

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

Sanif Syafrani ^{a)}, A.M. Hatta ^{b)}, Apriani Kusumawardhani ^{c)}

Jurusan Teknik Fisika, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)
Kampus ITS Keputih-Sukolilo Surabaya 60111

E-mail: sanif.syafrani@gmail.com ^{a)}, amhatta@ep.its.ac.id ^{b)}, aprianitf@gmail.com ^{c)}

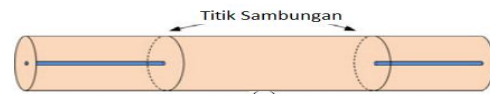
Abstrak— Pernapasan merupakan salah satu tanda vital yang harus dipantau pada seorang pasien selain denyut nadi, detak jantung, suhu tubuh, dan tekanan darah, karena dapat mengindikasikan adanya suatu kelainan pada tubuh pasien. Dalam penelitian ini telah dilakukan rancang bangun sistem monitoring pernapasan 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 penalaran 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 stepindeks, indeks bias, dan kelembaban.

I. PENDAHULUAN

Tingkat pernapasan merupakan salah satu dari tanda vital yang digunakan untuk memantau keadaan pasien setiap hari selain denyut nadi, tekanan darah, dan suhu [1]. 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 [2]. 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 [2].

Serat optik yang sekarang banyak dikembangkan sebagai aplikasi sensor karena memiliki fenomena *multimode interference* adalah berstruktur Singlemode-Multimode-Singlemode (SMS), SMS sendiri adalah susunan serat optik yang terdiri dari dua buah singlemode yang identik yang kedua ujung dari singlemode tersebut disambungkan ke serat optik multimode. Secara umum gambaran serat optik tersebut dapat dilihat pada gambar 1.



Gambar 1. Serat optik singlemode-multimode coreless(step-index)-singlemode (SMS)

Pada penelitian ini multimode yang dipergunakan adalah *multimode coreless* dimana udara disekelilingnya akan menjadi indeks bias kulit. Fenomena ini dapat dimanfaatkan untuk mengetahui pengaruh perubahan indeks bias udara pernapasan terhadap perubahan suhu, kelembaban relatif, dan tekanan pada proses ekspirasi dan inspirasi. Perubahan suhu anantara 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. Kemudian Perubahan kelembaban terjadi karena kelembaban udara ekspirasi lebih tinggi dari pada udara inspirasi kerana alveolus memiliki permukaan yang lebih lembab dari udara inspirasi yang berasal dari lingkungan eksternal. 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 [3].

Adapun pengaruh yang menyebabkan perubahan indeks bias udara pernapasan berdasarkan persamaan Edlen yang memperhatikan parameter lingkungan adalah [4].

$$(n - 1) \times 10^8 = \left[8342,13 + \frac{2406030}{(130 - \sigma^2)} + \frac{15997}{(38.9 - \sigma^2)} \right] \times \left(\frac{P}{720,775} \right) \left[\frac{1 + P(0,817 - 0,01937) \times 10^{-4}}{1 + 0,00366107} \right] - f[5,722 - 0,0457\sigma^2] \quad (1)$$

Dengan n adalah indeks bias udara, σ adalah $1/\lambda_{vac}$. P adalah tekanan udara (torr), T adalah suhu ($^{\circ}C$), dan f adalah tekanan parsial uap air (torr) yang mewakili faktor kelembaban. Dapat dilihat dari persamaan 1, 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 indeks bias udara.

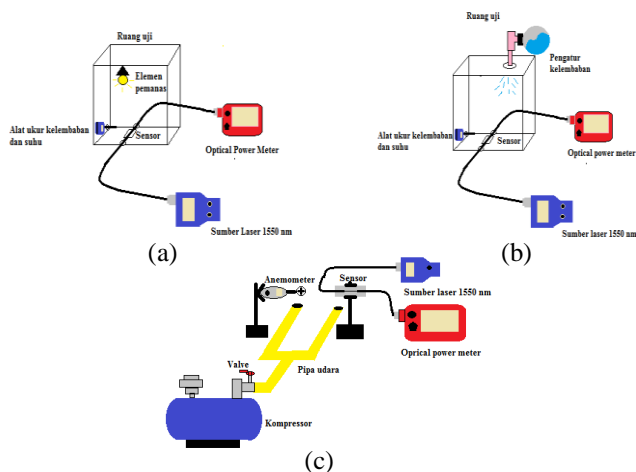
Prinsip kerja dari sensor SMS yang dalam penelitian ini adalah dengan memanfaatkan perubahan indeks bias udara pernapasan yang akan mempengaruhi keluaran daya dari sensor. Sesuai persamaan (2)

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

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*. 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 faktor tersebut dipengaruhi oleh nilai indeks bias udara kecuali panjang serat optik multimode *multimode coreless* [5].

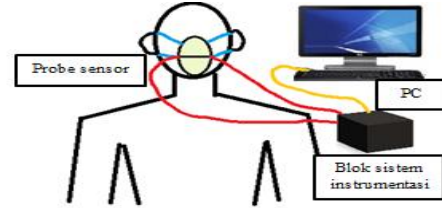
II. METODE PENELITIAN

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* sepanjang 37,25 mm. Untuk mengetahui pengaruh parameter fisis seperti suhu, kelembaban, dan tekanan dinamik maka dilakukan pengujian awal terhadap perubahan parameter-parameter tersebut dalam rentang udara pernapasan manusia. Pengukuran suhu dilakukan dengan menggunakan sensor termokopel, pengukuran kelembaban menggunakan SHT11, dan pengukuran tekanan dinamik diukur dengan anemometer yang kemudian akan dikonversi ke nilai tekanan dinamik menggunakan persamaan energy kinetik. Pengujian awal ini menggunakan sumber laser 1550 nm dengan *optical laser source* dan *optical power meter* untuk mengetahui hasil keluaran sensor. Gambar 2. berikut ini adalah gambaran eksperimen yang dilakukan.



Gambar 2. (a) Setup uji terhadap pengaruh suhu, (b) Setup uji terhadap pengaruh kelembaban, (c) Setup uji terhadap pengaruh tekanan dinamik.

Pengujian sensor untuk mendeteksi pernapasan dilakukan dengan membuat suatu sistem monitoring yang memiliki keluaran tegangan. Pengujian 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 dalam kondisi kelelahan setelah melakukan aktivitas fisik, yaitu lari selama 5 menit. Gambar 3. merupakan *setup* sistem monitoring yang telah dibuat.

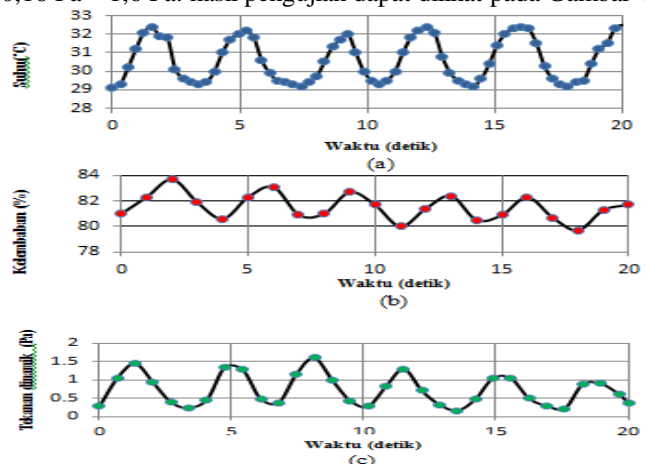


Gambar 3. *Setup* monitoring pernapasan berbasis serat optik berstruktur singlemode-multimode coreless(step-index)-singlemode (SMS)

III. HASIL PENGUJIAN

A. Karakterisasi udara pernapasan dan pengaruh suhu, kelembaban, dan tekanan dinamik terhadap daya keluaran sensor

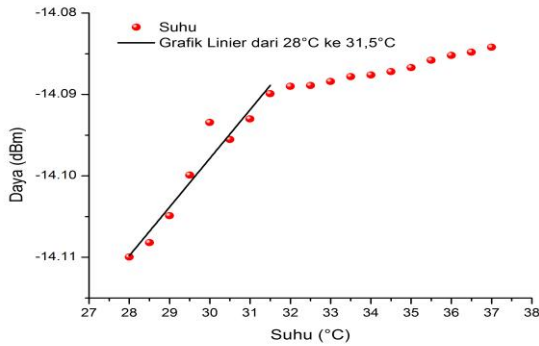
Untuk melakukan pengujian awal terhadap pengaruh parameter-parameter fisis maka perlu ditentukan karakteristik udara pernapasan sehingga diketahui rentang ukur pengujian dari masing-masing parameter. Dengan melakukan pengukuran secara langsung terhadap udara pernapasan biasa selama 20 detik didapat bahwa perubahan suhu dalam proses ekspirasi dan inspirasi adalah 29,1°C – 32,5 °C, kemudian perubahan kelembaban antara 79,7 % - 83,7%, dan tekanan dinamik antara 0,16 Pa – 1,6 Pa. hasil pengujian dapat dilihat pada Gambar 4.



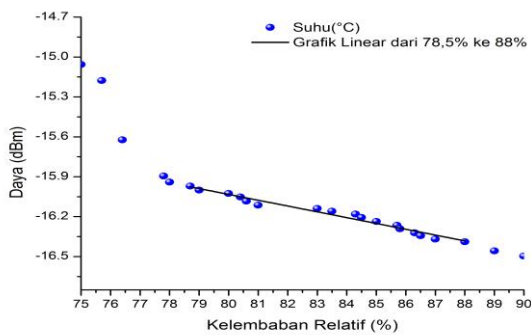
Gambar 4. Hasil pengukuran parameter fisis pernapasan (a) Suhu (b) kelembaban relatif (c) tekanan dinamik

Hasil pengujian awal terhadap pengaruh parameter-parameter fisis dapat dilihat pada Tabel 1. Sensitivitas hasil pengujian ini didapat dengan cara melakukan pendekatan persamaan polynomial terhadap grafik hasil pengujian masing-masing sensor terhadap perubahan-perubahan parameter fisis sesuai rentang udara pernapasan normal. Gambar 5. Menunjukkan respon Sensor 2 terhadap perubahan parameter udara

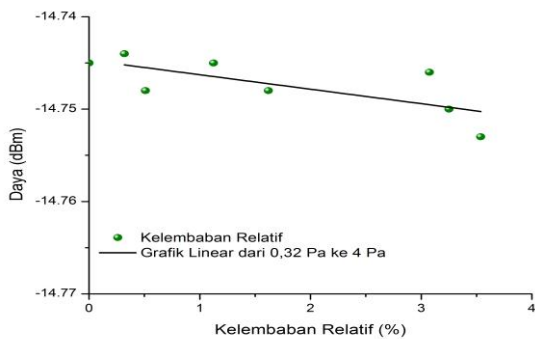
pernapasan. Ketika suhu naik maka indeks bias udara naik, ketika kelembaban naik maka indeks bias udara turun sesuai persamaan (1). Ketika indeks bias udara berubah maka indeks bias efektif dari *multimode coreless* juga akan berubah, perubahan ini juga akan mengakibatkan nilai konstanta propagasi mengalami perubahan sehingga daya keluaran juga mengalami perubahan sesuai persamaan (2).



(a)



(b)



(c)

Gambar 5. Grafik pengaruh (a) suhu, (b) kelembaban, dan (c) tekanan dinamik terhadap daya keluaran Sensor 2.

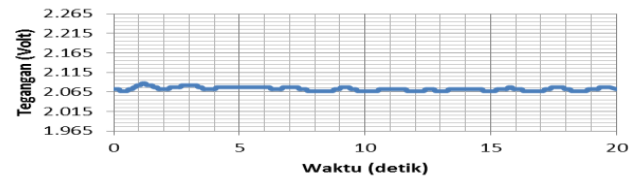
Pengaruh tekanan dinamik pernapasan pada rentang 0.16 Pa – 1.6 Pa seharusnya tidak begitu mempengaruhi keluaran sensor. Pengaruh keluaran lebih dipengaruhi oleh faktor kelembaban karena pada tahap pengujian, kompresor yang dipergunakan mengeluarkan bintik air pada saat dipergunakan. Artinya belum dapat dipisahkan antara pengaruh tekanan dinamik dan kelembaban.

Tabel 1. Sensitivitas masing-masing sensor terhadap Suhu, kelembaban, dan tekanan dinamik pada rentang udara pernapasan normal.

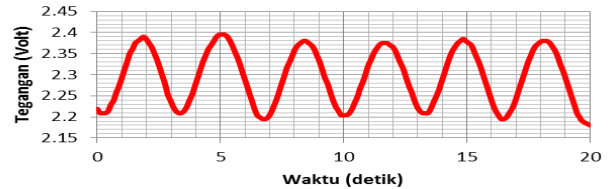
Sensor	Sensitivitas (dBm/ °C)	Sensitivitas (dBm/ %)	Sensitivitas (dBm/Pa)
Sensor 1	0,129	0,012	0,0007
Sensor 2	0,006	0,044	0,0015
Sensor 3	0,091	0,032	0,0018

B. Hasil Pengujian Pernapasan Biasa

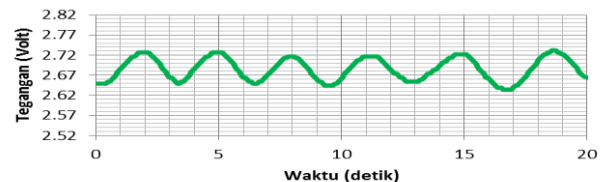
Pengambilan data dilakukan dengan merekam data selama 20 detik dan data keluaran grafik yang dihasilkan adalah data nilai tegangan terhadap waktu. Dari grafik tersebut dapat diketahui kemampuan sensor dalam mendeteksi pola pernapasan. Pada pengujian sistem monitoring pernapasan normal ini Gambar 7. merupakan grafik hasil monitoring pernapasan oleh Sensor 2, dapat dilihat bahwa Sensor 2 memiliki kemampuan untuk memonitoring pernapasan pada proses ekspirasi dan inspirasi. Hasil pola monitoring pernapasan yang sama juga ditunjukkan oleh Gambar 4.19 yaitu Sensor 3, dimana mampu untuk memantau pernapasan pada proses ekspirasi dan inspirasi. Proses ekspirasi direpresentasikan oleh puncak sinyal hasil monitoring dan proses inspirasi direpresentasikan oleh lembah. Sedangkan pada Gambar 6 menunjukan kemampuan Sensor 1 dalam memantau pernapasan, dan dapat dilihat bahwa Sensor 1 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 6. Hasil monitoring sinyal pernapasan untuk sensor 1



Gambar 7 Hasil monitoring sinyal pernapasan untuk sensor 2



Gambar 8. Hasil monitoring sinyal pernapasan untuk sensor 3

Pada penampilan grafik dengan rentang skala yang sama yaitu 0,3 V, terlihat Sensor 2 memiliki rentang keluaran output tegangan yang paling besar sehingga dapat diamati dengan jelas sinyal hasil monitoringnya. Untuk membandingkan hasil rentang output tegangan antara sensor tersebut maka dilakukan rata-rata tegangan pada puncak (proses ekspirasi) dan pada lembah

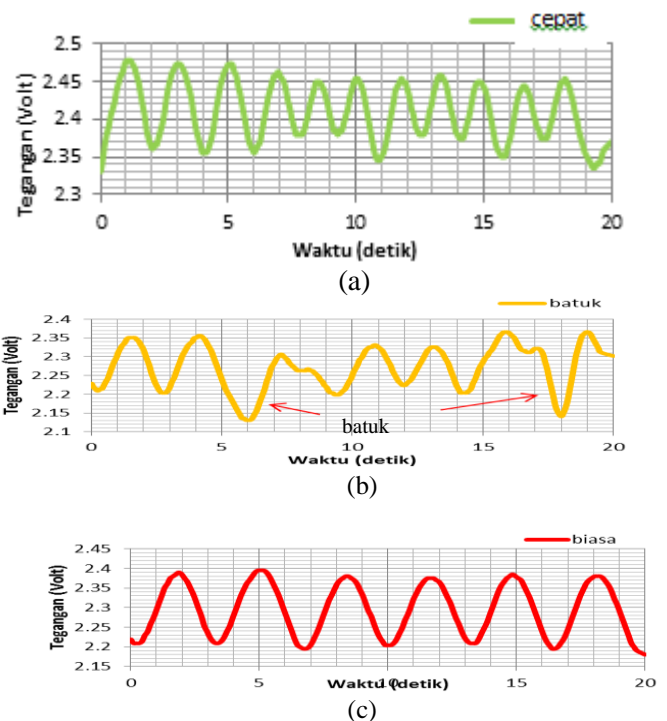
(proses inspirasi) dalam enam kali pernapasan. Sensor 2 memiliki rentang keluaran 0.179 V, Sensor 3 memiliki rentang keluaran 0,065 V, dan Sensor 1 memiliki rentang keluaran 0,008 V.

Dari hasil perbandingan rentang keluaran ini maka didapat Sensor 2 memiliki rentang keluaran terbesar sehingga dapat dengan jelas dilihat sinyal hasil monitoring pernapasan yang dilakukan. Yang menyebabkan 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 pernapasan, diman Sensor 2 memiliki kinerja terbaik diikuti Sensor 3 kemudian Sensor 1. Walaupun Sensor 1 memiliki sensitivitas terbesar dalam pengujian suhu yaitu 0.129 dBm/°C, namun dari hasil monitoring pernapasan memiliki kinerja terburuk. Hal tersebut mengindikasikan bahwa kelembaban relatiflah yang paling dominan mengalami perubahan dalam proses pernapasan.

C. Hasil pengujian pernapasan tidak biasa

Setelah diketahui kinerja masing-masing sensor dalam mendeteksi pernapasan, maka dilakukan pengujian untuk Sensor 2 dalam mendeteksi pernapasan tidak biasa, yaitu pernapasan yang disertai dengan batuk dan pernapasan cepat, yaitu keadaan setelah melakukan aktivitas fisik selama 5 menit. Antara Gambar 9(a) dan Gambar 9(c) terlihat bahwa pola pernapasan yang berbeda pada keadaan cepat dan pernapasan biasa. Pada durasi yang sama, keadaan cepat terjadi 11 kali napas dalam 20 detik, sedangkan dalam pernapasan biasa terjadi 6 napas dalam 20 detik. Dalam keadaan kelelahan orang akan cenderung bernapas lebih cepat karena membutuhkan oksigen yang lebih banyak dari keadaan normal.

Berikutnya adalah mendeteksi kemampuan sensor dalam mendeteksi pernapasan pernapasan disertai batuk. Pada Gambar 9(b) tampak bahwa ada sinyal yang mengalami penurunan amplitudo yang lebih besar dari sinyal rata-rata lainnya, yaitu ini terjadi pada detik ke-6 dan detik ke-18. Hal tersebut diakibatkan oleh batuk yang dilakukan oleh pasien. Pada saat terjadi batuk, maka akan terjadi perubahan kelembaban pada udara ekspirasi yang lebih besar dari pada udara ekspirasi pernapasan biasa. 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 sehingga menyebabkan sinyal pernapasan memiliki penurunan amplitudo. Dapat diamati bahwa batuk yang terjadi dalam durasi 20 detik adalah dua kali. Dengan demikian Sensor 2 mampu membedakan pernapasan biasa dan tidak biasa.



Gambar 9 Keluaran Sensor 2 untuk monitoring (a) pernapasan cepat, (b) pernapasan disertai dengan batuk, (c) pernapasan biasa

IV. KESIMPULAN

A. Kesimpulan

Berdasarkan analisa yang telah dipaparkan sebelumnya, maka dalam penelitian ini dapat disimpulkan beberapa hal. Pertama, telah dilakukan perancangan sistem monitoring pernapasan berbasis serat optik berstruktur SMS yang mampu mendeteksi sinyal pernapasan menggunakan Sensor 2 dengan panajang serat optik *multimode coreless* 22,30 mm dan Sensor 3 dengan panajang serat optik *multimode coreless* 37,25 mm. Selanjutnya Sistem monitoring dengan menggunakan Sensor 2 menghasilkan sensitivits terbesar jika dibandingkan dengan menggunakan dua probe sensor lainnya. Rata-rata perubahan keluaran sensor pada pernapasan biasa untuk Sensor 2 sebesar 0.179 V, Sensor 3 sebesar 0,065 V, dan Sensor 1 sebesar 0,008 V.

Adapun Kelembaban relatif merupakan faktor paling dominan dalam proses pernapasan yang mempengaruhi sensitivitas sensor, sebesar 0.044 dBm/%. Kemudian terakhir bahwa sistem monitoring dengan menggunakan Sensor 2 mampu membedakan pernapasan biasa, pernapasan cepat, dan pernapasan yang disertai batuk.

B. Saran

Dalam melakukan penelitian ini, terdapat beberapa hal yang perlu diperbaiki baik dari tinjauan teoritis maupun aplikatif, diantaranya adalah melakukan penyambungan dengan sebaik mungkin sehingga tidak terdapat rugi daya yang diakibatkan oleh kecacatan sambungan. kemudian lebih memperhatikan pengaruh efek lingkungan yang dapat menyebabkan kesalahan pengukuran

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Rinaldo Bello,o, Ken Hillman, Jack Chen, Simon Finfer, Arthas Flabouris, Michelle A. Cretikos, "Respiratory Rate: The Neglected Vitas Sign," MJA, pp. 657-659, 2008.
- [2] Paul B. Ruffin, Francis T.S Yu Shizhuo Yin, *Fiber Optic Sensors*, Boca Raton: CRC Press, 2008.
- [3] Melania Suweni Muntini, Agus Muhammad hatta, Wayan Suana, "Pengembangan Sensor Napas Berbasis Serat Optik Plasyil dengan Caldding Terkelupas untuk Aplikasi di Bidang Medis," Fisika dan Aplikasinya, pp. 1-5, 2012.
- [4] James C. Owens, "Optical Refractive Index of Air: Dependence on Pressure, Temperature and Composition," APPLIED OPTICS, vol. 6, pp. 51-59, Januari 1967.
- [5] Shuisheng JIAN, Zhibo LIU, and Yang LI. "Multimode Interference Refractive Index Sensor Based on Coreless Fiber," PHOTONICS SENSOR, Vol. 4, pp. 21-27, 2014