

Rancang Bangun Sensor Serat Optik dengan *Cladding Zinc Oxide* untuk Mendeteksi Kelembaban Udara

Miskhatul Hidayati*, Harmadi

Laboratorium Fisika Elektronika dan Instrumentasi, Jurusan Fisika,
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Andalas
Kampus Unand, Limau Manis, Padang 25163, Indonesia

Info Artikel

Histori Artikel:

Diajukan: 18 Februari 2021
Direvisi: 17 Maret 2021
Diterima: 30 Maret 2021

Kata kunci:

sensor
serat optik
zinc oxide
kelembaban udara

Keywords:

sensors
fiber optic
zinc oxide
humidity

Penulis Korespondensi:

Miskhatul Hidayati
Email: miskhatulhidayati90@gmail.com

ABSTRAK

Telah dilakukan rancang bangun sensor serat optik dengan cladding zinc oxide untuk mendeteksi kelembaban udara. Sistem sensor serat optik dilakukan dengan metode pengupasan cladding yang diganti dengan Zinc Oxide (ZnO) dengan variasi pengupasan 1 cm, 2 cm, 3 cm, 4 cm, dan 5 cm. Sistem sensor terdiri dari dioda laser sebagai sumber cahaya, serat optik cladding ZnO sebagai pengindra kelembaban, dan sensor OPT101 sebagai fotodetektor, mikrokontroler sebagai pengolah sinyal serta nilai kelembaban udara ditampilkan melalui PC (personal computer). Kelembaban diukur berdasarkan perubahan tegangan keluaran, semakin tinggi kelembaban udara maka semakin tinggi tegangan keluaran sensor. Hasil karakterisasi sensor menunjukkan serat optik dengan panjang pengupasan 2 cm adalah yang paling optimum dalam mengindra kelembaban. Nilai sensitifitas sensor yang dirancang adalah 0,0313 V/%RH dengan koefisien determinasi $R^2 = 0,9684$. Sensor serat optik dengan cladding ZnO mampu mendeteksi kelembaban udara dalam rentang 88% RH hingga 99% RH dengan persentase rata-rata error pada alat ukur yang dirancang adalah 0,75% dibandingkan dengan alat ukur higrometer.

A fiber optic sensor design with zinc oxide cladding has been designed to detect air humidity. The fiber optic sensor system was carried out by using the cladding stripping method which was replaced with Zinc Oxide (ZnO) with a stripping variation of 1 cm, 2 cm, 3 cm, 4 cm, and 5 cm. The sensor system consists of a laser diode as a light source, a fiber optic cladding ZnO as a moisture sensor, and an OPT101 sensor as a photodetector, a microcontroller as a signal processor and air humidity values and displayed via a PC (personal computer). Humidity is measured based on changes in the output voltage, the higher the humidity of the air, the higher the sensor output voltage. The results of sensor characterization showed that the optical fiber with a stripping length of 2 cm was the most optimum for sensing moisture. The designed sensor sensitivity value is 0.0313 V/%RH with a coefficient of determination $R^2 = 0.9684$. The fiber optic sensor with ZnO cladding is able to detect air humidity in the range of 88% to 99% with an average error percentage of the designed measuring instrument is 0.75% compared to a hygrometer measuring instrument.

Copyright © 2020 Author(s). All rights reserved

I. PENDAHULUAN

Awal mula perkembangan teknologi serat optik dimulai dari bidang telekomunikasi, hingga mengalami kemajuan kegunaan sebagai sensor. Teknologi ini terdiri dari sistem pengiriman dan penerimaan sinyal informasinya yang berupa berkas cahaya, menggunakan sumber optik dan detektor optik, dengan serat optik sebagai media transmisinya. Beberapa penelitian telah dilakukan dalam pengembangan sensor serat optik diantaranya Maddu dkk., (2006) telah melakukan karakterisasi terhadap sensor serat optik *evanescent* menggunakan film gelatin sebagai sensor kelembaban dimana hasil yang didapatkan lapisan film gelatin pada serat optik yang digunakan sebagai elemen sensor kelembaban dapat berfungsi dengan baik, hanya saja penggunaan film gelatin untuk mendeteksi kelembaban memiliki keterbatasan dalam pemulihan sensor. Febrieliyanti (2019) melakukan penelitian pengaplikasi sistem serat optik *evanescent* menggunakan semikonduktor ($\text{TiO}_2\text{-SiO}_2$) sebagai lapisan pengganti *cladding* serat optik yang bertujuan untuk mengukur kelembaban, pengamatan suspensi $\text{TiO}_2\text{-SiO}_2$ berhasil dianalisis. Hasil spektrum FTIR menunjukkan bahan yang memiliki gugus fungsi dengan ikatan $\text{TiO}_2\text{:SiO}_2$ (1:2) mampu digunakan sebagai sensor kelembaban, hasil menunjukkan bahwa kelembaban dapat merespon dengan baik pada panjang pengupasan 2 cm dari 5 variasi panjang pengupasan *cladding* sensor serat optik. Sensor mampu mengukur kelembaban pada rentang 88,8% hingga 97,42% dengan memperoleh rata-rata *error* sebesar 2,78%.

Zinc Oxide (ZnO) merupakan material semikonduktor yang memiliki celah pita sebesar 3,37 eV dan energi eksitasi sebesar 60 MeV pada suhu ruang, serta memiliki banyak kegunaan. ZnO digunakan dalam bidang industri sebagai komponen piranti sel surya, perangkat optik berbasis ultraviolet, dioda laser, sensor, fotokatalis, farmasi, kosmetik dan lapisan konduktif transparan (Majumber dkk., 2003).

Mengacu pada penelitian-penelitian yang telah dilakukan di atas maka dirancang sensor serat optik dengan *cladding* ZnO untuk mendeteksi kelembaban udara menggunakan metode *evanescent* yang menggunakan teknik *dip coating* untuk membuat lapisan pengganti *cladding* pada kabel serat optik. Variasi parameter yang akan digunakan, yakni pengupasan *cladding* sensor serat optik memiliki parameter panjang 1 cm hingga 5 cm. Penelitian ini dilakukan dengan melihat tegangan keluaran terhadap ZnO, dan panjang *cladding* yang dikupas.

II. METODE

2.1 Alat dan Bahan

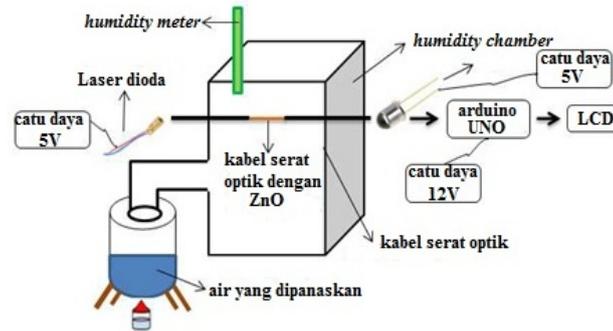
Alat dan bahan untuk keperluan pengupasan *cladding* serat optik berupa pisau cutter, pisau pemotong serat optik, larutan aseton, amplas dan BF5R (sensor digital serat optik). Alat dan bahan yang digunakan pada proses penelitian selanjutnya adalah *Zinc Oxide* (ZnO), aquabides, gelas kimia, *magnetic stirrer*, serat optik yang *cladding* sudah terkupas, aquades, asam sitrat, dan *aluminium foil*. Pada proses pengukuran alat secara keseluruhan dibutuhkan sensor OPT 101, dioda laser, *humidity chamber*, higrometer, arduino uno, lcd, dan laptop.

2.2 Pelapisan Serat Optik dengan ZnO

Proses pelapisan ZnO pada serat optik yang telah dikupas *cladding* dilakukan metode *dip coating*. Sebelum dilapisi, serat optik terlebih dahulu dilakukan tahap *cross link* dalam larutan asam sitrat sebagai agent pengikat antara serat optik ZnO. Proses *cross link* dilakukan selama 2 jam. Pelapisan ZnO pada sampel dilakukan sekali pencelupan selama 5 menit. Serat optik yang berhasil dilapisi dikeringkan selama 20 menit, sehingga serat optik dengan *cladding* ZnO dapat diuji kemampuannya untuk mendeteksi kelembaban.

2.3 Perancangan Secara 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 ZnO sebagai pengganti *cladding*. Secara keseluruhan desain alat ukur kelembaban dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1 Bentuk fisik alat ukur sensor kelembaban udara keseluruhan

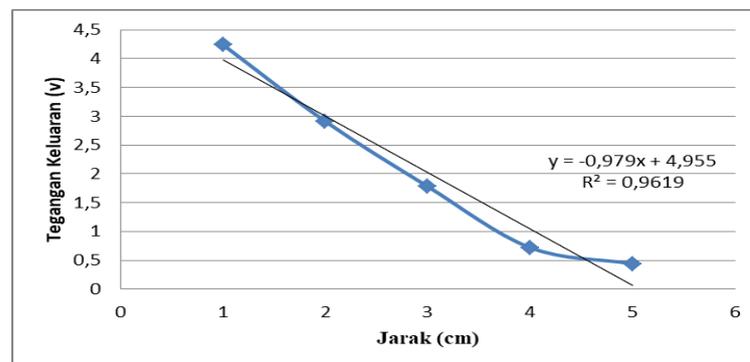
Alat ukur kelembaban dirancang dengan sensor serat optik sebagai penginderaan. Sensor serat optik dikarakterisasi dengan melihat tegangan keluaran. Pertama, uap air dialirkan ke dalam *humidity chamber* dan dideteksi oleh serat optik tanpa *cladding ZnO*, kemudian tegangan keluarannya diukur dengan multimeter digital. Jenis kabel serat optik yang digunakan pada penelitian ini adalah FD 620-10. Sumber tegangan sistem yang terdiri dari dioda laser, sensor OPT101, dan LCD memanfaatkan catudaya +5 volt teregulasi dari mikrokontroler Arduino Uno.

Cahaya biru yang berasal dari dioda laser akan melalui serat optik menuju *humidity chamber* yang di dalamnya juga terdapat higrometer, sedangkan pandu gelombang cahaya akan terjadi di dalam inti serat optik. Serat optik disinari oleh sumber cahaya, yaitu dioda laser biru. Cahaya yang menjalar tersebut dalam serat optik akan dideteksi oleh sensor OPT, sehingga menghasilkan nilai tegangan keluaran. Nilai tegangan keluaran dikirim ke mikrokontroler Arduino Uno dan diubah kebentuk desimal oleh ADC internal. Data akan diproses oleh mikrokontroler Arduino Uno sesuai dengan program yang dirancang. Hasil kelembaban relatif dapat ditampilkan pada LCD/PC. Alat ukur yang dirancang dibandingkan dengan alat ukur kelembaban acuan (higrometer).

III. HASIL DAN DISKUSI

3.1 Hasil Karakterisasi Sensor OPT 101

Karakterisasi sensor OPT101 dilakukan untuk mengetahui rangkaian sensor dapat bekerja dengan baik. Sumber cahaya yang digunakan untuk mengkarakterisasi sensor OPT101 adalah dioda laser dengan tegangan masukan 5 V. Pengujian rangkaian sensor dilakukan dengan jarak 1, 2, 3, 4, dan 5 cm dilakukan sebanyak 5 kali percobaan untuk masing-masingnya. Hasil yang didapatkan diambil dari nilai rata-rata pengujian karakterisasi sensor OPT101 dapat dilihat pada Gambar 2.

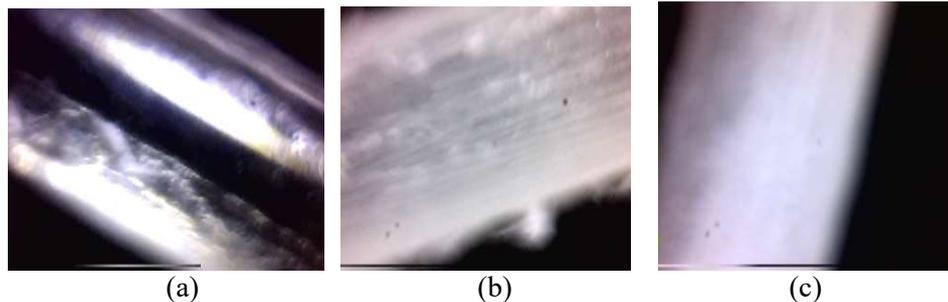


Gambar 2 Karakterisasi sensor OPT101

Gambar 2 menunjukkan grafik hubungan tegangan keluaran sensor terhadap jarak dari sumber laser. Nilai yang didapatkan dari 5 kali percobaan hampir mendekati garis *linear*. Sesuai dengan prinsip kerja sensor OPT101 yang semakin besar intensitas cahaya yang diterima, maka tegangan keluarannya akan semakin besar. Semakin jauh jarak, maka semakin sedikit intensitas cahaya yang diterima, sehingga semakin kecil tegangan keluaran yang dihasilkan.

3.2 Hasil Pengamatan Lapisan Cladding Serat Optik

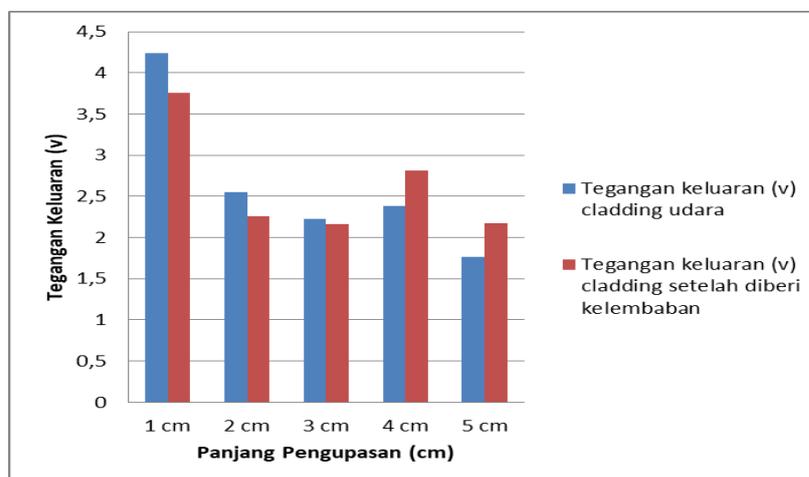
Lapisan serat optik sebelum dan setelah dilapisi ZnO dilihat dengan *portable microscope*. Lapisan serat optik dilihat dengan membandingkan antara sebelum dan setelah dilapisi dapat dilihat pada Gambar 3. Gambar 3(a) menunjukkan serat optik dengan *cladding* yang belum dikupas, terlihat permukaan serat optik yang halus dan terlihat *cladding* yang melapisi serat optik berwarna bening transparan. Gambar 3(b) menggambarkan *cladding* serat optik telah dihilangkan dengan cara mengampelas. Pengampelasan bertujuan menghilangkan *cladding* bawaan yang tidak sensitif terhadap kelembaban udara yang digantikan dengan *cladding* ZnO. Pada Gambar 3(b) tampak permukaan serat optik tersebut cukup kasar setelah dilakukan pengampelasan. *Cladding* yang telah diganti dengan lapisan ZnO ditunjukkan pada Gambar 3(c) Terlihat bahwa lapisan ZnO pada permukaan serat optik telah terlapisi sempurna dan halus namun tidak transparan.



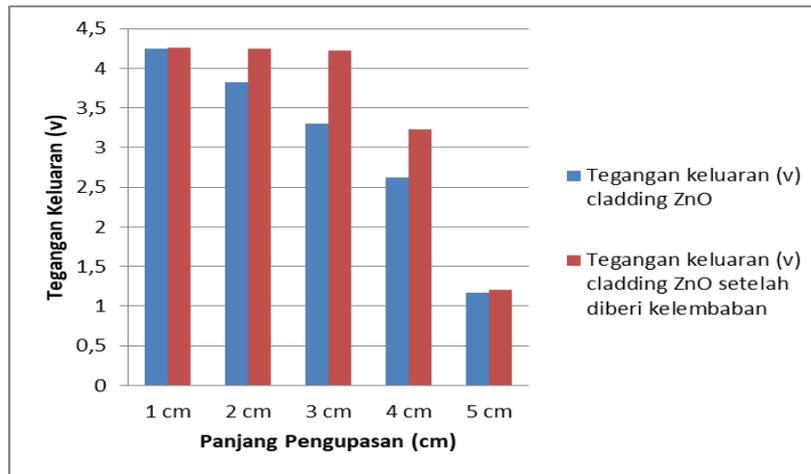
Gambar 3 Pengamatan lapisan *cladding* serat optik menggunakan *portable microscope*
 (a) *cladding* sebelum pengupasan (b) *cladding* setelah pengupasan
 (c) *cladding* dilapisi ZnO

3.3 Karakterisasi Sensor Serat Optik

Karakterisasi sensor dilakukan untuk menggambarkan kemampuan sensor serat optik dengan membandingkan tegangan keluaran dari serat optik yang disinari dioda laser dengan variasi panjang pengupasan serat optik. Data hasil karakterisasi dapat dilihat pada Gambar 4. Gambar 4 menunjukkan grafik perbandingan karakteristik tegangan keluaran serat optik *cladding* udara dan serat optik ZnO. Gambar 4(a) serat optik *cladding* udara menunjukkan hubungan yang tidak *linear* (acak) antara panjang pengupasan setiap sampel dengan tegangan keluarannya. Pengupasan dari 1 cm hingga 3 cm mengalami penurunan tegangan keluaran, namun pada panjang pengupasan 4 cm mengalami kenaikan tegangan keluaran disusul penurunan kembali pada panjang pengupasan 5 cm. Hal ini dapat terjadi karena kurang rata kupasan pada daerah *cladding* serat optik (proses pengupasan yang dilakukan secara manual). Gambar 4(b) serat optik *cladding* ZnO menyatakan adanya hubungan yang *linier* antara tegangan keluaran dengan panjang pengupasan setiap sampel. Nilai tegangan keluaran dari setiap sampel serat optik *cladding* ZnO secara keseluruhan lebih besar jika dibandingkan dengan tegangan keluaran dari setiap sampel serat *cladding* udara. Oleh karena itu serat optik *cladding* ZnO mampu meningkatkan efisiensi dari tegangan yang dibutuhkan.



(a)

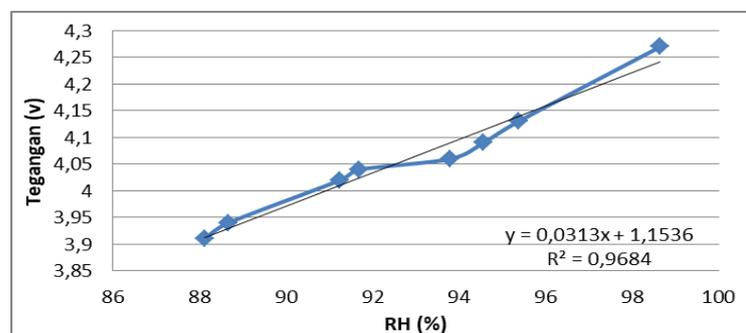


(b)

Gambar 4 Grafik karakterisasi tegangan keluaran (a) sampel serat optik *cladding* udara, (b) sampel serat optik dengan *cladding* ZnO

Nilai tegangan keluaran dari serat optik *cladding* ZnO bernilai maksimum pada sampel 1 (pengupasan 1 cm) dan bernilai minimum pada sampel 5 (pengupasan 5 cm). Pernyataan ini sesuai dengan teori yaitu semakin panjang pengupasan serat optik maka akan semakin kecil intensitas cahaya, sehingga menyebabkan nilai tegangan keluarannya minimum. Nilai tegangan keluaran antara *cladding* ZnO tanpa kelembaban dengan *cladding* ZnO yang telah diberi kelembaban adalah 4,25 V dan 4,26 V. Selisih nilai tersebut tidak jauh berbeda dan hampir mendekati dengan nilai input pada arduino uno yang digunakan yaitu 5 V. Nilai tegangan keluaran minimum pada sampel 5 adalah 1,17 V untuk *cladding* ZnO tanpa kelembaban dan 1,2 V untuk *cladding* ZnO setelah diberi kelembaban. Selisih antara nilai tegangan keluaran tersebut juga tidak jauh berbeda dan hampir mendekati nilai minimum tegangan input.

Secara umum nilai tegangan keluaran setiap sampel dari *cladding* ZnO tanpa kelembaban lebih kecil dibandingkan dengan *cladding* ZnO setelah diberi kelembaban. Pernyataan ini menunjukkan semakin tinggi kelembaban akan meningkatkan tegangan keluaran pada sistem. *Cladding* ZnO memiliki penyerapan yang hampir dapat diabaikan dalam kelembaban rendah, sehingga pada saat kelembaban tinggi penyerapan serat optik *cladding* ZnO mampu menyerap uap air sejalan dengan meningkatnya kelembaban. Serat optik *cladding* ZnO setelah diberi kelembaban menunjukkan nilai yang lebih baik karena mampu meningkatkan efisiensi tegangan yang dibutuhkan. Karakteristik serat optik juga dapat dilihat melalui kurva linearitas sensor (perbandingan nilai pada grafik tegangan keluaran terhadap kelembaban). Gambar 6 memperlihatkan linearitas sensor pada pengupasan 2 cm. Tegangan keluaran yang dihasilkan pada *cladding* udara lebih kecil dibandingkan *cladding* ZnO. Tegangan keluaran semakin meningkat setelah *cladding* ZnO diberi kelembaban udara.

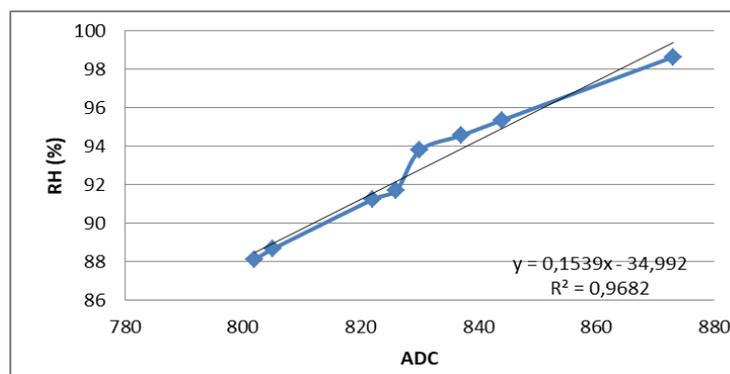


Gambar 5 Grafik hubungan tegangan keluaran terhadap kelembaban untuk sampel ZnO pada pengupasan 2 cm

Gambar 5 menunjukkan pengaruh tegangan keluaran terhadap kelembaban. Tegangan keluaran berbanding lurus dengan kelembaban udara dalam *humidity chamber*. Hasil tersebut menyatakan bahwa semakin tinggi kelembaban udara maka semakin tinggi pula tegangan yang dihasilkan oleh keluaran sensor OPT101. Hal tersebut disebabkan intensitas cahaya yang merambat pada serat optik semakin kecil. Intensitas cahaya semakin kecil disebabkan oleh gelombang *evanescent* yang menembus *cladding* semakin dalam, karena pada saat kelembaban udara naik maka lapisan ZnO semakin berkurang. Hal ini sesuai pada teori *penetration depth* yang menjelaskan bahwa kedalaman penetrasi gelombang *evanescent* tergantung pada nilai indeks bias *cladding* relatif terhadap indeks bias inti. Semakin dalam penetrasi gelombang *evanescent* maka semakin kecil intensitas cahaya yang terpandu dalam serat optik.

3.4 Hubungan Nilai Kelembaban Udara dan Nilai Desimal ADC

Karakterisasi hubungan antara kelembaban udara dengan ADC dilakukan untuk mendapatkan hasil pengukuran kelembaban udara melalui fungsi transfer yang digunakan di dalam modul Arduino Uno. Grafik karakterisasi kelembaban udara terhadap ADC dapat dilihat pada Gambar 6. Data dari Gambar 6 menunjukkan hubungan nilai kelembaban udara dan nilai desimal ADC pada sampel ZnO panjang pengupasan 2 cm diperoleh persamaan $y = 0,1539x - 34,992$, dimana nilai x adalah tegangan masukan ADC dari keluaran sensor OPT101 yang dihubungkan pada kaki (A_0) Arduino Uno dan y adalah keluaran ADC sebagai nilai kelembaban udara terukur yang ditampilkan pada LCD dan PC. Nilai 0,1539 merupakan besarnya faktor konversi ADC, sedangkan nilai -34,992 merupakan tegangan *offset* dari ADC. Hasil koefisien determinasi (R^2) yang didapatkan sebesar 0,9682, dan grafik yang terbentuk mendekati linearitas. Hal tersebut menunjukkan respon yang baik ZnO terhadap kelembaban udara.



Gambar 6 Grafik hubungan nilai kelembaban udara dan nilai decimal ADC

3.5 Pengujian Akhir Alat Ukur Kelembaban Udara

Pengujian akhir alat ukur kelembaban ini merupakan hasil pembacaan sensor serat optik, melihat seberapa akurat tingkat ketelitian dari alat ukur yang dirancang dengan alat ukur standar kelembaban (higrometer). Hasil pengujian alat ukur tersebut ditunjukkan pada Tabel 1. Hasil pengukuran antara alat yang dibuat dengan alat standar (higrometer) didapatkan nilai error sebesar yaitu 0,75%. Rata-rata *error* yang didapatkan dari pengolahan rumus pada persamaan persentase *error*. Sensor serat optik *evanescent* dengan pengganti *cladding* ZnO sudah mampu merespon kelembaban udara dengan baik, tetapi belum bisa dijadikan sensor untuk perancangan alat ukur karena harus ada standar dan fabrikasi yang teruji agar sensor tersebut lebih stabil. Sensor serat optik *evanescent* ini dapat dijadikan acuan untuk meningkatkan kemampuan merespon kelembaban udara dengan material pengganti *cladding* yang lebih baik dalam menyerap kelembaban udara baik dalam kondisi kelembaban yang tinggi sekaligus kelembaban yang rendah.

Tabel 1 Hasil Pengujian Akhir Alat Ukur Kelembaban Udara

No	Kelembaban udara higrometer (%)	Kelembaban udara alat yang dirancang (%)	Error (%)
1	88	88,11	0,12
2	89	88,66	0,38
3	90	91,24	1,38
4	92	91,69	0,34
5	94	93,79	0,22
6	96	94,56	1,5
7	97	95,37	1,68
8	99	98,65	0,35
Rata-rata			0,75

IV. KESIMPULAN

Sensor serat optik yang dilapisi ZnO dapat digunakan sebagai sensor kelembaban udara dalam rentang 88% RH hingga 99% RH. Sampel ZnO dengan panjang pengupasan serat optik 2 cm merupakan yang paling optimum dijadikan sebagai sensor kelembaban udara. Tegangan keluaran sensor OPT101 berbanding lurus dengan kelembaban udara di dalam *humidity chamber*, dapat dilihat dari fungsi transfer hubungan nilai kelembaban udara dan nilai decimal ADC yaitu $y = 0,1539x - 34,992$. Sensitivitas sensor bergantung pada panjang pengupasan *cladding*, nilai sensitivitas yang didapatkan sebesar 0,0313 V/% RH termasuk sensitivitas cukup baik. Nilai rata-rata *error* yang didapatkan dari alat yang dirancang dengan alat ukur higrometer cukup kecil yaitu sebesar 0,75%.

DAFTAR PUSTAKA

- Febrielviyanti., Harmadi., Dahlan, D., 2019, Rancang Bangun Sensor Kelembaban Udara menggunakan Plastic Optical Fiber (POF) dengan Cladding TiO₂-SiO₂ dan Data Transmisi, *Jurnal Fisika dan Aplikasinya*, Vol 15, hal 29-33.
- Maddu A., Modjahidin, K., Sardy, S., Zain, H., 2006, Pengembangan Probe Sensor kelembaban Serat Optik dengan *Cladding* Gelatin. *Makara*. Vol. 10, No. 1, hal. 45-50, Jakarta.
- Majumber, S. B., Jain, M., Dobal, P. S., Katiyar, R. S., 2003, *Material Science and Engineering B*, Vol. 103, hal. 16.