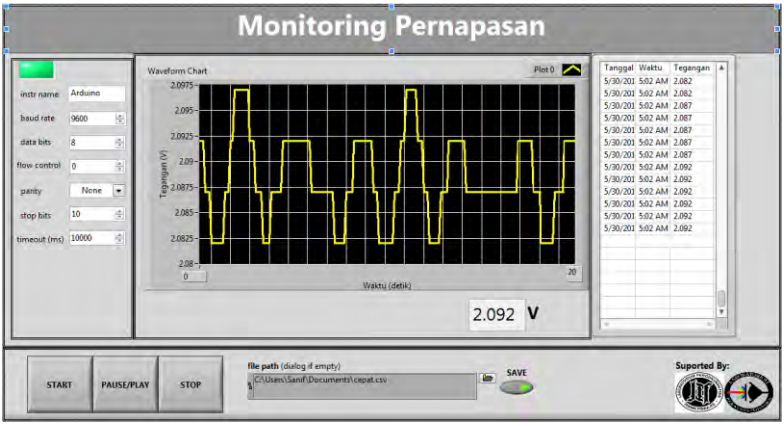
Tekana Dinamik()Pa)	Rugi Daya (dBm)			Rata-rata
	1	2	3	
0	-23.945	-23.938	-23.948	-23.949
0.32	-23.934	-23.931	-23.936	-23.935
0.85805	-23.948	-23.957	-23.945	-23.942
1.2168	-23.952	-23.945	-23.955	-23.956
1.60205	-23.95	-23.947	-23.952	-23.951
3.00125	-23.94	-23.949	-23.937	-23.934
3.8088	-24.025	-24.018	-24.028	-24.029
4.47005	-24.037	-24.034	-24.039	-24.038
5.02445	-24.022	-24.031	-24.019	-24.016
5.21645	-24.02	-24.027	-24.016	-24.017
5.7122	-23.98	-23.975	-23.982	-23.983
6.0552	-24.01	-24.019	-24.007	-24.004
6.51605	-24.077	-24.084	-24.073	-24.074
7.33445	-24.089	-24.084	-24.091	-24.092
7.9202	-24.233	-24.242	-24.23	-24.227
8	-24.337	-24.344	-24.333	-24.334

LAMPIRAN B

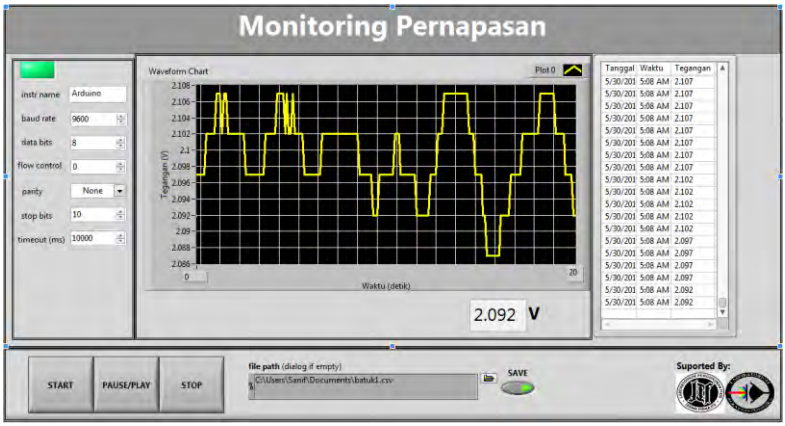
Hasil Monitoring Pernapasan



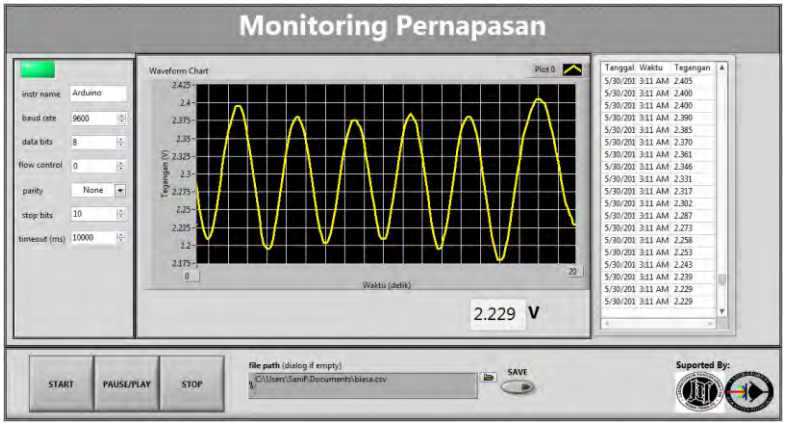
Gambar B.1. Hasil monitoring Sensor 1 untuk kasus pernapasan biasa



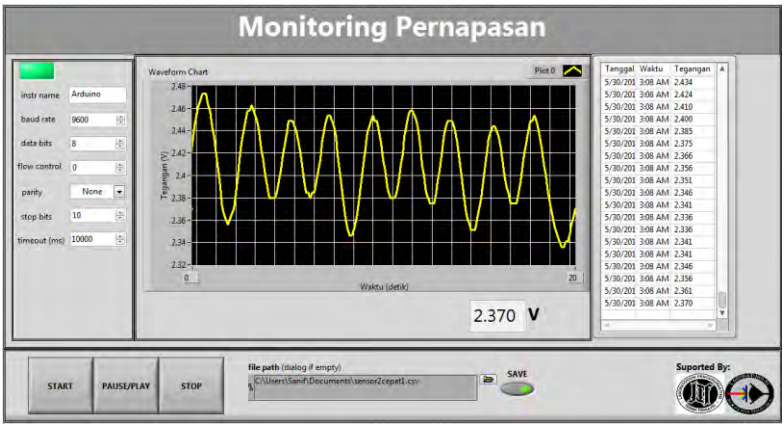
Gambar B.2. Hasil monitoring Sensor 1 untuk kasus kelelahan (setelah melakukan aktifitas lari ditempat selama 5 menit)



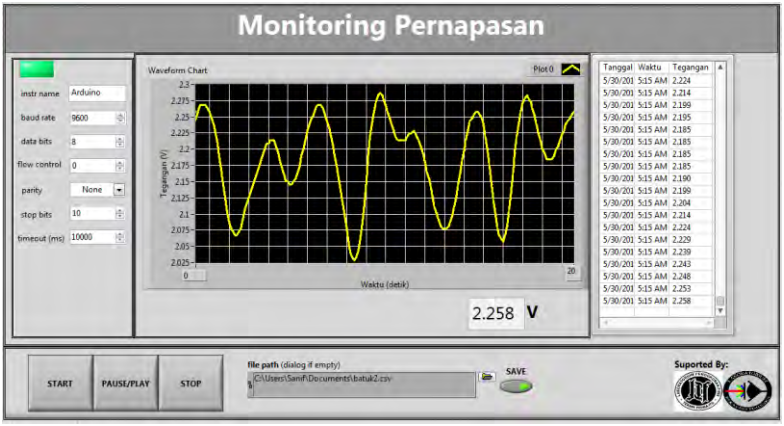
Gambar B.3. Hasil monitoring Sensor 1 untuk kasus pernapasan disertai batuk



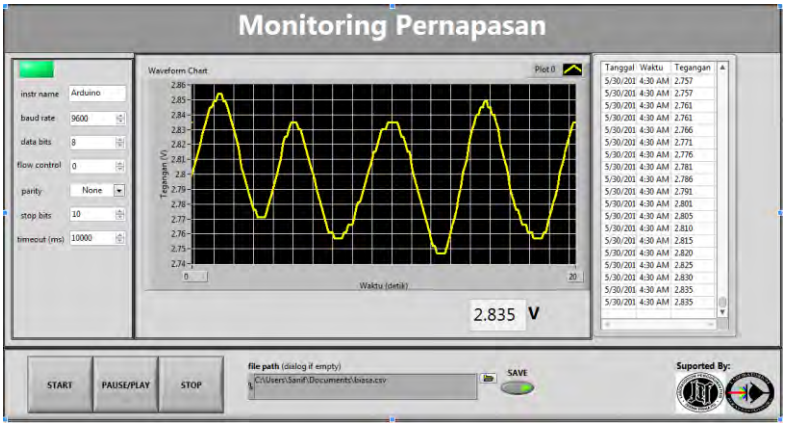
Gambar B.4. Hasil monitoring Sensor 2 untuk kasus pernapasan biasa



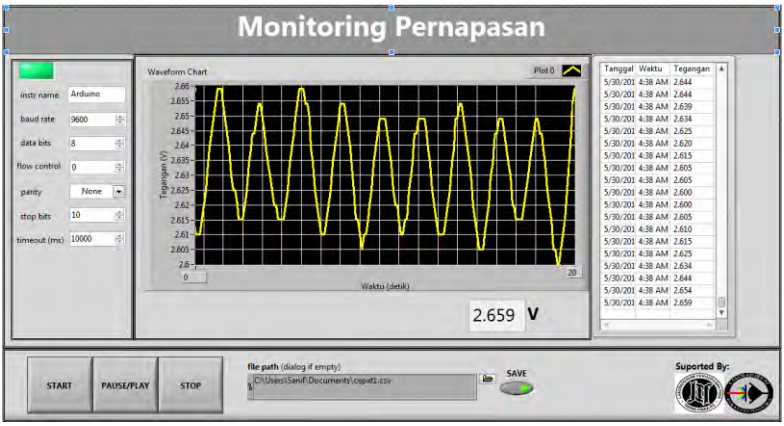
Gambar B.5. Hasil monitoring Sensor 2 untuk kasus kelelahan (setelah melakukan aktifitas lari ditempat selama 5 menit)



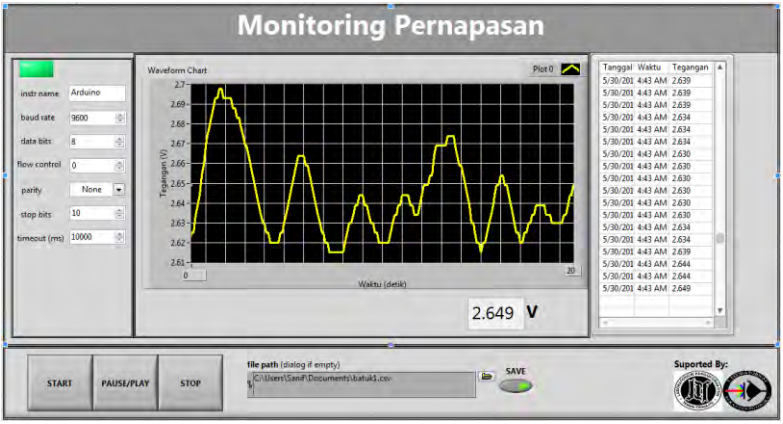
Gambar B.6. Hasil monitoring Sensor 2 untuk kasus pernapasan disertai batuk



Gambar B.7. Hasil monitoring Sensor 3 untuk kasus pernapasan biasa



Gambar B.5. Hasil monitoring Sensor 3 untuk kasus kelelahan (setelah melakukan aktifitas lari ditempat selama 5 menit)



Gambar B.6. Hasil monitoring Sensor 2 untuk kasus pernapasan disertai batuk

Halaman ini memang dikosongkan

LAMPIRAN C

Datasheet Alat Ukur

- **Termometer**

APPA 51 Thermometer

- K-type thermocouple
- Large LCD display (18.5 mm)
- 1°C or 0.1°C (1°F or 0.1°F) resolution
- 0.3%+1°C basic accuracy
- °C or °F display
- Maximum Record
- Reading hold function
- Standard 9V battery
- Protective holster
- Bead probe included

SPECIFICATIONS: (All at 18°C to 28°C, <80% R.H.)

		APPA 51	APPA 52	APPA 53	APPA 55
Measurement Range:	K-type, -50°C ~ 1300°C, -58°F ~ 1999°F	■	■		
	K-type, -200°C ~ 1370°C, -328°F ~ 2498°F			■	■
	J-type, -200°C ~ 760°C, -328°F ~ 1400°F			■	■
Resolution:	High: 0.1°C or 0.2°F, Low: 1°C or 1°F	■	■	■	■
Basic Accuracy:	±(0.3% + 1°C) at -50°C ~ 1000°C, ±(0.3% + 2°F) at -58°F ~ 1832°F	■	■		
	±(0.5% + 1°C) at 1000°C ~ 1300°C, ±(0.5% + 2°F) at 1832°F ~ 1999°F	■	■		
	±(0.1 % + 0.7°C) at -200°C ~ 1000°C, ±(0.1 % + 1.4°F) at -328°F ~ 10000°F			■	■
	±(0.3% + 1°C) at 1000°C ~ 1370°C, ±(0.3% + 2°F) at 1000°F ~ 2498°F)			■	■
	T1-T2 ±(0.1% of T1-T2 reding + 2°C), (+0.1% of T1-T2 reading + 4°F)		■ (0.3%)		■

- **RH Meter**

Specification					
Function	Model	FM-7903			
		Mesuring Range	Level Range	Accuracy	Resolution
Humidity		0% - 100%RH	0 - 20%RH	±4.0%	0.1
			20 - 40%RH	±3.0%	
			40 - 60%RH	±2.5%	
			60 - 80%RH	±3.0%	
			80 - 100%RH	±4.0%	
Temperature		-30 - 70°C -22 - 158°F	-30 - -10°C	±1.0°C	0.1°C/°F
			-22 - 14°C	±1.8°F	
			-10 - 70°C	±0.5°C	
			14 - 158°F	±0.9°F	
Operating Conditions		-30 - 60°C; <90%RH (Non-condensation)			
Storage Conditions		-30 - 60°C; <85%RH			
Dimension (L * W * H)		166 * 55 * 38mm			
Weight		159g			
Accessories		User's manual, 9V battery, photo detector, Blister card with clamshell			

- **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

Halaman ini memang dikosongkan

LAMPIRAN D

Pengambilan data Spirometer

Gambar D.1. Spirometer

Gambar D.2. Pengambilan data pernapasan

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 perancangan sistem monitoring pernapasan berbasis serat optik berstruktur SMS dengan panjang serat optik *multimode coreless* 22,30 mm, 37,25mm, dan 17,50 mm yang mampu mendeteksi sinyal pernapasan.
b. Sistem monitoring dengan menggunakan SMS dengan panjang serat optik *multimode coreless* 22,30 mm menghasilkan sensitivitas terbesar jika dibandingkan dengan menggunakan dua probe sensor lainnya. Dimana rata-rata perubahan keluaran sensor pada pernapasan biasa (ekspirasi dan inspirasi) untuk sensor ini sebesar 0.179 V, sedangkan sensor dengan panjang serat optik *multimode coreless* 37,25 mm sebesar 0,065 V, dan sensor dengan panjang seerat optik *multimode coreless* 17,50 mm sebesar 0,008 V.
c. Kelembaban relatif merupakan faktor paling dominan dalam proses pernapasan yang mempengaruhi sensitivitas sensor, yaitu sebesar 0.044%/dBm.
d. Sistem monitoring dengan menggunakan sensor SMS dengan panjang serat optik *multimode coreless* 22,30 mm mampu membedakan pernapasan biasa, cepat, dan pernapasan yang disertai batuk.
e. Sistem monitoring dengan menggunakan sensor SMS memilIki kinerja yang baik, karena dapat menunjukkan banyaknya pola pernapasan yang sama jika dibandingkan dengan spirometer.

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-paramter fisis diharapkan tidak terjadi pengaruh efek lingkungan yang dapat menggangu pengukuran. Maka diperlukan teknik-teknik pengukuran yang lebih baik.
d. Membandingkan sensor SMS dengan sensor konvensional yang berbasis pernapasan hidung

DAFTAR PUSTAKA

A.M. Hatta, Y. S. (2010). Analysis of temperature dependence for a ratiometric wavelength measurement system using SMS fiber structure based edge filters. *Optics Communications*, 1291-1295.

Bahaa E. A. Saleh, M. C. (1991). *Fundamental of Photonics.* New York: John Wiley & Sons, Inc.

Bentley, j. P. (2005). *Principles of Measurement Systems 4th Edition.* London: Prentice Hall.

Clancy, L. J. (1975). *Aerodynamics.* London: Pitman Publishing Limited.

Clara Mihaela Ionescu, R. D. (2008, Februari). Time Domain Validation of a Fractional Order Model for Human Respiratory System. *IEEE*, 89-95.

Daniel Malacara, B. J. (2001). *Handbook of Optical Engineering.* New York: Marcek Dekker, Inc.

E. R. McFadden, B. M. (1985). Thermal Mapping of The Airways in Humans. *The American Physiological Society*, 565-570.

Eric Widmainer, H. R. (2001). Respiration. Dalam H. R. Eric Widmainer, *Human Physiology: The Mechanism of Body* (hal. 463-504). New York, Amerika: The McGraw-Hill.

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.

Ian Smith, J. M. (2011). Respiratory Rate Measurement: A Comparison of Methods. *British Journal of Healthcare Assitants*, 18.

Jiali An, Y. J. (2014). Realative Humidity Sensor Based on SMS Fiber Structure With Two Waist-Enlarged Tapers. *IEEE SENSORS*, 2683-2686.

Jiali An, Y. J. (2014, August). Relative Humudity Sensor Based on SMS Fiber Structure With Two Waist-Enlarged. *IEEE Sensors Journal, 14*, 2683-2686.

Jones, F. E. (1981, January-February). The Refractivity of Air. *Journal of Research of National Bureau of Standards, 86*, 27-32.

Marek Krehel, M. S.-L. (2014, July). An Optical Fibre-Based Sensor for Respiratory Monitoring. *ISSN 1424-8220*, hal. 13088-13101.

Masuyaki Morisawa, S. M. (2004, Februari). A Novel Breathing Condition Sensor Using Plastic Optical Fiber. *IEEE*, 1277.

Michelle A Cretikos, R. B. (2008). Respiratory Rate: The Neglected Vital Sign. *MJA*, 657-659.

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.

Odell, M. (2010). *Are early Warning Scores The Only Way to Rapidly Detrect and Mange Deterioration?* Birmingham: Nursing Times.

Owens, J. C. (1967, Januari). Optical Refractive Index of Air: Dependence on Pressure, Temperature and Composition. *APPLIED OPTICS, 6*, 51-59.

Pritchard, P. J. (2011). *Introducing To Fluid Mechanics Eighth Edition*. John Wiley & Sons, Inc.

Qian Wang, G. F. (2008, Maret). Investigation on Single-Mode-*Multimode*-Single-Mode Fiber Structure. *Lightwave Technology, 26*, 512-519.

Qiang Wu, Y. S. (2010). Bent SMS Fiber Structure for Temperature Measurement. *Electronics Letters*.

Qiang Wu, Y. S. (2010, January). Bent SMS Fiber Structure for Temprature Measurement. *Electronics Letters, 46*.

Shizhuo Yin, P. B. (2008). *Fiber Optic Sensors*. Boca Raton: CRC Press.

Tu J., I. K. (2013). The Human Respiratory System. Dalam I. K. Tu J., *Computational Fluid and Particle Dynamics In The Human* (hal. 19-44). Springer.

Wayan Suana, M. S. (2012). Pengembangan Sensor Napas Berbasis Serat Optik Plastik dengan Cladding Terkelupas untuk Aplikasi di Bidang Medis. *Fisika dan Aplikasinya*, 1-5.

Wook Jae Yoo, K. W.-Y. (2010, Desember). Development of Nasal-cavity and Abdomen-attached Fiber-optic Respiration Sensors. *Korean Physical Society, 57*, 1550.

Y. Liang, A. P. (2006, July). Fibre Bragg Grating Sensor for Respiratory Monitoring. *ACOFT/OAS*, 75.

Yang Li, Z. L. (2014). *Multimode* Interference Refractive Index Sensor Based on Coreless Fiber. *Photonics Sensors*, 21-27.

Yang Li, Z. L. (2014). *Multimode* Interference Refractive Index Sensor Based on Coreless Fiber. *Photonic Sensor, 4*, 21-27.

Halaman ini memang diksongkan

BIODATA PENULIS

Penulis Lahir pada tanggal 15 Januari 1993 di Bojonegoro, Jawa Timur. Penulis merupakan anak ketiga dari pernikahan Syahrul Udin dan Sri Sundari. Mulai mengenyam pendidikan di SDN 2 Duyungan, lulus pendidikan dasar pada tahun 2005. Penulis melanjutkan pendidikan ke SMPN 1 Balen dan lulus pada tahun 2008. Pada tahun yang sama penulis melanjutkan pendidikan ke SMAN 1 Sumberrejo. Pada tahun 2011 penulis lulus pendidikan SMA dan setahun kemudian tepatnya tahun 2012 penulis melanjutkan pendidikannya ke Jurusan Teknik Fisika – FTI-Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Penulis memilki hobi olahraga dan bermain music. Selama kuliah penulis aktif sebagai anggota Laboratorium Pengukuran Fisis Jurusan Teknik Fisika ITS.