

## FABRIKASI SENSOR SERAT OPTIK PLASTIK UNTUK DETEKSI ION LOGAM MERKURI DALAM AIR

Ida Vaeruzza, Kukuh Eka Kurniansyah, Faqih Darma, Ian Yulianti\*

Jurusan Fisika, Universitas Negeri Semarang, Kampus Sekaran, Gunungpati, Semarang

\*E-mail korespondensi: [ianyulianti@mail.unnes.ac.id](mailto:ianyulianti@mail.unnes.ac.id)

### ABSTRACT

*The presence of mercury ions is a serious threat to human health and environment. Water consumption containing mercury is very dangerous for human health. The purpose of this work is to design a heavy metal sensor ion using plastic optical fiber to detect mercury ions in water. The sensor was fabricated by coating the optical fiber by chitosan through dip-coating technique. There are three diameter of optical fiber sensor that was fabricated, which are 1087.64  $\mu\text{m}$  (sensor A), 1691.64  $\mu\text{m}$  (sensor B) and 1736.33  $\mu\text{m}$  (sensor C). Sensor characterization was done by connected the tip of plastic optical fiber to an LED and the other tip was connected to a photodiode. The results show that sensitivity of sample A is 0.32 mA/ppm, sample B is 0.56 mA/ppm and sample C is 0.64 mA/ppm. In terms of response time, it is shown that the response time for sensor A, B and C are 22 s, 42.5 s and 86 s respectively.*

**Keywords:** Plastic optical fiber, Chitosan, Mercury, Sensitivity

### ABSTRAK

*Merkuri adalah salah satu kontaminan yang memiliki sifat racun tinggi. Karena sifatnya yang beracun, konsumsi air minum yang terkontaminasi merkuri akan menimbulkan efek yang berbahaya bagi kesehatan. Penelitian ini bertujuan untuk mendesain sensor ion logam berat dengan menggunakan serat optik plastik untuk mengukur kadar merkuri dalam air. Fabrikasi sensor dilakukan dengan melapisi serat optik plastik menggunakan kitosan melalui teknik dip-coating. Sensor difabrikasi dengan tiga variasi diameter yaitu 1087,64  $\mu\text{m}$  (sensor A); 1691,64  $\mu\text{m}$  (sensor B) dan 1736,33  $\mu\text{m}$  (sensor C). Karakterisasi sensor dilakukan dengan menghubungkan ujung serat optik pada Light Emitting Diode (LED) dan ujung lainnya dihubungkan dengan fotodiode. Hasil karakterisasi menunjukkan sensitivitas sensor A sebesar 0,32 mA/ppm, sensor B sebesar 0,56 mA/ppm dan sensor C sebesar 0,64 mA/ppm. Sementara untuk waktu respon sensor A sebesar 22 s, sensor B 42,5 s dan sensor C 86 s.*

**Kata kunci:** Sensor serat optik, Kitosan, Merkuri, Sensitivitas

Diterima 29-08-2019 | Disetujui 30-09-2019 | Dipublikasi 31-10-2019

### PENDAHULUAN

Keberadaan ion logam berat merupakan ancaman yang cukup serius bagi kesehatan manusia dan lingkungan [1]. Hal ini dikarenakan sifat ion logam berat yang beracun cenderung mengalami bioakumulasi dan tidak mudah terurai dalam tubuh manusia [2]. Ion logam berat yang paling banyak ditemukan adalah kadmium, timbal dan merkuri. Menurut baku mutu yang ditetapkan pemerintah, kadar merkuri dalam air yang diizinkan adalah 0,001 mg/liter. Konsumsi

logam merkuri dapat menyebabkan berbagai dampak buruk diantaranya merusak bayi dalam kandungan, mengganggu kerja sistem saraf pusat manusia, mengganggu kerja organ reproduksi dan kekebalan tubuh.

Penelitian tentang pendeteksian dan penyerapan ion logam berat telah banyak dilakukan. Metode yang paling banyak digunakan untuk mendeteksi ion logam berat adalah metode spektroskopi seperti spektroskopi emisi optik plasma induktif (ICP-OES), spektrometri massa plasma induktif,

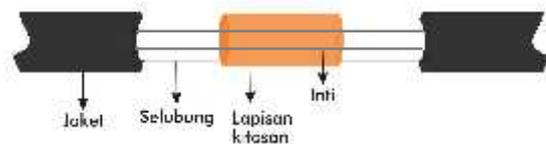
spektrometri massa atom (ATP), spektrofotometer serapan atom (ATP) dan spektrometri fluoresensi sinar-X [3]. Metode-metode tersebut dianggap tidak efisien karena metodenya rumit, membutuhkan instrumentasi yang mahal dan pengambilan data tidak dapat dilakukan secara real time. Untuk mengatasi kelemahan tersebut, maka dikembangkan sistem sensor serat optik yang mudah fabrikasinya, menggunakan rangkaian instrumentasi yang sederhana, biaya rendah dan mendukung untuk dilakukan pengambilan data secara real time, on-line dan terdistribusi. Pemakaian serat optik mempunyai beberapa kelebihan diantaranya sederhana, murah, ringan, beroperasi pada cahaya tampak, lebih fleksibel dan tahan terhadap derau elektromagnetik.

Sensor serat optik untuk deteksi ion logam berat telah dikembangkan dengan berbagai metode seperti reflektansi [4], [5], *surface plasmon resonance* (SPR) [6], [7] dan floresensi [8], [9]. Metode yang telah dikembangkan memiliki kelemahan dan keunggulan. Metode reflektansi memiliki desain yang rumit sehingga tidak cocok digunakan dalam sistem sensor termultipleks. Metode floresensi memiliki keunggulan tingkat sensitivitas yang tinggi namun proses fabrikasinya rumit dan biaya yang tinggi. Dibandingkan dengan metode yang telah disebutkan di atas, metode adsorpsi memiliki kelebihan terutama pada kemudahan proses fabrikasi.

Prinsip sensor serat optik dengan metode adsorpsi ini didasarkan pada fenomena adsorpsi gelombang evanescent pada batas inti dan selubung serat optik. Perubahan material selubung menyebabkan adsorpsi pada selubung berubah sehingga indeks biasnya berubah pula. Perubahan indeks bias selubung menentukan kedalaman penetrasi medan evanescent. Penurunan indeks bias selubung akan meningkatkan kedalaman penetrasi sehingga intensitas medan evanescent akan menurun. Sensor serat optik berbasis gelombang evanescent untuk deteksi ion logam berat telah dibuat dengan menggunakan

serat optik silika U-bend [10]. Namun, karena diameter intinya kecil ( $\sim 50\mu\text{m}$ ), sensor serat optik silika menjadi sangat rapuh. Untuk mengatasi kelemahan ini serat optik silika diganti dengan serat optik plastik yang memiliki diameter inti lebih besar ( $\sim 980\mu\text{m}$ ). Sensor serat optik berbasis gelombang evanescent difabrikasi dengan mengganti material selubung yang berbahan fluorinated polymer menggunakan material yang memiliki sensitivitas tinggi terhadap adanya merkuri di dalam air. Salah satu material yang sensitif terhadap ion logam berat merkuri adalah kitosan. Kitosan dapat digunakan sebagai adsorben yang dapat menyerap logam-logam berat.  $\text{NH}_3^+$  dalam kitosan mampu mengadsorpsi logam berat melalui mekanisme pembentukan chelate dan pertukaran ion [11]. Berdasarkan uraian di atas maka pada penelitian ini dilakukan fabrikasi dan karakterisasi sensor serat optik plastik untuk mendeteksi ion logam berat merkuri di dalam air dengan teknik adsorpsi gelombang evanescent dengan menggunakan kitosan sebagai material pengganti selubung.

## METODE PENELITIAN



**Gambar 1.** Skema sensor serat optik plastik dengan selubung kitosan.

Sensor serat optik plastik berdasarkan prinsip gelombang evanescent terdiri dari serat optik yang dimodifikasi menjadi transduser sehingga dapat mendeteksi adanya perubahan konsentrasi merkuri pada air. Modifikasi yang dilakukan adalah dengan mengganti sebagian dari selubung serat optik plastik menggunakan material kitosan yang sensitif terhadap ion logam berat. Skema sensor serat optik plastik dengan selubung kitosan ditunjukkan pada Gambar 1. Fabrikasi sensor serat optik plastik dilakukan dengan memvariasikan ketebalan

lapisan selubung termodifikasi pada daerah pengindra. Pengaruh ketebalan lapisan selubung dikaji untuk mendapatkan sensor serat optik plastik yang optimal dengan sensitivitas tinggi dan waktu respon yang cukup singkat.

Sensor serat optik plastik untuk mendeteksi konsentrasi merkuri dibuat dengan memotong kabel serat optik plastik sepanjang 20 cm. Pada bagian tengah serat optik plastik sepanjang 2 cm dilakukan pengupasan jaket pelindung sehingga tersisa bagian inti dan selubung saja. Bagian tersebut selanjutnya dietsa selama 90 detik untuk menghilangkan lapisan selubung serat optik plastik. Proses etsa dilakukan menggunakan larutan aseton 99 % [12]. Besarnya kecepatan etsa ( $e$ ) dapat dihitung melalui persamaan berikut:

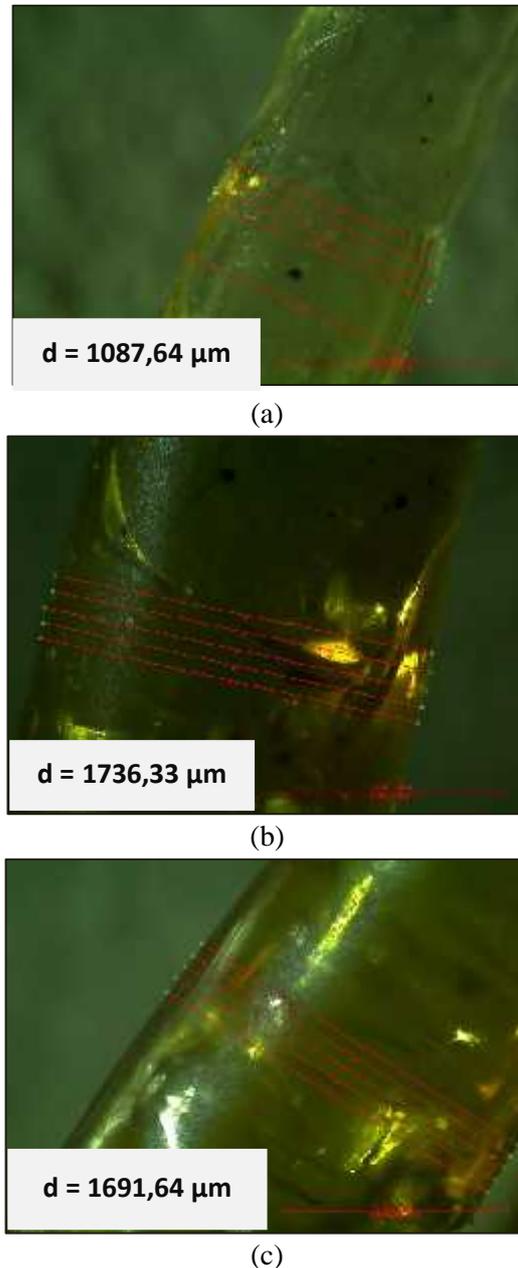
$$e = \frac{(g_1 - g_2)}{t} \quad (1)$$

dengan  $g_1$  adalah diameter serat optik plastik sebelum etsa,  $g_2$  adalah diameter serat optik plastik sesudah etsa dan  $t$  adalah waktu etsa.

Untuk melapisi serat optik plastik, sebanyak 5 gram serbuk kitosan dicampurkan dengan larutan asam asetat 1% sebanyak 150 ml. Campuran dipanaskan dan diaduk pada suhu 90°C selama 4 jam. Serat optik plastik selanjutnya dilapisi menggunakan teknik dip-coating yaitu dengan cara serat optik dicelupkan pada larutan kitosan panas dan ditahan selama 10 detik, kemudian ditarik perlahan dan dibiarkan mengering pada suhu ruang. Pelapisan dilakukan berulang sebanyak 4 kali untuk sensor A, 8 kali untuk sensor B dan 12 kali untuk sensor C. Diameter akhir untuk sensor A sebesar 1087,64  $\mu\text{m}$ , untuk sensor B diameter akhirnya sebesar 1691,64  $\mu\text{m}$  dan sensor C sebesar 1736,33  $\mu\text{m}$  ditunjukkan pada Gambar 2.

Pengujian respon sensor dilakukan dengan dengan menghubungkan salah satu ujung serat optik plastik dengan light emitting diode (LED) merah dengan panjang gelombang 650 nm sebagai sumber cahaya dan ujung lainnya dihubungkan pada fotodioda. Pengambilan

data dilakukan dengan mencatat nilai arus setiap 5 sekon hingga nilai arus stabil. Pengujian sensor dilakukan pada konsentrasi merkuri 0,1 ppm sampai dengan 1 ppm dengan interval 0,1.

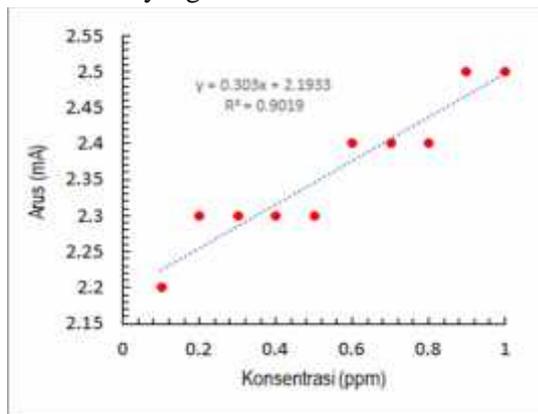


**Gambar 2.** Hasil pengukuran diameter serat optik plastik dengan mikroskop CCD untuk sensor A (a), sensor B (b) dan sensor C (c).

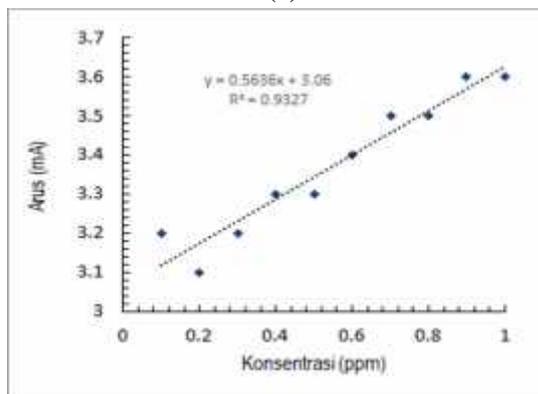
## HASIL DAN PEMBAHASAN

Gambar 3 menunjukkan grafik hasil karakterisasi sensor serat optik plastik pada sensor A, sensor B dan sensor C. Grafik hubungan konsentrasi larutan merkuri dengan

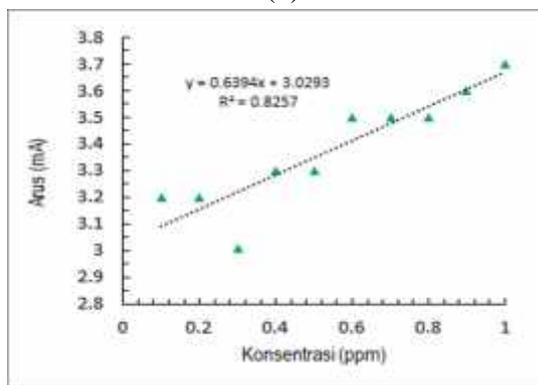
arus pada ketiga sensor menunjukkan gradien positif, yang artinya setiap kenaikan konsentrasi larutan mengakibatkan kenaikan arus. Kenaikan arus ini mengindikasikan adanya kenaikan intensitas cahaya yang ditransmisikan. Kenaikan intensitas cahaya dipengaruhi oleh perubahan indeks bias selubung. Ketika kitosan menyerap merkuri, ion merkuri menempel pada rantai polimer sehingga terbentuk struktur chelates dengan indeks bias yang lebih rendah.



(a)



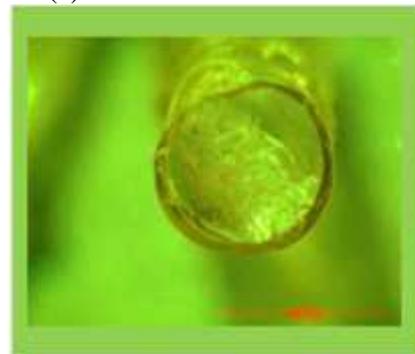
(b)



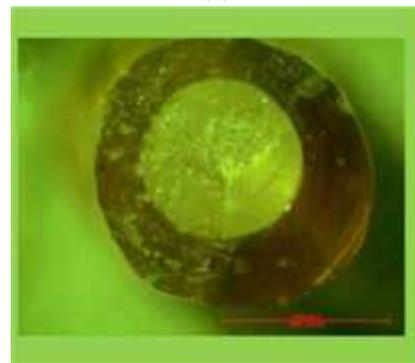
(c)

**Gambar 3.** Hubungan antara konsentrasi merkuri terhadap arus pada sensor serat optik

plastik untuk sensor A (a), sensor B (b) dan sensor C (c).



(a)



(b)



(c)

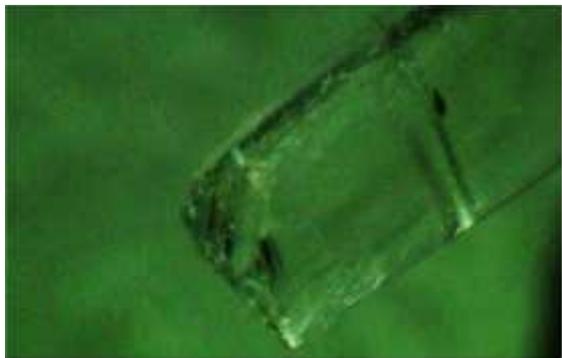
**Gambar 4.** Struktur melintang sensor serat optik plastik pada sensor A (a), sensor B (b) dan sensor C (c).

Nilai sensitivitas sensor tampak meningkat seiring dengan peningkatan ketebalan selubung. Sensor C dengan ketebalan paling tinggi memiliki nilai sensitivitas paling tinggi pula yaitu sebesar 0,64 mA/ppm. Sementara sensor A sensitivitasnya paling rendah yaitu sebesar 0,32 mA/ppm dan sensor B sensitivitasnya sebesar 0,56 mA/ppm. Nilai sensitivitas dipengaruhi oleh beberapa faktor diantaranya diameter inti serat optik dan homogenitas lapisan kitosan. Untuk diameter

inti, serat optik dari ketiga sensor besarnya sama sehingga pada kasus ini ditinjau homogenitas lapisan kitosan melalui gambar penampang melintang serat optik yang ditunjukkan pada Gambar 4.



(a)



(b)

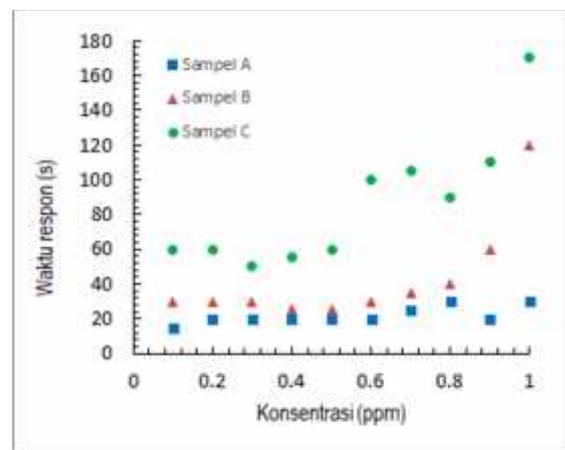


(c)

**Gambar 5.** Hasil pengamatan struktur morfologi ujung pemotongan serat optik plastik pada sensor A (a), sensor B (b) dan sensor C (c).

Dari Gambar 4 tampak bahwa pada sensor A terdapat bagian yang tidak homogen, pada sensor B juga tampak perbedaan ketebalan antara dua sisi yang berlawanan. Sementara sensor C tampak homogen di setiap sisinya sehingga nilai sensitivitas sensor C paling tinggi.

Ditinjau dari besarnya intensitas cahaya yang ditunjukkan oleh besarnya arus, dari Gambar 3 diperoleh data bahwa nilai arus paling tinggi terdapat pada sensor C yaitu 3,0mA - 3,7mA. Sementara nilai arus sensor B berkisar antara 3,1mA – 3,6mA dan untuk sensor A berkisar antara 2,2mA – 2,5mA. Semakin tinggi nilai arus artinya semakin besar intensitas cahaya yang berhasil ditransmisikan. Namun, apabila nilai arus rendah maka cahaya yang berhasil ditransmisikan semakin sedikit dan besarnya rugi daya meningkat. Rugi daya terbesar terdapat pada sensor A. Beberapa faktor yang mempengaruhi besarnya rugi daya adalah kesalahan pemotongan dan macrobending. Kesalahan pemotongan berhubungan erat dengan sudut datang cahaya sebelum masuk ke dalam serat optik. Apabila sudut ini lebih besar dari nilai numerical aperture (NA) serat optik maka cahaya tidak akan ditransmisikan melalui inti serat optik. Keadaan ini sesuai dengan Gambar 5 yang menunjukkan permukaan sensor B dan C yang lebih halus dibanding sensor A.



**Gambar 6.** Perbandingan waktu respon sensor serat optik plastik pada sensor A, sensor B dan sensor C.

Gambar 6 menampilkan perbandingan waktu respon sensor pada sensor A, sensor B dan sensor C. Waktu respon sensor adalah waktu yang dibutuhkan sensor untuk mencapai keadaan stabil. Ketika proses karakterisasi, lapisan kitosan menyerap ion merkuri. Saat itulah ion masuk ke dalam lapisan kitosan dan

mengisi rongga-rongga pada struktur kitosan. Konsentrasi yang rendah, waktu respon sensor relatif lebih singkat dibanding pada konsentrasi diatasnya. Ketebalan lapisan kitosan juga berpengaruh pada lamanya waktu respon sensor. Semakin tebal lapisan kitosan, maka banyaknya rongga yang akan diisi ion merkuri semakin bertambah. Oleh karena itu, waktu yang diperlukan untuk memenuhi rongga-rongga tersebut akan semakin lama. Sensor C dengan ketebalan paling tinggi memerlukan waktu respon yang paling lama dan sensor A dengan ketebalan paling rendah memiliki waktu respon yang paling rendah. Waktu respon rata-rata sensor A, B dan C berturut-turut sebesar 22 s, 42,5 s dan 86 s.

## KESIMPULAN

Sensor serat optik plastik berdasarkan metode absorpsi gelombang evanescent dengan modifikasi selubung untuk deteksi ion merkuri telah berhasil di fabrikasi. Hasilnya menunjukkan bahwa semakin tebal lapisan sensor maka sensitivitasnya semakin tinggi. Besarnya sensitivitas dipengaruhi oleh homogenitas lapisan kitosan dan diameter inti serat optik. Sementara besarnya arus dipengaruhi oleh keadaan permukaan pemotongan serat optik. Dalam hal waktu respon sensor menunjukkan semakin tebal lapisan kitosan maka waktu respon sensor semakin lama.

## UCAPAN TERIMAKASIH

Ucapan terima kasih disampaikan kepada Universitas Negeri Semarang atas bantuan dana selama penelitian, kepada staff Jurusan Fisika UNNES atas saran dan diskusinya dan kepada semua pihak yang telah membantu dalam menyelesaikan penelitian ini.

## REFERENSI

1. Tharakeswar, Y., Kalyan, Y., Gangadhar, B., Kumar, K. S. and Naidu, G R. (2012). Optical Chemical Sensor for Screening Cadmium (II) in Natural Waters. *J. Sens. Technol.* 2(2), 68–74.

2. Unagolla, J. M. and Adikary, S. U. (2015). Adsorption characteristics of cadmium and lead heavy metals into locally synthesized Chitosan Biopolymer. *Trop. Agric. Res.* 26(2),395–401.
3. Ho, T. C., Jafri, M. Z. M., San, L. H. and Chong, M. Y. (2012). Detection of heavy metal ions in aqueous solution using fiber optic sensor. *International Conference on Computer and Communication Engineering (ICCCE)*, 267–270.
4. Filik, H. and Yanaz, Z. (2009). A sensitive method for determining total vanadium in water samples using colorimetric-solid-phase extraction-fiber optic reflectance spectroscopy. *J. Hazard. Mater.* 172(2–3), 1297–1302.
5. Choudhary, R., Bowser, T. J., Weckler, P., Maness, N. O. and McGlynn, W. (2009). Rapid estimation of lycopene concentration in watermelon and tomato puree by fiber optic visible reflectance spectroscopy. *Postharvest Biol. Technol.* 52(1), 103–109.
6. Verma, R. and 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 Chem.* 166, 568–575.
7. Halkare, P., Punjabi, N., Wangchuk, J., Nair, A., Kondabagil, K. and Mukherji, S. (2019). Bacteria functionalized gold nanoparticle matrix based fiber-optic sensor for monitoring heavy metal pollution in water. *Sensors Actuators B Chem.* 281, 643–651.
8. Ruan, S., Ebendorff-Heidepriem, H. and Ruan, Y. (2018). Optical fibre turn-on sensor for the detection of mercury based on immobilized fluorophore. *Measurement*, 121, 122–126.
9. Zhou, M., Guo, J. and Yang, C. Ratiometric fluorescence sensor for Fe<sup>3+</sup> ions detection based on quantum dot-doped hydrogel optical fiber. *Sensors Actuators B Chem.*, 264, 52–58.
10. Yulianti, I., Edy, S. S., Saputra, B. A.,

- Aji, M. P., Susanto, and Kurdi, O. (2017). Detection of Cadmium Ion by Evanescent Wave Based Chitosan Coated Optical Fiber Sensor. *J. Phys. Conf. Ser.*, 824, 012002.
11. Rosa, S., Laranjeira M. C. M., Riela, H. G. and Fávere, V. T. (2008). Cross-linked quaternary chitosan as an adsorbent for the removal of the reactive dye from aqueous solutions. *J. Hazard. Mater.*, 155 (1). 253–260.
12. Qiu, H.W., Xu, S.C., Jiang, S.Z., Li, Z., Chen, P.X., Gao, S.S., Zhang, C., Feng, D.J.H. (2015). A novel graphene-based tapered optical fiber sensor for glucose detection. *Appl. Surf. Sci.*, 329, 390–395.



Artikel ini menggunakan lisensi  
[Creative Commons Attribution  
4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)