

# Rancang Bangun Sensor Kelembaman Udara menggunakan *Plastic Optical Fiber (POF)* dengan *cladding* $\text{TiO}_2\text{-SiO}_2$ dan Data Transmisi

Febrielvianti,<sup>1,\*</sup> Harmadi,<sup>1,†</sup> Dahyunir Dahlan,<sup>1</sup> dan Yetria Rilda<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Jurusan Fisika, FMIPA-Universitas Andalas Padang, Jl. Limau Manis, Padang, 25163

<sup>2</sup>Jurusan Kimia, FMIPA-Universitas Andalas Padang, Jl. Limau Manis, Padang, 25163

## Intisari

Serat optik merupakan media transmisi berupa kabel yang terbuat dari kaca atau plastik digunakan untuk mentransmisikan sinyal cahaya dari satu titik ke titik lainnya. Prinsip kerja serat optik memanfaatkan prinsip pemantulan sempurna dengan memanfaatkan perbedaan indeks bias antara *core* dan *cladding*. Serat optik dapat dijadikan sensor dengan menggunakan sistem instrumentasi yang terdiri dari input, proses, dan output. Input atau masukan menggunakan laser dioda, dimana spektrumnya sangat sempit sehingga cocok dijadikan sumber. Proses pentransmisi data menggunakan serat optik sebagai pandu gelombang. Perekaman data transmisi kelembaman udara menggunakan Arduino Uno dan Ethernet Shield. Output dihasilkan berupa tegangan keluaran yang di tampilkan pada LCD atau PC. Panjang pengupasan terbaik yaitu 2 cm dengan lapisan  $\text{TiO}_2\text{-SiO}_2$  sebagai pengganti *cladding*, dimana menunjukkan nilai  $R^2 = 0,982$ . Rata-rata error yang diperoleh dari rancangan alat kelembaman udara sebesar 3,06%. Hal ini menunjukkan ketidak sesuaian antara pembacaan alat yang dirancang dengan alat ukur standarnya, karena sensor yang dirancang tersebut masih sangat rentan terhadap kesalahan sistematis.

## Abstract

The optical fiber is a transmission medium in the form of a cable made of glass or plastic used to transmit light signals from one point to another. The working principle of optical fibers utilizes the principle of perfect reflection by utilizing the refractive index difference between the core and cladding. The optical fiber can be used as a sensor by using an instrumentation system consisting of input, process, and output. Input or input uses a diode laser, where the spectrum is very narrow so it is suitable to be used as a source. The data transmission process uses optical fiber as a waveguide. Data recording transmits humidity using Arduino Uno and Ethernet Shield. The output is in the form of output voltage displayed on the LCD or PC. The best stripping length is 2 cm with  $\text{TiO}_2\text{-SiO}_2$  coating as a substitute for cladding, which shows the value of  $R^2 = 0.982$ . The average error obtained from the design of air humidity devices was 3.06%. This shows the incompatibility between reading a tool designed with a standard measuring instrument because the sensor designed is still very vulnerable to systematic errors.

Keywords: optical fiber;  $\text{TiO}_2\text{-SiO}_2$ ; instrumentation system; air humidity

<http://dx.doi.org/10.12962/j24604682.v15i1.4358>

2460-4682 ©Departemen Fisika, Fakultas Sains-ITS

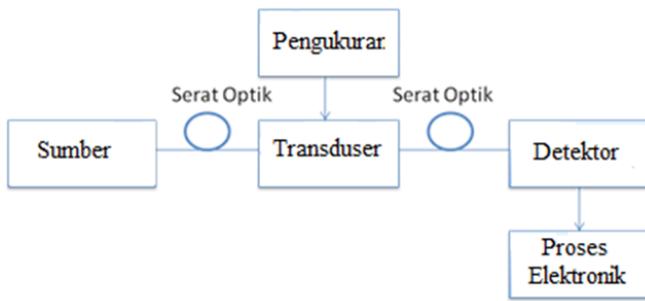
## I. PENDAHULUAN

Kabel serat optik adalah sebuah kabel yang berbahan kaca atau plastik murni yang mempunyai kecepatan transfer data yang lebih cepat dari pada kabel konvensional (kabel biasa). Serat optik biasanya digunakan pada jaringan-jaringan yang membutuhkan sinyal-sinyal transfer data yang lebih kencang dan cepat seperti untuk kebutuhan internet, LAN, WAN

dan MAN. Karena memberikan dampak yang lebih pada kecepatan dan bandwidth. Serat optik ini menggunakan cahaya dari laser dioda merah sebagai sumber untuk mentransfer data yang dilewatinya. Prinsip kerja dari serat optik ini memanfaatkan prinsip pemantulan sempurna dengan memanfaatkan perbedaan indeks bias antara *core* dan *cladding*. Serat optik juga dapat dijadikan sensor dengan menggunakan sistem instrumentasi. Salah satu sensor yang ingin dikembangkan menggunakan serat optik adalah sensor kelembaman udara. Serat optik yang digunakan untuk sensor kelembaman udara berjenis plastik, serat optik plastik telah banyak digunakan dalam aplikasi pengindraan optik karena fleksibilitas, ketahanan terhadap dampak dan getaran, kebal terhadap interferensi

\*Electronic address: [fheby.febrielvianti@gmail.com](mailto:fheby.febrielvianti@gmail.com)

†Electronic address: [harmadimsi@gmail.com](mailto:harmadimsi@gmail.com)



Gambar 1: Skema sistem sensor serat optik.

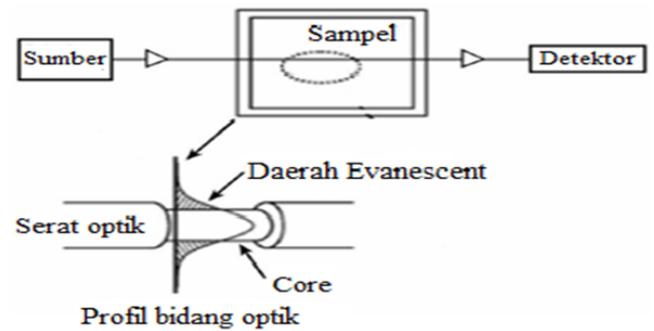
elektromagnetik, dan kopling cahaya yang sangat baik dari sumber cahaya ke serat optik [1, 2].

Sensor *plastic optical fiber* (POF) digunakan untuk mendeteksi tekanan, suhu, dan kelembaban [3, 4]. Kelembaban merupakan sesuatu yang sangat umum dan terus berubah sesuai keadaan lingkungan, pengukuran dan pengendalian kelembaban yang diperlukan dalam berbagai area seperti ruangan ber-AC, pemantauan kesehatan struktural, jasa meteorologi, industri pengolahan kimia dan makanan, kertas dan produksi tekstil, proses pembuatan semikonduktor [3].

Sensor kelembaban menggunakan serat optik sebagai pandu gelombang mempunyai beberapa kelebihan seperti daya tahan, desain miniatur, kemungkinan dapat bekerja di lingkungan yang mudah terbakar pada suhu dan rentang tekanan yang tinggi, dan kekekalan elektromagnetik [5, 6]. Oleh sebab itu pemilihan serat optik sebagai pandu gelombang untuk sensor kelembaban sangat tepat dan bahan  $\text{TiO}_2\text{-SiO}_2$  digunakan sebagai bahan pengganti *cladding*. Penggunaan serat optik polimer dan bahan  $\text{TiO}_2\text{-SiO}_2$  inilah yang menjadi keunggulannya.  $\text{TiO}_2\text{-SiO}_2$  dipilih sebagai pengganti *cladding* dari serat optik tipe FD 620 10, karena jika  $\text{TiO}_2$  dan  $\text{SiO}_2$  dikomposit maka akan tercipta sifat unggul yang baik sebagai penyerap air dengan menggunakan serat optik berbahan polimer.

Penggunaan POF sebagai pandu gelombang juga mempunyai keunggulan dalam proses fabrikasi relatif mudah dan dapat digunakan pada suhu rendah, sifat bias rangkap rendah, dan kekuatan mekaniknya bagus [7, 8]. Biaya produksi pun menjadi lebih murah dan mudah di temukan, selain itu bahan yang digunakan sebagai pengganti *cladding* pun mudah didapat dan murah. Hal tersebut membuat rancangan alat sensor kelembaban ini lebih unggul.

Beberapa peneliti telah melakukan penelitian tentang sensor kelembaban menggunakan serat optik dengan mengganti *cladding* aslinya dengan bahan-bahan yang memiliki sifat hidrofilik. Maddu dkk melakukan karakterisasi terhadap sensor serat optik dengan mengganti *cladding* asli menggunakan lapisan gelatin. Hasil menunjukkan bahwa probe sensor kelembaban serat optik dapat merespon kelembaban dari 42% RH hingga 99% RH dengan respon terbaik pada rentang kelembaban 60%RH hingga 72%RH dengan panjang pengupasan 3 cm [9]. Zhang dkk juga menguji respon film gelatin sebagai sensor kelembaban dan didapatkan bahwa rentang penginderaan yang besar yaitu 9-94% RH dengan waktu re-



Gambar 2: Sistem sensor serat optik evanescent.

pon sekitar 70 ms dan memiliki sensitivitas yang baik dengan variasi pengupasan 1,8 cm [10].

Berdasarkan uraian di atas, penelitian untuk aplikasi alat ukur kelembaban udara berbasis mikrokontroler ATmega328 menggunakan serat optik dengan *cladding* yang diganti lapisan  $\text{TiO}_2\text{-SiO}_2$ . Hasil pengukuran yang berupa sinyal analog akan dirubah menjadi sinyal digital oleh arduino UNO yang didalamnya terdapat mikrokontroler ATmega328 dan ADC (*Analog to Digital Converter*) internal lalu ditampilkan pada LCD (*Liquid Crystal Display*) atau PC, penransmisi data menggunakan *ethernet shield*.

## II. METODOLOGI

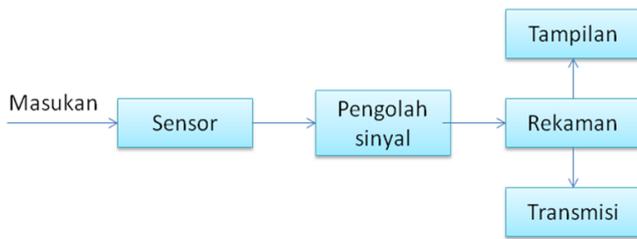
Sistem sensor serat optik pada mekanismenya memodulasi gelombang cahaya dari suatu sumber seperti LED, laser dioda atau yang lainnya. Skema sistem sensor serat optik seperti terlihat pada Gambar 1.

Sumber cahaya yang di pancarkan pada salah satu ujung serat optik menuju daerah transduser atau modulasi cahaya, kemudian di teruskan ke ujung lain serat optik dimana terdapat detektor cahaya. Keluaran dari detektor akan ditampilkan melalui penampil elektronik seperti LCD atau PC [11]. Berdasarkan kondisi tempat proses modulasinya, sistem sensor serat optik dibedakan atas sensor intrinsik dan sensor ekstrinsik, tetapi dalam penelitian ini sistem sensor yang digunakan adalah sistem sensor *evanescent*.

Sistem sensor *evanescent* adalah sensor yang memandu cahaya ke lingkungan luar akibat *cladding* serat optik dilepas, jika cahaya dipandu ke lingkungan luar, maka akan terjadi rugi akibat pelemahan intensitas. Efek pelemahan intensitas inilah yang dimanfaatkan untuk melakukan sensing lingkungan luar. *Cladding* bisa dilepas sehingga inti langsung berinteraksi dengan lingkungan luar dan secara otomatis fungsi indeks bias *cladding* digantikan oleh indeks bias udara [12]. Penelitian ini menggunakan  $\text{TiO}_2\text{-SiO}_2$  sebagai pengganti *cladding* pada serat optik. Sistem sensor serat optik *evanescent* dapat dilihat pada Gambar 2 [11].

### Sistem instrumentasi

Sistem instrumentasi terdiri dari sejumlah komponen yang



Gambar 3: Diagram blok sistem instrumentasi.

secara bersama-sama digunakan untuk melakukan suatu pengukuran dan pengontrolan. Elemen-elemen sistem instrumentasi ditunjukkan oleh Gambar 3.

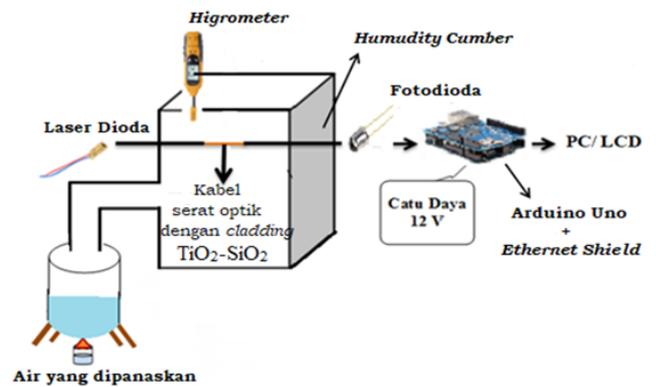
Masukan sensor diterima berupa sinyal atau rangsangan. Rangsangan akan memberikan besaran fisis terhadap sensor, kemudian sensor yang menerima rangsangan berupa besaran fisis akan mengubahnya menjadi sinyal listrik. Sinyal dari besaran fisis perlu dikondisikan terlebih dahulu oleh pengkondisi sinyal sebelum diproses lebih lanjut. Jika pemrosesan sinyal dilakukan secara digital maka sinyal listrik yang umumnya bertipe analog ini harus diubah dulu ke bentuk digital dengan menggunakan ADC (*Analog Digital Converter*) sebelum diproses oleh mikrokontroler. Tampilan merupakan keluaran sistem instrumentasi untuk menampilkan sinyal yang telah diproses [13].

### Perancangan skematik bentuk fisik alat keseluruhan

Sistem pengukuran kelembaban menggunakan sistem sensor serat optik dengan metode *evanescent*. Serat optik melakukan penginderaan dengan cara memodifikasi *cladding* serat optik, yaitu dengan cara mengupas *cladding* asli serat optik dan melapisinya dengan  $\text{TiO}_2\text{-SiO}_2$  sebagai pengganti *cladding*.

Variasi pengupasan dibuat dalam penelitian ini untuk mengetahui pada panjang pengupasan mana tingkat sensitivitas yang lebih baik. Maddu dkk. mengupas *cladding* sepanjang 3 cm dan Zhang dkk mengupasnya sepanjang 1,8 cm, maka pada penelitian ini akan dilakukan variasi panjang pengelupasan *cladding* sebesar 1 cm, 2 cm, 3 cm, 4 cm, dan 5 cm [9, 10]. Berdasarkan karakterisasi yang telah dilakukan dari 5 variasi panjang pengupasan, hasil terbaik yang diperoleh berada pada panjang pengupasan 2 cm. Oleh sebab itu panjang 2 cm digunakan sebagai panjang pengupasan yang digunakan pada alat ukur yang di rancang. Lapisan  $\text{TiO}_2\text{-SiO}_2$  sebagai pengganti *cladding* menggunakan takaran perbandingan 1:2. Penelitian yang telah dilakukan tersebut hanya sebatas pembuatan dan karakterisasi sensor maka selanjutnya sensor tersebut akan digunakan pada alat ukur yang dirancang.

Secara keseluruhan desain alat ukur kelembaban udara dapat dilihat pada Gambar 4. Alat ukur kelembaban dirancang dengan sensor serat optik sebagai pengindra. Sensor serat optik dikarakterisasi dengan melihat tegangan keluaran. Pertama, uap air dialirkan kedalam *humidity chamber* dan dideteksi oleh serat optik tanpa *cladding*  $\text{TiO}_2\text{-SiO}_2$ , kemudian tegangan keluarannya diukur dengan multimeter digital. Jenis kabel serat optik yang digunakan adalah FD 620-10. Sumber tegangan sistem yang terdiri dari laser dioda, fotodiode,



Gambar 4: Bentuk fisik alat ukur sensor kelembaban udara keseluruhan.

dan LCD memanfaatkan catu daya +5 volt teregulasi dari mikrokontroler Arduino Uno.

Cahaya yang berasal dari laser dioda akan melalui serat optik menuju *humidity chamber* yang didalamnya juga terdapat *humidity meter*, sedangkan pandu gelombang cahaya akan terjadi didalam inti serat optik. Serat optik disinari oleh sumber cahaya, yaitu laser dioda. Cahaya yang menjalar tersebut dalam serat optik akan dideteksi oleh fotodiode, sehingga menghasilkan nilai keluaran. Nilai keluaran dari fotodiode berupa tegangan yang dikirim ke mikrokontroler arduino Uno dan dirubah kebentuk desimal oleh ADC internal. Data akan diproses oleh mikrokontroler Arduino Uno sesuai dengan program yang dirancang. Penransmisi data dilakukan menggunakan ethernet shield yang tersambung dengan internet. Hasil kelembaban relatif dapat ditampilkan pada LCD/ PC. Alat ukur yang dirancang dibandingkan dengan alat ukur standar kelembaban udara (*hygrometer*). Temperatur air dicatat dan dianalisis pengaruhnya terhadap kelembaban udara.

Sistem pengukuran yang dilakukan memerlukan teknik analisis data untuk mengetahui tingkat ketepatan dan kesalahan dalam sistem pengukurannya. Besarnya persentase kesalahan dapat ditentukan dari Persamaan (1).

$$e_n = \frac{Y_n - Y_o}{Y_n} \times 100\% \quad (1)$$

dengan  $e_n$  adalah persentase kesalahan,  $Y_n$  adalah nilai sebenarnya, dan  $Y_o$  adalah nilai yang terbaca pada alat ukur.

### III. HASIL DAN DISKUSI

#### Karakterisasi sensor serat optik

Karakterisasi sensor serat optik yaitu membandingkan keluaran dari serat optik yang disinari laser dioda dengan panjang pengupasan serat optik. Variabel yang dibandingkan adalah tegangan keluaran serat optik dengan *cladding* asli yaitu *cladding* bawaan dari serat optik tipe FD 620 10, *cladding* udara, dan *cladding* yang telah dilapisi  $\text{TiO}_2\text{-SiO}_2$  pada

TABEL I: Karakterisasi sensor serat optik.

Panjang pengupasan (cm)	Tegangan <i>cladding</i> udara	Tegangan <i>cladding</i> TiO <sub>2</sub> -SiO <sub>2</sub>	keluaran (volt) kelembaban udara (86-100°C)
1	3,71	3,92	4,10
2	3,80	4,01	4,25
3	4,00	4,24	4,49
4	4,15	4,41	4,50
5	4,35	4,47	4,54

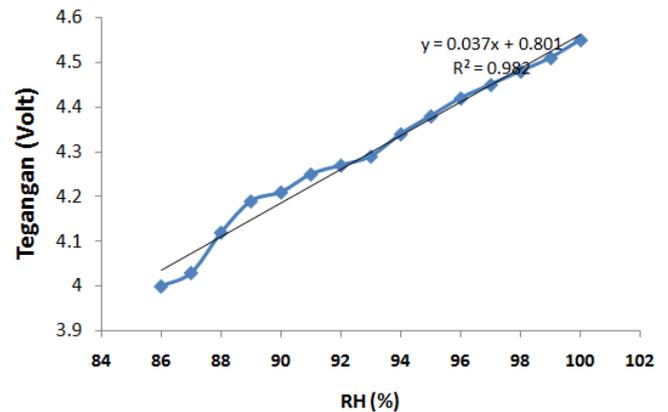
TABEL II: Data kelembaban udara yang dikirim dengan *Ethernet shield*.

No	Waktu	Data K	elembaban relatif (%)	Alat ukur standar
		yang masuk	<i>Ethernet shield</i>	
1	2018-06-30 06:01:23 UTC	1	93.254	94,4
	2018-06-30 06:01:45 UTC	2	93.254	
	2018-06-30 06:02:07 UTC	3	93.385	
	2018-06-30 06:02:30 UTC	4	101.123	
	2018-06-30 06:02:52 UTC	5	101.123	
2	2018-06-30 06:03:14 UTC	1	96.647	97,5
	2018-06-30 06:03:36 UTC	2	96.384	
	2018-06-30 06:04:00 UTC	3	97.254	
	2018-06-30 06:04:22 UTC	4	101.254	
	2018-06-30 06:04:44 UTC	5	101.385	
3	2018-06-30 06:05:08 UTC	1	110.647	100
	2018-06-30 06:05:31 UTC	2	110.385	
	2018-06-30 06:05:53 UTC	3	99.254	
	2018-06-30 06:06:15 UTC	4	99.254	
	2018-06-30 06:06:38 UTC	5	109.992	

masing-masing panjang pengupasan. Data hasil karakterisasi dapat dilihat pada Tabel I, dengan tegangan keluaran yang dihasilkan dari *cladding* yang dilapisi TiO<sub>2</sub>-SiO<sub>2</sub> lebih tinggi dibandingkan *cladding* yang telah dihilangkan (*cladding* udara). Kelembaban udara yang digunakan untuk mengukur kelembaban yaitu berada pada rentang 86-100°C.

Serat optik dengan panjang pengelupasaan paling panjang memiliki tegangan yang lebih besar. Hal ini disebabkan oleh semakin besar panjang pengupasan *cladding* maka semakin kecil intensitas cahaya yang dikeluarkan oleh serat optik. Kecilnya intensitas cahaya yang dikeluarkan serat optik menyebabkan semakin besar tegangan keluaran fotodioda, hal tersebut sesuai dengan karakteristik sensor fotodioda. Artinya ketika intensitas yang keluar dari serat optik adalah nol, maka fotodetektor menunjukkan pengukuran paling besar.

Karakterisasi serat optik juga dapat dilihat melalui kurva linearitasnya. Linearitas yang diperoleh berdasarkan nilai R<sup>2</sup> cukup baik sebagai derajat linearitas yang setara di atas 0,9. Hasil menunjukkan bahwa lapisan TiO<sub>2</sub>-SiO<sub>2</sub> telah berfungsi baik dalam merespon perubahan kelembaban udara yang diberikan melalui perubahan tegangan keluaran yang linear terhadap variasi kelembaban udara. Data diambil dengan



Gambar 5: Grafik hubungan kelembaban udara dengan tegangan untuk pengupasan 2 cm.

melihat grafik tegangan keluaran terhadap kelembaban ketika nilai kelembabannya naik dan kelembaban turun. Kelembaban diatur dengan cara mengalirkan uap air ke humidity chamber yang telah dipanaskan terlebih dahulu. Sensor serat optik yang memiliki kurva linearitas yang paling optimum atau baik akan digunakan pada alat ukur. Gambar 5 memperlihatkan linearitas sensor untuk pengupasan 2 cm. Panjang pengupasan dibuat 2 cm agar sesuai dengan Zhang dkk. dengan panjang pengupasannya 1,8 cm [10]. Semakin besar kelembaban udara yang digunakan sebagai pengganti *cladding* maka semakin besar tegangan keluaran yang dihasilkan. Tegangan keluaran yang dihasilkan pada *cladding* udara lebih kecil dibandingkan *cladding* TiO<sub>2</sub>-SiO<sub>2</sub>. Tegangan keluaran semakin meningkat setelah *cladding* TiO<sub>2</sub>-SiO<sub>2</sub> diberi kelembaban udara.

Grafik karakterisasi linearitas sensor serat optik memiliki derajat korelasi paling akurat ada pada serat optik dengan panjang pengupasan 2 cm dengan pelapis TiO<sub>2</sub>-SiO<sub>2</sub> dengan perbandingan 1:2 yaitu menunjukkan R<sup>2</sup> = 0,982. Hasil tersebut menyatakan bahwa semakin tinggi kelembaban udara maka semakin tinggi pula tegangan yang dihasilkan oleh keluaran fotodioda. Hal tersebut disebabkan intensitas cahaya yang merambat pada serat optik semakin kecil.

Penyerapan cahaya yang disebabkan oleh perubahan indeks bias *cladding* berpengaruh terhadap besarnya intensitas cahaya yang di transmisikan secara tidak langsung akibat perubahan kelembaban [9]. Besarnya energi cahaya yang terserap oleh *cladding* sebagai gelombang evanescent, dijadikan sebagai indikasi adanya perubahan kelembaban yang menjadi prinsip kerja dari sistem sensor serat optik dengan *cladding* TiO<sub>2</sub>-SiO<sub>2</sub>. Pada sensor kelembaban udara yang telah dibuat dapat merespon kelembaban pada rentang 86%-100%. Hal tersebut dapat dilihat dari grafik hubungan kelembaban udara dengan tegangan keluaran yang dihasilkan.

#### Data hasil kelembaban relatif pengiriman melalui *Ethernet Shield*

Data hasil kelembaban relatif (RH) yang pengiriman data dikirim melalui *Ethernet shield* dapat dilihat pada Tabel II.

TABEL III: Kelembaban udara *Ethernet shield* dengan higrometer.

No	Kelembaban udara yang terkirim ke <i>Ethernet shield</i> (%)	Kelembaban udara higrometer (%)	Error (%)
1	96,43	94,4	2,15
2	98,58	97,5	1,11
3	105,91	100	5,91
Rata-rata error 3,06			

Pengambilan data dilakukan dalam tiga kali pengulangan, pengukuran dilakukan dengan sistem sensor serat optik dan mentransfer data menggunakan *ethernet shield*. Hasil menunjukkan bahwa *ethernet shield* dapat melaksanakan perannya sebagai pentransmisi data, karena *ethernet shield* yang terhubung dengan Arduino Uno menggunakan *thing speak* sebagai platform internet. *Thing speak* dapat digunakan secara gratis tetapi dengan waktu pengiriman yang terbatas sekitar 20-23 sekon sehingga data yang dapat terbaca juga terbatas, tetapi peran *ethernet shield* sebagai pentransmisi data dapat dikatakan berhasil karena data kelembaban udara dari sistem sensor yang dirancang bertambah terus setiap 20-23 sekonnya, hal tersebut dapat dilihat dari data yang masuk terus bertambah pada waktu yang berbeda.

Data yang dihasilkan pada Tabel II dapat dirangkum men-

jadi data error yang dihasilkan pada alat ukur antara *ethernet shield* dengan higrometer seperti terlihat pada Tabel III.

Rata-rata error yang didapat dari pengolahan rumus pada Persamaan (1) memperlihatkan ketidaksesuaian antara pembacaan alat yang dirancang dengan alat ukur standarnya. Data error yang dihasilkan oleh *ethernet shield* tidak berbeda jauh dengan data error sistem sensor serat optik yang dirancang. Sensor yang dirancang tersebut masih sangat rentan terhadap kesalahan sistematis.

#### IV. SIMPULAN

Hasil terbaik diperoleh dari variasi panjang pengupasan 2 cm dengan pelapisan  $\text{TiO}_2\text{-SiO}_2$  sebagai pengganti *cladding*, dimana menunjukkan nilai  $R^2 = 0,982$ . Hasil tersebut menyatakan bahwa semakin tinggi kelembaban udara maka semakin tinggi pula tegangan yang dihasilkan oleh keluaran fotodiode. Hal tersebut disebabkan intensitas cahaya yang merambat pada serat optik semakin kecil. Rata-rata error yang diperoleh dari rancangan alat kelembaban udara sebesar 3,06%. Hal ini menunjukkan ketidak sesuaian antara pembacaan alat yang dirancang dengan alat ukur standarnya, karena sensor yang dirancang tersebut masih sangat rentan terhadap kesalahan sistematis. Tetapi sudah cukup baik untuk dapat mendeteksi kelembaban udara dari suhu 86-100°C.

- 
- [1] J. Zubia and J. Arrue, "Plastic Optical Fibers: An Introduction to Their Technological Processes and Applications", *Optical Fiber Technology*, vol. 7(2), 101-140, 2001.
  - [2] L. Bilro, N. Alberto, J. L. Pinto, and R. Nogueira, "Optical sensors based on plastic fibers", *Sensors*, vol. 12, no. 9, pp. 12184-12207, 2012.
  - [3] T.L. Yeo, T. Sun and K.T.V. Grattan, "Fiber-optic sensor technologies for humidity and moisture measurement", *Sens. Actuators, A.*, vol. 144, pp. 280-295, 2008.
  - [4] W. Geopel, T.A. Jones, M. Kleitz, I. Lundstrom, and T. Seiyama, "Sensors", *Chemical and Biochemical Sensors*, vol. 2, ISBN 3527267697, 1991. Dalam A.R. Bahrapour, S. Tofghi, M. Bathaee, and F. Farman, "Optical Fiber Interferometers and Their Applications", Sharif University of Technology, Iran, pp. 3-30, 2012.
  - [5] J.J. Ascorbe, J.M. Corres, F.J. Arregui, and I.R. Matias, "Recent Developments in Fiber Optics", *Humidity Sensors*, vol. 1, no. 4, pp. 893-901, 2017.
  - [6] C. Kelb, M. Korner, O. Prucker, J. Ruhe, E. Reitmeier, and B. Roth, "PDMAA Hydrogel Coated U-Bend", *Humidity Sensor Suited for Mass-Production Sensors*, vol. 17, no. 4, pp. 517-525, 2017.
  - [7] A.F. Gavella, M.G. Granda, J.R. Garcia, "Channel polymer optical waveguides embedded in glass: Design, fabrication and characterization", *Optical materials*, vol. 47, pp. 83-87, 2015.
  - [8] M.E. Camilo, *et al.*, "Fabrication and characterization of pedestal optical waveguides using  $\text{TeO}_2\text{-WO}_3\text{-Bi}_2\text{O}_3$  thin film as core layer", *Thin Solid Film*, vol. 571, pp. 225-229, 2014.
  - [9] A. Maddu, K. Modjahidin, S. Sardy, H. Zain, "Pengembangan Probe Sensor Kelembaban Serat Optik dengan Cladding Gelatin", *Makara*, vol. 10, no. 1, hlm. 45-50, 2006.
  - [10] L. Zhang, F. Gu, J. Lou, X. Yin, L. Tong, "Fast detection of humidity with a subwavelength diameter fiber taper coated with gelatin film", *Optic Express*, vol. 15, no. 17, pp. 13349-13353, 2008.
  - [11] K. Fidanboyly and H.S. Efendioglu, "Fiber Optic Sensors and Their Applications", 5th International Advanced Technologies Symposium, Karabuk, Turkey, pp. 13-15, 2009.
  - [12] A. Frederick, "Fiber Optics Hand Book for Engineers and Scientist", Mc Graw-Hill, United States, 1990.
  - [13] W. Bolton, "Sistem Instrumentasi dan Sistem Kontrol", PT Gelora Aksara Pratama, Jakarta, 2006.