

Karakterisasi Serat Optik Berlapis Kitosan Untuk Deteksi Ion Logam Kadmium

Ian Yulianti^{1,*} *Sukiswo S. E*¹ *Budi A. Saputa*¹ *Siti Yulia H*¹
¹ *Jurusan Fisika, FMIPA Universitas Negeri Semarang, Indonesia*
Jl. Raya Sekaran Gunungpati-Semarang 50229

Email: ianyulianti@gmail.com

Abstrak

Keberadaan ion logam berat dalam air dapat menyebabkan masalah kesehatan yang serius bagi manusia mengingat ion logam berat bersifat racun. Oleh karena itu, deteksi ion logam berat dalam air, khususnya dalam sumber air minum penting dilakukan. Untuk menghemat waktu dan tenaga serta untuk mendapatkan data *real-time*, deteksi ion logam berat dapat dilakukan dengan menggunakan sensor serat optik. Dalam penelitian ini, telah dilakukan karakterisasi serat optik sebagai sensor untuk mendeteksi ion logam berat kadmium dengan menggunakan teknik absorpsi gelombang *evanescent*. Serat optik dimodifikasi menjadi sensor ion logam berat dengan mengganti bagian *cladding* dengan kitosan, material yang sensitif terhadap ion logam berat kadmium. Karakterisasi dilakukan untuk mendapatkan nilai sensitivitas dan waktu respon. Hasil pengukuran dengan mikroskop CCD menunjukkan bahwa ketebalan lapisan kitosan adalah 117 μ m. Sensitivitas sensor adalah -4.5dBm/ppm, sedangkan waktu respon 2 menit pada konsentrasi 1ppm dan 7 menit pada konsentrasi 3ppm.

Kata kunci: ion logam kadmium, kitosan, sensor, serat optik.

PENDAHULUAN

Pembuangan limbah industri secara tidak terkontrol menyebabkan timbulnya pencemaran lingkungan diantaranya berupa pencemaran air. Limbah cair industri yang dibuang secara terbuka menimbulkan air terkontaminasi dengan berbagai zat-zat yang berbahaya seperti ion logam berat. Air yang mengandung logam berat jika dikonsumsi akan menyebabkan masalah kesehatan yang serius bagi manusia mengingat ion logam berat bersifat racun. Konsumsi air minum yang mengandung logam berat yang melebihi kadar aman menyebabkan penyakit yang berbahaya seperti kanker, penyakit jantung, kerusakan otak, gagal ginjal serta gangguan sistem syaraf (Dong et al., 2009; Liu, Qu, & Kadiiska, 2009). Pada anak-anak, konsumsi air minum yang mengandung logam berat dapat menimbulkan gangguan pertumbuhan fisik dan mental serta penyakit kronis lainnya (Cho et al., 2012). Logam berat kadmium (II) menempati ranking ke-enam zat beracun.

Setiap tahun jumlah limbah kadmium (II) yang dibuang pada lingkungan lebih dari 680 ton (Han et al., 2009).

Oleh karena sifat ion logam kadmium yang membahayakan seperti yang diuraikan di atas, maka pendeteksian ion logam kadmium, terutama pada sumber air minum, menjadi hal yang sangat penting. Sensor konvensional biasa digunakan untuk deteksi ion logam berat dengan cara pengukuran laboratorium atau pengukuran titik. Oleh karena itu, pengukuran *in-situ* dengan teknik sistem sensor terdistribusi tidak dapat dilakukan. Untuk monitoring kualitas air, sangat penting agar deteksi ion logam dapat dilakukan *real-time*, *in-situ* dan terdistribusi sehingga dapat menghemat waktu, biaya dan tenaga.

Kelemahan sensor konvensional tersebut diatas dapat diatasi dengan menggunakan sensor optik. Kelebihan sensor optik adalah bahwa sensor optik tidak dipengaruhi oleh interferensi elektromagnetik, kompak, dapat digunakan untuk sensor jarak jauh, pengukuran

real time serta dapat disusun dalam sistem terdistribusi dan termultipleks. Mengingat berbagai kelebihan sensor optik tersebut, sensor optik telah banyak dikembangkan untuk berbagai aplikasi seperti dalam teknik sipil untuk sensor strain untuk membangun smart structure (Olivero, 2014), kimia untuk mengukur oksigen (Chen et al., 2012), carbon dioksida (Chu & Lo, 2009), dan kelembaban (Akita et al., 2010).

Sensor optik untuk deteksi ion logam telah dikembangkan dengan berbagai metode seperti reflektansi (Yusof and Ahmad, 2003; Guillemain et al, 2009), floresensi (Mayra et al., 2008; Achatz et al., 2011) dan absorpsi (Balaji et al, 2006; Prabhakaran et al., 2007). Kelemahan dari metode reflektansi adalah desain yang kompleks dan tidak cocok untuk digunakan dalam sistem sensor termultipleks. Metode floresensi dilakukan dengan cara melapisi serat optik dengan material yang memiliki sifat floresensi. Metode ini cukup menarik karena sensitivitasnya yang tinggi. Namun metode floresensi memiliki kelemahan diantaranya proses fabrikasi yang rumit dan biaya yang tinggi. Dalam penelitian ini, metode yang digunakan adalah metode absorpsi gelombang *evanescent* karena proses fabrikasi metode ini cukup mudah serta biaya yang rendah.

METODE

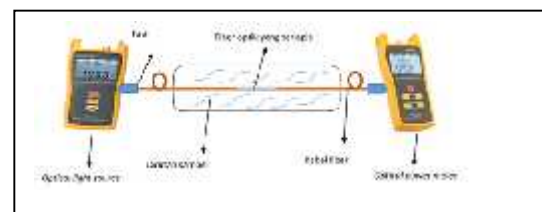
Agar serat optik dapat dijadikan sebagai sensor ion logam berat, sensor optik harus dimodifikasi sehingga serat optik menjadi sensitif terhadap ion logam kadmium. Dalam metode absorpsi gelombang *evanescent*, sebagian *cladding* serat optik dilepaskan sehingga yang tersisa hanya bagian *core* saja. Penyerapan gelombang *evanescent* dipengaruhi oleh indeks bias lapisan *cladding* serat optik. Dengan mengganti lapisan *cladding* dengan material yang nilai indeks biasnya berubah jika menyerap ion logam kadmium, maka serat optik dapat berfungsi sebagai sensor ion logam kadmium. Untuk deteksi logam berat, berbagai jenis material telah digunakan sebagai material *coating*, diantaranya *ditizone* untuk deteksi timbal dan merkuri (Zargoosh & Babadi, 2015) dan *pyrrole* dan kitosan untuk deteksi kadmium, timbal dan merkuri (Verma & Gupta, 2015). Dalam penelitian ini, material yang digunakan

untuk menggantikan lapisan *cladding* adalah kitosan karena kitosan merupakan material yang dapat menyerap ion logam kadmium.

Serat optik yang digunakan untuk difabrikasi menjadi sensor ion kadmium adalah serat optik silika multimode dengan diameter *cladding* 125 μm dan diameter core 50 μm . Langkah pertama yang dilakukan adalah memotong kabel fiber optik sepanjang 60 cm kemudian melepaskan bagian *jacket* dan *buffer* sepanjang 3cm menggunakan *fiber optic stripper* dan cutter pada bagian tengah kabel fiber optik. Langkah selanjutnya adalah melepaskan lapisan *cladding* dengan melakukan *etching* menggunakan larutan HF 50% selama 56 menit. Setelah itu, serat optik dilapisi dengan larutan kitosan dengan teknik *dip-coating*.

Karakterisasi sensor dilakukan dengan mencelupkan serat optik yang sudah dilapisi dengan kitosan dalam beberapa larutan kadmium dengan konsentrasi yang bervariasi.

Pada bagian ujung fiber optik dihubungkan dengan *optical light source* sebagai sumber cahaya sementara ujung yang lain dihubungkan dengan optical power meter untuk mengukur intensitas cahaya yang diteruskan setelah melalui larutan kadmium seperti terlihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Set up alat untuk karakterisasi sensor optik.

Pengukuran intensitas cahaya untuk berbagai nilai konsentrasi akan memberikan sensitivitas sensor dan daerah linear sensor. Waktu respon sensor diukur dengan cara mencatat perubahan nilai intensitas keluaran setiap menit untuk setiap nilai konsentrasi. Waktu respon merupakan waktu yang diperlukan oleh sensor tersebut untuk mencapai 90% dari nilai akhir yaitu nilai output yang setimbang (*steady state*).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Citra bagian serat optik yang sudah dilapisi dengan kitosan dilihat dengan menggunakan mikroskop CCD dengan pembesaran 400 kali ditunjukkan pada Gambar 2(a), sedangkan prototype serat optik yang sudah dikembangkan ditunjukkan pada Gambar 2(b).

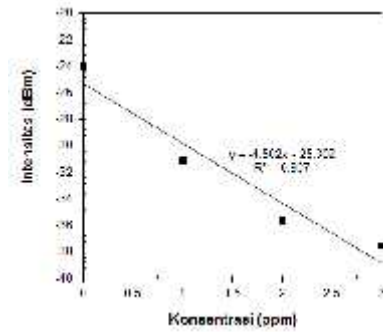


(a) (b)

Gambar 2. Citra serat optik yang dilapisi kitosan (a) dan prototype serat optik sebagai sensor ion logam (b).

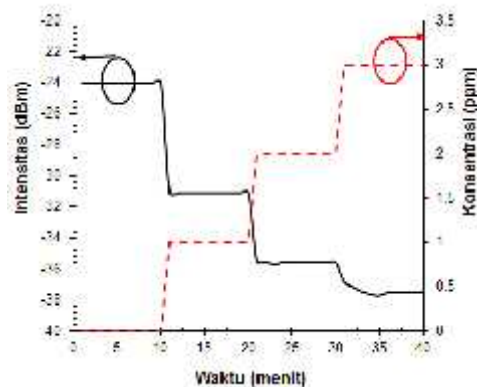
Sebelum dilakukan karakterisasi sensor, pengukuran intensitas cahaya pada keluaran serat optik utuh (sebelum dilakukan pengelupasan bagian cladding) dilakukan terlebih dahulu sebagai bahan perbandingan. Hasil pengukuran dengan OPM menunjukkan bahwa intensitas keluaran pada serat optik utuh adalah -18.49 dBm. Pengukuran intensitas juga dilakukan setelah sebagian cladding dari serat optik dilepaskan atau sebelum dilakukan proses coating. Terlihat bahwa intensitas cahaya pada serat optik yang sebagian cladding telah dilepas adalah -19.88 dBm.

Hasil pengukuran intensitas cahaya pada saat sensor optik diletakkan dalam larutan ion kadmium dengan konsentrasi yang bervariasi ditunjukkan pada Gambar 3. Hasil regresi linier menunjukkan bahwa sensitivitas sensor adalah -4.5 dBm/ppm dengan koefisien korelasi 0.967 . Hal ini menunjukkan bahwa sensor optik yang telah difabrikasi memiliki sensitivitas yang tinggi. Nilai gradien yang negatif menunjukkan bahwa semakin tinggi konsentrasi ion kadmium, intensitas cahaya pada keluaran serat optik semakin rendah. Penurunan intensitas cahaya disebabkan oleh semakin meningkatnya indeks bias lapisan kitosan setelah menyerap ion kadmium dengan konsentrasi tinggi.



Gambar 3. Intensitas cahaya keluaran sebagai fungsi dari konsentrasi ion kadmium.

Waktu respon sensor yang menunjukkan waktu yang diperlukan untuk sensor memberikan respon yang konstan (steady state equilibrium) ditunjukkan pada Gambar 4. Terlihat bahwa respon sensor untuk perubahan dari konsentrasi 0 ppm (aquades murni tanpa ion kadmium) ke konsentrasi 1 ppm terjadi dalam waktu yang relatif singkat yaitu sekitar 2 menit. Sementara itu, untuk perubahan ke arah konsentrasi yang lebih tinggi, waktu respon sensor semakin lama. Untuk perubahan dari 1 ppm ke 2 ppm, waktu respon sensor adalah sekitar 5 menit. Hal ini ditunjukkan oleh daerah yang berfluktuasi pada kurva intensitas pada selang waktu 20 hingga 25 menit. Peningkatan waktu respon teramati juga pada saat kenaikan konsentrasi dari 2 ppm ke 3 ppm, yaitu sekitar 7 menit, yang dapat dilihat dari kurva intensitas pada selang waktu antara 30 hingga 37 menit. Peningkatan ini disebabkan semakin banyaknya ion kadmium yang terlibat dalam proses transfer ion dari larutan ke dalam lapisan kitosan.



Gambar 4. Waktu respon sensor untuk beberapa nilai konsentrasi ion kadmium.

PENUTUP

Karakterisasi serat optik sebagai sensor untuk deteksi ion logam berat kadmium telah dilakukan untuk sensitivitas dan waktu respon. Serat optik yang digunakan adalah serat optik silika multimode dengan diameter core 50 μm dan diameter cladding 125 μm . Material yang digunakan sebagai pengganti bagian *cladding* adalah kitosan yang merupakan material yang memiliki sifat yang dapat menyerap ion logam berat, khususnya ion kadmium. Sebelum serat optik dilapisi dengan kitosan, bagian *jacket* dan *cladding* dari serat optik dilepaskan terlebih dahulu. Pelapisan kitosan dilakukan dengan teknik *dip-coating*. Hasil karakterisasi menunjukkan bahwa intensitas cahaya yang telah dilewatkan pada serat optik yang bagian *cladding*-nya telah diganti dengan lapisan kitosan berubah dengan berubahnya konsentrasi ion logam kadmium. Oleh karena itu, serat optik yang dilapisi dengan kitosan berpotensi untuk dikembangkan lebih lanjut menjadi sensor ion logam berat, khususnya ion logam kadmium. Namun, mengingat waktu respon yang lama, perbaikan pada teknik *coating* dan optimasi ketebalan *coating* diperlukan agar sensor memiliki waktu respon yang singkat disamping sensitivitas yang tinggi.

DAFTAR PUSTAKA

- Achatz, D. E., Ali, R., Wolfbeis, O. S. 2011. Luminescent chemical sensing, biosensing, and screening using upconverting nanoparticles. *Top Current Chemistry*, 300: 29–50.
- Akita, S., Sasaki, H., Watanabe, K., & Seki, A. 2010. A humidity sensor based on a hetero-core optical fiber. *Sensors and Actuators B: Chemical*, 147: 385-391
- Balaji, T., Sasidharan, M., Matsunaga, H. 2006. Naked eye detection of cadmium using inorganic-organic hybrid mesoporous material. *Analytical Bioanalytical Chemistry*, 384: 488-494.
- Chen, R. S., Farmery, A. D., Obeid, A., & Hahn, C. E. W. 2012. A Cylindrical-Core Fiber-Optic Oxygen Sensor Based on Fluorescence Quenching of a Platinum Complex Immobilized in a Polymer Matrix. *IEEE Sensors Journal*, 12: 71-75.
- Cho, E. S., Kim, J., Tejerina, B., Hermans, T. M., Jiang, H., Nakanishi, H. 2012. Ultrasensitive detection of toxic cations through changes in the tunnelling current across films of striped nanoparticles. *Nature Materials*, 11: 978–985.
- Chu, C.-S., & Lo, Y.-L. 2009. Highly sensitive and linear optical fiber carbon dioxide sensor based on sol-gel matrix doped with silica particles and HPTS. *Sensors and Actuators B: Chemical*, 143: 205-210.
- Dong, Z., Wang, L., Xu, J., Li, Y., Zhang, Y., Zhang, S., et al. 2009. Promotion of autophagy and inhibition of apoptosis by low concentrations of cadmium in vascular endothelial cells. *Toxicology in Vitro*, 23: 105–110.
- Guillemain, H., Rajarajan, M., Sun, T., Grattan, K. T. V. 2009. A self-referenced reflectance sensor for the detection of lead and other heavy metal ions using optical fibres, *Measurement Science Technology*, 20: 045207.
- Gumpu, M. B., Sethuraman, S., Krishnan, U.M., Rayappan, J. B.B. 2015. A review on detection of heavy metal ions in water – An electrochemical approach. *Sensors and Actuators B*, 213: 515–533.
- Liu, J., Qu, W., & Kadiiska, M. B. 2009. Role of oxidative stress in cadmium toxicity and carcinogenesis. *Toxicology and Applied Pharmacology*, 238: 209–214.
- Mayra, T., Klimant, I., Wolfbeis, O. S., Werner, T. 2008. Dual lifetime referenced optical sensor membrane for the determination of copper (II) ions. *Analytical ChimicaActa*, 462: 1 - 10.

- Olivero, M. , Perrone, G., Vallan, A., and Tosi D. 2014. Comparative Study of Fiber Bragg Gratings and Fiber Polarimetric Sensors for Structural Health Monitoring of Carbon Composites. *Advances in Optical Technologies*, Article ID 804905, 8 pages.
- Prabhakaran, D., Nanjo, H., Matsunaga, H. 2007. Naked eye sensor on polyvinyl chloride platform of chromo-ionophore molecular assemblies: A smart way for the colorimetric sensing of toxic metal ions. *Analytical ChimicaActa*, 601: 108 - 117.
- Yeo, T. L., Sun, T., Grattan, K. T. V., Parry, D., Lade, R., & Powell, B. D. 2005. Characterisation of a polymer-coated fibre Bragg grating sensor for relative humidity sensing. *Sensors and Actuators B: Chemical*, 110: 148-156.
- Yusof, N. A., Ahmad, M. 2003. A flow-through optical fibre reflectance sensor for the detection of lead ion based on immobilized gallocynine. *Sensors and Actuators B*, 94: 201 – 209.
- Zargoosh, K. & Babadi F. F. 2015. Highly selective and sensitive optical sensor for determination of Pb^{2+} and Hg^{2+} ions based on the covalent immobilization of dithizone on agarose membrane. *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, 137: 105-110.
- Verma, R. & Gupta B. D. 2015. Detection of heavy metal ions in contaminated water by surface plasmon resonance based optical fibre sensor using conducting polymer and chitosan. *Food Chemistry*, 166: 568–575.

