

Rancang Bangun Alat Ukur Konsentrasi Logam Berat Timbal Berbasis Sensor Serat Optik *Evanescent* dengan *Cladding* Kitosan

Aida Rahayu, Harmadi

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

Info Artikel	ABSTRAK
<p>Histori Artikel:</p> <p>Diajukan: 8 Oktober 2019 Direvisi: 15 Oktober 2019 Diterima: 17 Oktober 2019</p>	<p>Telah dirancang alat ukur konsentrasi ion logam berat timbal berbasis sensor serat optik evanescent. Cladding serat optik dikupas dan diganti dengan kitosan. Variasi panjang pengupasan cladding serat optik adalah 1 cm, 2 cm, dan 3 cm. Sistem sensor terdiri dari laser dioda sebagai sumber cahaya, serat optik, fotodioda sebagai detektor cahaya, mikrokontroler sebagai pengolah sinyal dan LCD sebagai penampil hasil pengukuran. Konsentrasi diukur berdasarkan tegangan keluaran fotodioda. Semakin tinggi konsentrasi maka semakin tinggi tegangan keluaran fotodioda. Hasil karakterisasi serat optik menunjukkan serat optik dengan panjang pengupasan 1 cm, dan jari-jari bending 3,5 cm adalah yang paling optimal untuk pengukuran konsentrasi ion logam berat timbal dengan koefisien korelasi 0,9906. Persentase rata-rata kesalahan alat ukur yang dirancang adalah 43,334%.</p>
<p>Kata kunci:</p> <p>evanescent konsentrasi sensor serat optik</p>	
<p>Keywords:</p> <p>evanescent concentration fiber optic sensor</p>	
<p>Penulis Korespondensi:</p> <p>Genta Kampai Email: aidarahayu7@gmail.com</p>	<p><i>It has been designed for optical fiber sensor-based lead ion heavy metal measuring devices. Optical fiber cladding is peeled and replaced with chitosan. Variations in stripping length of optical fiber cladding are 1 cm, 2 cm, and 3 cm. The sensor system consists of a laser diode as a light source, fiber optic, photodiode as a light detector, a microcontroller as a signal processor and an LCD as a measurement result viewer. The concentration released is based on the photodiode output voltage. The higher the concentration, the higher the photodiode output voltage. The result of optical fiber characterization that shows optical fibers with stripping length of 1 cm and bending radius of 3.5 cm are the most optimal for measuring the concentration of lead heavy metals with a coefficient of 0.9906. The average percentage of errors of the measuring instruments designed is 43.334%.</i></p>

Copyright © 2020 Author(s). All rights reserved

1. PENDAHULUAN

Pencemaran ion logam berat telah menjadi masalah serius yang perlu diperhatikan. Pencemaran ini berasal dari berbagai sumber, salah satunya pembuangan limbah industri ke dalam perairan yang tidak terkontrol, sehingga mengakibatkan air menjadi tercemar. Air yang terkontaminasi oleh logam berat mengakibatkan penurunan kualitas air, sehingga tidak layak untuk dikonsumsi karena kandungan logam berat dapat berbahaya bagi kesehatan. Salah satu logam yang berbahaya adalah logam timbal (Pb) karena bersifat toksik (beracun) terhadap manusia (Tahril dan Said, 2012).



Peraturan Menteri Lingkungan Hidup No. 82 Tahun 2001 tentang batasan nilai kandungan timbal untuk air minum adalah 0,03 mg/L. Pengaruh mengonsumsi air minum yang melebihi nilai ambang batas kandungan timbal terhadap kesehatan manusia ialah dapat merusak perkembangan otak pada anak, menyebabkan penyumbatan sel-sel darah merah, anemia, keguguran pada ibu hamil, gangguan sistem pencernaan, gangguan pada ginjal, dan penurunan kecerdasan intelektual. Berdasarkan pengaruh ion logam berat timbal tersebut, sehingga perlu rancangan alat untuk mengukur kandungan ion timbal dalam air.

Metode yang telah digunakan untuk mengukur kandungan ion timbal, seperti analisis menggunakan Spektrofotometri *Ultra Violet-Visible* (UV-Vis) yang dilakukan oleh Aldinomera dkk (2014) dan Manalu (2017) menggunakan Spektrofotometri Serapan Atom (SSA). Kedua metode ini sudah tervalidasi, namun ketersediaan instrument tersebut masih terbatas, memerlukan biaya yang besar, dan membutuhkan waktu yang relatif lama untuk pemrosesan data. Kelemahan metode tersebut dapat diatasi dengan mengembangkan sistem sensor serat optik yang dapat melakukan pemrosesan data secara *real time*, relatif lebih murah, dan sederhana dalam pembuatan.

Sistem sensor serat optik yang digunakan pada rancangan ini menggunakan metode sensor serat optik *evanescent* dengan *cladding* kitosan. Sanjaya dan Yuanita (2007) menyatakan bahwa kitosan dapat menyerap logam timbal dengan baik. Output yang diperoleh dari penelitian ini berupa prototipe alat untuk mengukur nilai konsentrasi logam timbal yang ditampilkan melalui LCD (*Liquid Crystal Display*).

2. METODE

2.1 Alat dan Bahan

Alat yang digunakan dalam perancangan ini adalah solder, timah, multimeter digital, gelas ukur, pipet tetes, timbangan digital, *magnetic stirrer*, laser dioda, dan fotodioda. Sedangkan bahan yang digunakan adalah serat optik tipe FD-620-10 *step-indeks multimode*, Arduino Uno, LCD, kitosan, larutan aseton, $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$, Aquades, dan asam asetat 1%.

2.2 Perancangan Sistem Sensor Serat Optik

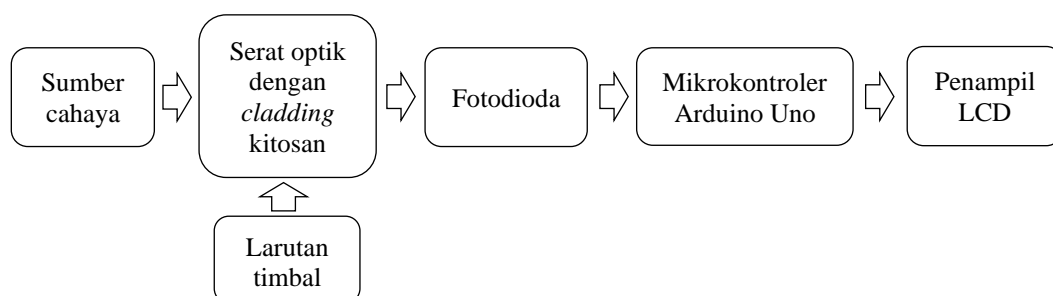
Perancangan sensor serat optik dilakukan dengan memotong kabel serat optik sepanjang 20 cm, kemudian *coating* serat optik tersebut dikupas menggunakan pisau *cutter* dengan variasi pengupasan $L=1\text{cm}$, $L=2\text{cm}$, dan $L=3\text{cm}$. *Cladding* serat optik kemudian dikupas dengan mencelupkan ke dalam larutan aseton kemudian digosok perlahan dengan tisu, selanjutnya diampelas berulang-ulang. Indikasi bahwa *cladding* serat optik sudah terkupas adalah dengan melihat angka yang ditunjukkan oleh BF5R, jika jauh dibawah 4000 artinya *cladding* serat optik telah terkupas. Indikasi lainnya adalah cahaya yang merambat di daerah *sensing* dapat dilihat oleh mata.

Cladding serat optik yang telah dikupas diganti dengan kitosan sebagai *cladding* baru. Gel kitosan dibuat dengan cara mencampurkan 5 gr serbuk kitosan dengan 150 ml larutan asam asetat 1%, kemudian campuran tersebut diaduk menggunakan *magnetic stirrer* selama 3 jam pada suhu $90\text{ }^\circ\text{C}$. Pelapisan serat optik dilakukan dengan teknik *dip-coating* (pencelupan) yaitu dengan mencelupkan bagian *core* tanpa *cladding* ke dalam gel kitosan kemudian ditarik perlahan-lahan dari wadah gel, selanjutnya dibiarkan mengering dalam waktu 24 jam.

2.3 Perancangan Diagram Blok Sistem Pengukuran

Serat optik *cladding* kitosan dicelupkan ke dalam wadah yang berisi larutan timbal. Larutan timbal dibuat dengan menimbang serbuk $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ sebanyak 0,16 gram. Serbuk $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ yang telah ditimbang dilarutkan dengan 100 ml aquades, larutan ini memiliki konsentrasi 1000 ppm. Larutan timbal 1000 ppm dipipet sebanyak 10 ml, kemudian diencerkan dengan aquades hingga 100 ml sehingga didapatkan larutan timbal dengan konsentrasi 100 ppm. Konsentrasi larutan 100 ppm diencerkan menggunakan persamaan pengenceran untuk mendapatkan nilai konsentrasi larutan timbal yang terukur. Dalam penelitian ini digunakan lima variasi konsentasi larutan timbal yang terukur, yaitu 0,01 ppm; 0,03 ppm; 0,06 ppm; 0,09 ppm; dan 0,12 ppm. Selanjutnya serat optik dikarakterisasi dengan variasi

jari-jari *bending* (pembengkokan) dan lurus. Variasi jari-jari *bending* serat optik yaitu 2,5 cm, 3,5 cm, dan 4,5 cm. Diagram blok sistem pengukuran diperlihatkan pada Gambar 1.

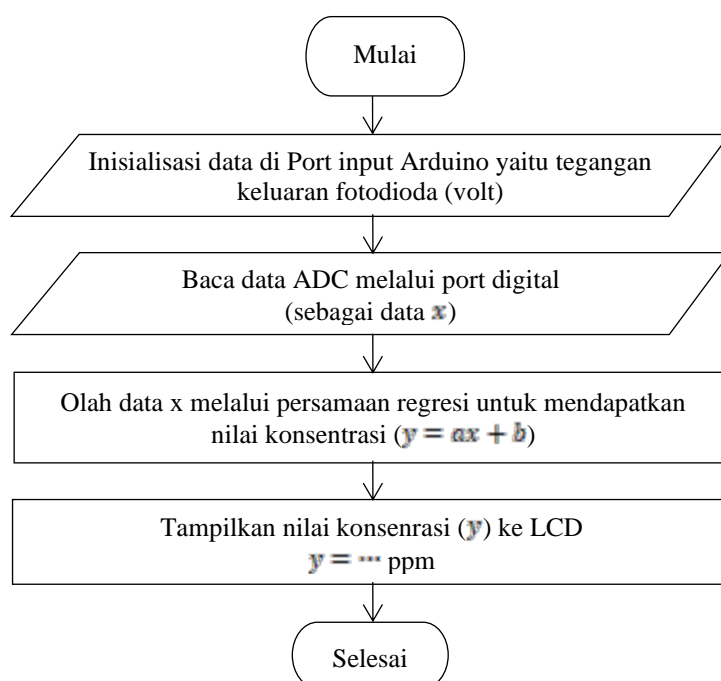


Gambar 1 Diagram blok sistem pengukuran konsentrasi larutan timbal

Serat optik kemudian disinari oleh sumber cahaya yaitu laser dioda. Cahaya yang menjalar didalam serat optik akan dideteksi oleh fotodiode sehingga didapatkan tegangan keluarannya. Tegangan keluaran dari fotodiode dikirim ke Arduino Uno untuk dirubah kebentuk bilangan desimal oleh ADC (*Analog to Digital Converter*) internal pada Arduino Uno. Data akan diproses oleh Arduino Uno sesuai dengan program yang dirancang dan hasil berupa konsentrasi ditampilkan melalui LCD.

2.4 Perancangan Perangkat Lunak Sistem

Karakterisasi selanjutnya adalah melihat fungsi transfer yang diperoleh dari perbandingan konsentrasi terhadap desimal ADC Arduino Uno. Perubahan konsentrasi mengakibatkan berubahnya nilai desimal ADC Arduino Uno. Fungsi transfer ini ditulis ke dalam bahasa pemrograman Arduino Uno untuk memproses pembacaan pada alat ukur konsentrasi larutan timbal. Berdasarkan prinsip kerja sistem yang dirancang maka diagram alir program dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2 Diagram alir proses pengukuran konsentrasi larutan timbal

Cahaya dari laser dioda merambat di dalam serat optik dengan *cladding* kitosan untuk menyerap ion logam berat timbal, kemudian cahaya tersebut dideteksi dan dirubah menjadi sinyal listrik oleh fotodioda. Sinyal analog dari fotodioda dikirim ke Arduino Uno dan dirubah menjadi sinyal digital oleh ADC Arduino Uno. Setiap perubahan tegangan keluaran fotodioda diproses oleh Arduino Uno. Hasil pengukuran konsentrasi logam timbal ditampilkan melalui LCD dan dibandingkan dengan nilai konsentrasi yang terukur.

2.5 Teknik Analisis Data

Sistem pengukuran konsentrasi larutan timbal ini memerlukan teknik analisis data untuk mengetahui persen kesalahan dalam sistem pengukuran. Besar persentase kesalahan dapat ditentukan dengan Persamaan 1.

$$\% \text{ Error} = \left(\frac{\alpha_f - \alpha_i}{\alpha_f} \right) \times 100\% \quad (1)$$

Persamaan (1) menunjukkan nilai persentase kesalahan, α_f adalah nilai konsentrasi yang terukur dan α_i adalah nilai konsentrasi yang terbaca pada alat yang dirancang.

3. HASIL DAN DISKUSI

3.1 Karakterisasi Sensor Serat Optik

Karakterisasi sensor serat optik dilakukan dengan melihat hubungan antara tegangan keluaran dengan konsentrasi larutan timbal yang terukur. Sensor serat optik yang memiliki koefisien korelasi paling optimum akan digunakan pada alat ukur. Data hasil karakterisasi dapat dilihat pada Tabel 1.

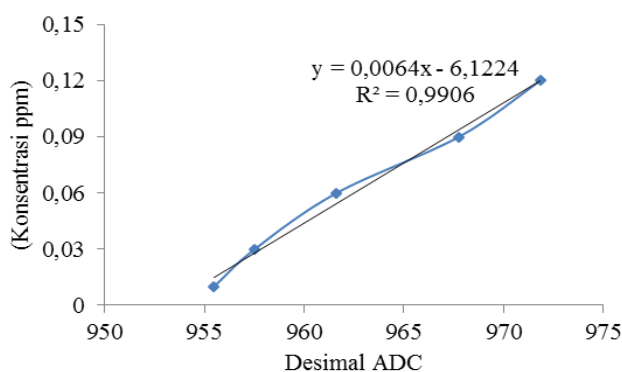
Tabel 1 Data hasil karakterisasi sensor serat optik

Konsentrasi (ppm)	Tegangan Keluaran (V)			
	Lurus	Bending		
		2,5 cm	3,5 cm	4,5 cm
0,01	3,54	4,78	4,67	4,41
0,03	4,16	4,8	4,68	4,47
0,06	4,19	4,81	4,7	4,49
0,09	4,21	4,83	4,73	4,55
0,12	4,34	4,79	4,75	4,59

Berdasarkan Tabel 1 menunjukkan bahwa semakin tinggi konsentrasi larutan timbal maka semakin besar tegangan keluaran sensor akibat dari intensitas cahaya yang semakin kecil. Penurunan intensitas cahaya disebabkan oleh semakin turunnya indeks bias lapisan kitosan setelah menyerap ion logam berat timbal dengan konsentrasi tinggi.. Hasil karakterisasi sensor serat optik menunjukkan bahwa pengukuran yang optimal yaitu pada pengupasan 1 cm dan jari-jari *bending* 3,5 cm dengan koefisien korelasi R^2 sebesar 0,9906 dan sensitifitas 0,7538.

3.2 Karakterisasi Fungsi Transfer Desimal ADC Arduino Uno

Karakterisasi ini dilakukan untuk mendapatkan fungsi transfer dari sensor serat optik. Fungsi transfer yang didapatkan kemudian digunakan sebagai persamaan dalam program pada sensor serat optik untuk mengukur konsentrasi ion logam berat timbal yang terbaca pada alat rancangan. Grafik karakterisasi konsentrasi terhadap desimal ADC Arduino Uno dapat dilihat pada Gambar 3. Dari hubungan konsentrasi larutan timbal terhadap desimal ADC pada panjang pengupasan 1 cm dan jari-jari *bending* 3,5 cm diperoleh persamaan $y = 0,0064x - 6,1224$. Koefisien korelasi (R^2) yang diperoleh sebesar 0.9906 yang berarti memiliki linearitas yang cukup baik.



Gambar 3 Grafik konsentrasi larutan timbal terhadap desimal ADC Arduino Uno

3.3 Pengujian Akhir Alat Ukur Konsentrasi Ion Logam Berat Timbal

Pengujian akhir alat ukur konsentrasi ini merupakan hasil pembacaan sensor serat optik pada LCD. Pengujian ini dilakukan untuk melihat seberapa akurat tingkat ketelitian dari alat ukur yang dirancang dengan nilai konsentrasi larutan yang telah dibuat dengan persamaan pengenceran. Hasil pengujian alat ukur dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2 Perbandingan pembacaan nilai konsentrasi pada LCD dengan nilai konsentrasi yang terukur

Konsentrasi yang terukur (ppm)	Konsentrasi yang terbaca pada LCD (ppm)	Kesalahan (%)
0,01	0,01	0
0,03	0,03	0
0,06	0,02	66,67
0,09	0,03	66,67
0,12	0,02	83,33
Rata-rata kesalahan		43,334

Hasil pengukuran antara nilai konsentrasi yang terbaca pada LCD dengan nilai konsentrasi yang terukur didapatkan rata-rata kesalahan sebesar 43,334%. Pada konsentrasi 0,01 ppm hingga 0,03 ppm sensor serat optik ini dapat bekerja dengan baik. Hal ini ditunjukkan oleh nilai kesalahannya 0% artinya tidak ada kesalahan dalam pengujian ini. Sementara itu pada konsentrasi 0,06 ppm hingga 0,12 ppm, sensor serat optik tidak dapat bekerja dengan baik yang ditunjukkan oleh nilai kesalahan yang besar. Beberapa faktor yang menyebabkan besarnya nilai kesalahan disebabkan karena sensor yang dirancang masih sangat rentan terhadap kesalahan sistematis dan pemakaian sensor serat optik secara berulang-ulang mengakibatkan kemampuan kitosan untuk menyerap ion logam berat timbal berkurang, sehingga mengakibatkan kurang stabil dalam penyerapan intensitas cahaya.

Faktor lain yang menyebabkan nilai kesalahan besar dipengaruhi oleh ketebalan lapisan kitosan. Proses pelapisan kitosan pada serat optik masih menggunakan teknik *dip-coating* manual, sehingga untuk mendapatkan ketebalan identik sulit dilakukan. Semakin tebal lapisan kitosan maka sensitivitas sensor semakin rendah. Selain ketebalan lapisan kitosan, pelapisan kitosan pada permukaan serat optik yang tidak merata juga mempengaruhi hasil keluaran. Ketika sensor serat optik dicelupkan kedalam larutan ion logam berat timbal, maka kitosan akan menyerap ion logam berat timbal dalam kadar yang sama setiap sisinya. Hal ini menyebabkan pembengkakan kitosan, karena pelapisan kitosan yang tidak merata sehingga hanya sedikit ion timbal yang terserap oleh kitosan dan menyebabkan hasil pengukuran kurang akurat. Sensor serat optik *evanescent* dengan *cladding* kitosan sudah dapat merespon konsentrasi ion logam berat timbal, namun perancangan sensor serat optik *evanescent* dengan *cladding* kitosan perlu adanya standar dan fabrikasi yang teruji agar hasil pengukuran yang didapatkan lebih akurat.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan pengujian dan analisis yang telah dilakukan, maka dapat disimpulkan bahwa sensor serat optik *cladding* kitosan dapat digunakan sebagai sensor konsentrasi ion logam berat timbal. Hasil pengujian karakterisasi sensor yang optimal yaitu pada panjang pengupasan 1 cm dan jari-jari *bending* 3,5 cm dengan koefisien korelasi sebesar $R^2 = 0,9906$. Nilai rata-rata kesalahan yang didapatkan dari nilai konsentrasi yang terbaca pada LCD dengan nilai konsentrasi larutan timbal terukur sebesar 43,334%. Alat yang dirancang mampu mengukur konsentrasi larutan timbal pada konsentrasi 0,01 ppm hingga 0,03 ppm.

DAFTAR PUSTAKA

- Albadi'ah, I.V., "Sensor Serat Optik Plastik Berbasis Adsorpsi *Evanescent Wave* dengan Pelapisan Kitosan untuk Deteksi Ion Logam Berat Kadmium (Cd) dalam Air", *Skripsi*, Universitas Negeri Semarang, 2017.
- Aldinomera, R., Destiarti, L., Ardiningsih, P., "Penentuan Kadar Timbal (II) pada Air Sungai Kapuas secara Spektrofotometri Ultra Violet-Visibe", *JKK*, 3, 1-6 (2014).
- Manalu, F. L., "Kajian Kandungan Logam Berat Timbal (Pb), Kadmium (Cd), Kromium (Cr), Tembaga (Cu) dan Mangan (Mn) pada Rumput Laut (*Sargassum sp*) di Pesisir Teluk Lampung Secara Spektrofotometri Serapan Atom", *Skripsi*, Universitas Lampung, 2017.
- Sanjaya, I. dan Yuanita, L., "Adsorpsi Pb (II) oleh Kitosan Hasil Isolasi Kitin Cangkang Kepiting Bakau (*Scylla sp*)", *Jurnal Ilmu Dasar*, 8, 30-36 (2007).

- Tahril, I. dan Said, I., "Analisis Logam Timbal (Pb) dan Besi (Fe) dalam Air Laut di Wilayah Pesisir Pelabuhan Fery Taipa Kecamatan Palu Utara", *Jurnal Pendidikan Kimia*, 1, 181-186 (2012).
- Yulianti, I. Sukiswo, Saputra, B.A. Siti, Y.H., "Karakterisasi Serat Optik Berlapis Kitosan untuk Deteksi Ion Logam Kadmium", *Jurnal Fisika*, 5, (2015).
- Yunianti, S. Maharani, D.K., "Pemanfaatan Membran Kitosan Silika untuk Menurunkan Kadar Ion Logam Pb (II) dalam Larutan", *Journal of Chemistry*, 1, (2012).