



Terbit Online pada laman web : <http://jif.fmipa.unand.ac.id/>

Jurnal Ilmu Fisika

| ISSN (Print) 1979-4657 | ISSN (Online) 2614-7386 |



APLIKASI SENSOR SERAT OPTIK UNTUK PENGUKURAN KADAR BAKTERI *E-COLI* DALAM AIR

Rendi Afrineldi, Nola Fridayanti, Muldarisnur*

Laboratorium Fisika Material, Jurusan Fisika Universitas Andalas

*Korespondensi ke: _mrisnur@gmail.com

(Diterima:12 Oktober 2018; Direvisi:17 Oktober 2018; Diterbitkan:01 Maret 2019)

ABSTRAK

Telah dilakukan fungsionalisasi sensor serat optik untuk meningkatkan sensitivitas dan akurasi alat untuk mengukur kadar bakteri *e-coli*. Serat optik digunakan sebagai pemandu cahaya dari sumber laser dioda merah ($\lambda=650$ nm) ke fotodiode. Interaksi antara gelombang *evanescent* dan bakterie-*coli* dalam air mengakibatkan pelemahan cahaya terpandu dalam serat optik. Panjang pengupasan *cladding* serat optik divariasikan yaitu 1 cm, 3 cm, dan 5 cm. Konsentrasi OTS (*Oktadecyl Trichloro Silane*) dan panjang pengupasan serat optik mempengaruhi sensitivitas dan akurasi sensor kadar bakteri *e-coli*. Sensitivitas meningkat dengan semakin besarnya konsentrasi OTS dan panjang pengupasan 1 cm. Pengukuran konsentrasi bakteri *e-coli* oleh sensor memiliki akurasi diatas 95%. Sensitivitas tertinggi yaitu 6,25 mV/(CFU/mL) yang diperoleh dari sensor dengan konsentrasi OTS 20 mL pada panjang pengupasan 1 cm.

Kata kunci: serat optik, gelombang *evanescent*, bakteri *e-coli*, OTS, sensitivitas, akurasi.

ABSTRACT

*Functions of fiber optic sensors have been functionalized to increase sensitivity and statistical tools for levels of e-coli bacteria. Fiber spreads as a light guide from the red diode laser source ($\lambda = 650$ nm) to the photodiode. The interaction between evanescent waves and e-coli bacteria in the air is needed in fiber optics. The length of stripping of optical fiber cladding was varied, namely 1 cm, 3 cm, and 5 cm. OTS concentration and length of optical fiber stripping affect the sensor and sensor sensitivity of e-coli bacteria. Sensitivity increases with increasing OTS (*Oktadecyl Trichloro Silane*) concentration and stripping length of 1 cm. Measurement of levels of e-coli bacteria by sensors has an accuracy above 95%. The highest sensitivity is 6.25 mV / (CFU / mL) obtained from sensors with an OTS concentration of 20 mL at a stripping length of 1 cm.*

Keywords : *optical fiber, evanescent waves, e-coli bacteria, OTS, sensitivity, accuracy.*

1. PENDAHULUAN

Air merupakan zat yang sangat dibutuhkan makhluk hidup karena berperan penting dalam proses metabolisme. Air merupakan pelarut universal yang melarutkan hampir semua jenis zat. Manusia membutuhkan air untuk kelangsungan hidupnya. Sekitar 50 – 70% berat badan manusia adalah air. Air tidak hanya digunakan untuk keperluan sehari-hari. Namun juga digunakan untuk keperluan industri, pertanian, pemadam kebakaran, tempat rekreasi, transportasi dan lain-lain. (Strang, 2004).

Pemanfaatan utama air bagi manusia adalah sebagai air minum. Air minum berkaitan langsung dengan tubuh manusia, sehingga perlu dijaga kualitasnya agar tidak membahayakan tubuh. Kualitas air minum memiliki korelasi yang sangat kuat dengan derajat kesehatan masyarakat. Air minum hendaknya memenuhi persyaratan bakteriologis dan fisik. Persyaratan bakteriologis untuk air ditentukan oleh kehadiran mikroorganisme baik yang bersifat patogen maupun *non*-patogen. Persyaratan fisik ditentukan oleh faktor-faktor kekeruhan, warna, bau, dan rasa. Sedangkan persyaratan kimia air berkaitan dengan toksisitas bahan-bahan kimia yang terkandung dalam air minum (Riyadi, 1984).

Air Minum Isi Ulang (AMIU) merupakan alternatif utama, khususnya bagi masyarakat perkotaan untuk memenuhi kebutuhan air minum. Hal ini diindikasikan dengan menjamurnya depot air minum isi ulang. Depot air minum isi ulang sumber air bakunya maupun dalam proses pengolahannya perlu dilakukan kontrol yang tepat untuk melindungi konsumen, maka kualitas air baku air minum harus diuji sekali 3 bulan, sedangkan untuk air minum siap kemas minimal diuji sekali sebulan (Kepmenkes No. 907 tahun 2002; Radji dan Maksum, 2008). Sayangnya, banyak depot air minum isi ulang yang mengabaikan pemeriksaan rutin ini.

Salah satu parameter dalam air adalah jumlah bakteri yang terdapat dalam air. Bakteri yang terkandung dalam air minum dapat tumbuh dan berkembang serta bersifat patogen dalam tubuh manusia. Dari sekian banyak jenis bakteri yang terdapat dalam air, bakteri *escherichia coli* atau lebih dikenal dengan *e-coli* digunakan sebagai salah satu indikator kualitas air. Bakteri *e-coli* bukan penyebab penyakit, namun keberadaannya mengindikasikan keberadaan organisme patogen seperti bakteri, virus atau protozoa parasit. Bakteri *e-coli* dijadikan sebagai bakteri indikator karena dapat dikenali dengan mudah dan cepat serta dapat dikuantifikasi menggunakan tes laboratorium. Jumlahnya memiliki korelasi yang linier dengan jumlah bakteri patogen, serta bertahan lebih lama dibanding bakteri patogen dalam lingkungan yang tidak menguntungkan (Soemirat, 2004). Kementerian Kesehatan mensyaratkan bahwa bakteri *e-coli* tidak boleh ada dalam air minum (Permenkes No. 492/MENKES/PER/IV/2010).

Pengukuran kadar bakteri *e-coli* dilakukan dengan menggunakan sensor serat optik. Serat optik dapat digunakan untuk mengukur konsentrasi zat terlarut dalam air. Peslinof dkk (2013) menggunakan serat optik untuk mengukur tingkat kekeruhan air dengan metode *evanescent*. Alat ukur kekeruhan air yang dirancang memiliki ketepatan hingga 98,35%. Aulakh dan Kaler,. (2008) menggunakan sensor serat optik *multimode* untuk mengukur kandungan nitrat di dalam air berdasarkan perubahan warna spesimen air. Sensor serat optik dapat digunakan sebagai salah satu alternatif untuk mendeteksi bakteri di dalam air minum isi ulang karena praktis dan bisa dibawa kemana-mana dan tidak harus melakukan pengujian di laboratorium. Serat optik sayangnya hanya bisa mengukur jumlah total zat

terlarut dan belum mampu membedakan zat apa saja yang terlarut. Untuk meningkatkan selektifitas pengukuran, bakteri mesti dipisahkan dengan zat terlarut lainnya.

Gelombang *evanescent* dapat menembus suatu jarak yang signifikan ke dalam *cladding* sebuah serat optik. Gelombang *evanescent* ini merupakan gelombang yang merambat sepanjang bidang batas serat optik (Purniawan, 2014). Gelombang *evanescent* diserap ketika bereaksi dengan analit sehingga gelombang terpadu berkurang/mengecil. Efek pelemahan intensitas inilah yang dimanfaatkan untuk melakukan penginderaan lingkungan luar. *Cladding* bisa dilepas sehingga inti langsung berinteraksi dengan lingkungan luar dan secara otomatis fungsi indeks bias *Cladding* digantikan oleh indeks bias medium dan lingkungan.

OTS (*Oktadecyl Trichloro Silane*) adalah molekul monolayer yang banyak digunakan untuk menurunkan energi permukaan dalam berbagai penggunaan. Penelitian sebelumnya telah menunjukkan bahwa molekul OTS dalam pelarut organik dapat diabsorpsi secara bertahap kelapisan air yang ada pada SiO₂. Berdasarkan proses *physisorption*, kelompok *Trichlorosilane* dihidrolisis membentuk trisilanol dan membuktikan bahwa silanol ada dalam keadaan ikatan hidrogen yang sangat fleksibel. Hal tersebut sangat penting dalam proses mengatur molekul OTS dengan perkumpulan molekul yang padat pada tahap awal pembentuk monolayer di substrat SiO₂.

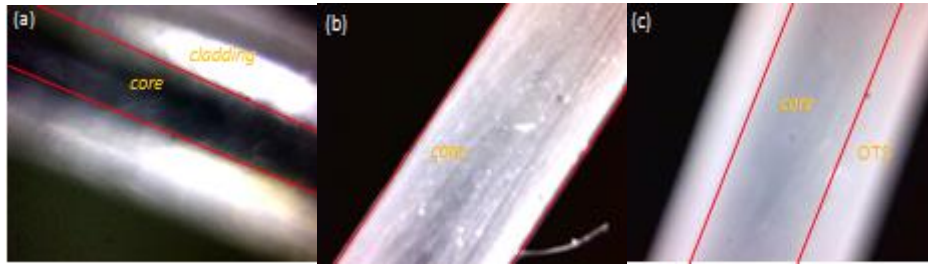
Dalam penelitian ini daerah penginderaan akan difungsionalisasikan secara kimia dengan menggunakan senyawa OTS dan etanol. Fungsionalisasi ini bertujuan agar bakteri *e-coli* menempel di daerah penginderaan dan hasil pengukuran lebih akurat. Sebenarnya ada juga zat kimia yang bisa digunakan selain OTS yaitu *Mobile Crystalline Material* (MCM), namun MCM hanya bisa dilakukan dalam ukuran nano sedangkan ukuran bakteri dalam mikro, sehingga tidak bisa digunakan untuk mendeteksi bakteri.

Penelitian lain mengenai konsentrasi kekeruhan yang divariasikan dengan mengubah jenis sampel kekeruhan dan melihat perubahan tegangan yang dihasilkan dari deteksi sensor serat optik dilakukan oleh Peslinof dkk (2013). Semakin keruh larutan yang dideteksi semakin kecil tegangan yang dihasilkan dengan tampilan pada LCD (*Liquid Crystal Display*). Pada penelitian ini akan dikembangkan alat ukur kadar bakteri *e-coli* dalam air minum isi ulang dengan menggunakan sistem sensor serat optik. Daerah *cladding* yang dikupas akan difungsionalisasi secara kimia menggunakan OTS dan etanol untuk meningkatkan selektifitas sensor.

2. METODE PENELITIAN

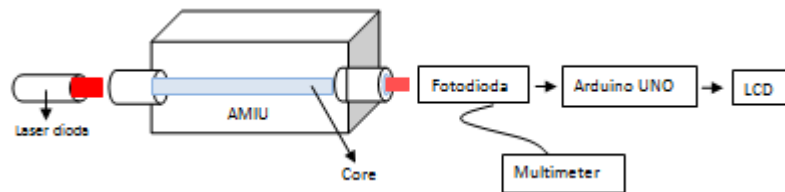
Alat dan bahan yang digunakan adalah: serat optik multimode *step index* tipe FD-620-10, fotodioda, Laser 650 nm, larutan *acetone*, OTS, etanol, AMIU, air sumur, aquades, multimeter, catu daya, LCD, gelas kimia, dan pipet tetes. Sistem sensor serat optik dibuat dengan langkah sebagai berikut: (1) pengupasan *cladding* serat optik, (2) pembuatan lapisan OTS dan etanol (3) Pelapisan core serat optik dengan OTS (3) Pengujian sensitivitas sensor serat optik. Serat optik sepanjang 21 cm dikupas bagian tengahnya sepanjang 1 cm. Bagian jaket serat optik dikupas dengan pisau *cutter*, lalu *cladding* serat optik digosok dengan *tissue* yang sudah dibasahi larutan *acetone*, setelah itu diampelas menggunakan amplas halus. Indikasi *cladding* sudah terkupas adalah cahaya laser yang dilalui ke dalam serat optik dapat terlihat di bagian *cladding* yang dikupas. Kemudian, bagian serat optik yang dikupas *cladding*nya dilapisi dengan OTS. Adapun morfologi

serat optik yang sudah dikupas *cladding* dan setelah dilapisi OTS dipertunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Morfologi serat optik yang diamati dengan mikroskop optik (a) sebelum *cladding* dikupas, (b) setelah *cladding* dikupas, dan (c) setelah dilapisi OTS

Panjang pengupasan *cladding* serat optik divariasikan yaitu 1 cm, 3 cm, dan 5 cm. Masing-masing variasi pengupasan *cladding* tersebut dilapisi dengan konsentrasi OTS, yaitu 10 mL, 15 mL, dan 20 mL. Pengujian sensitivitas sensor serat optik dilakukan sebagai berikut: sensor serat optik yang telah dikupas dicelupkan ke dalam air, lalu ukur tegangan keluaran fotodiode menggunakan multimeter, lalu diperoleh nilai tegangan keluaran sensor seperti yang terlihat pada skema karakterisasi Gambar 2.



Gambar 2. Proses karakterisasi sensor serat optik untuk pengukuran bakteri *e-coli*

Prinsip kerja serat optik sebagai sensor pengukuran kadar *e-coli* ini berdasarkan pada *absorpsi* gelombang *evanescent* pada antar muka *core* serat optik. Menurut Maddu (2007) perubahan nilai indeks bias *cladding* yang dimodifikasi akan menentukan intensitas gelombang *evanescent* yang terserap. Hal ini juga akan menentukan intensitas gelombang cahaya yang ditransmisikan di dalam *core* serat optik. Dengan kata lain, perubahan konsentrasi bakteri *e-coli* akan menentukan gelombang *evanescent* yang terserap sehingga intensitas cahaya yang dideteksi fotodiode juga akan berubah.

Kedalaman Penetrasi (*Penetration Depth*)

Pada aplikasi sensor, *penetration depth* (*d*) merupakan ukuran sensor untuk mengindera perubahan sekitar daerah yang diindera. Intensitas cahaya dalam arah *z* dapat ditulis sebagai (Purniawan, 2014) :

$$I_z = I_{z_0} \exp \left[-\frac{z}{d} \right] \tag{1}$$

Dimana I_z adalah intensitas gelombang *evanescent* yang meluruh secara eksponensial terhadap jarak tegak lurus pada z , z adalah arah dari permukaan dan I_{z_0} adalah intensitas permukaan. *Penetration depth* dapat ditulis (Purniawan, 2014) :

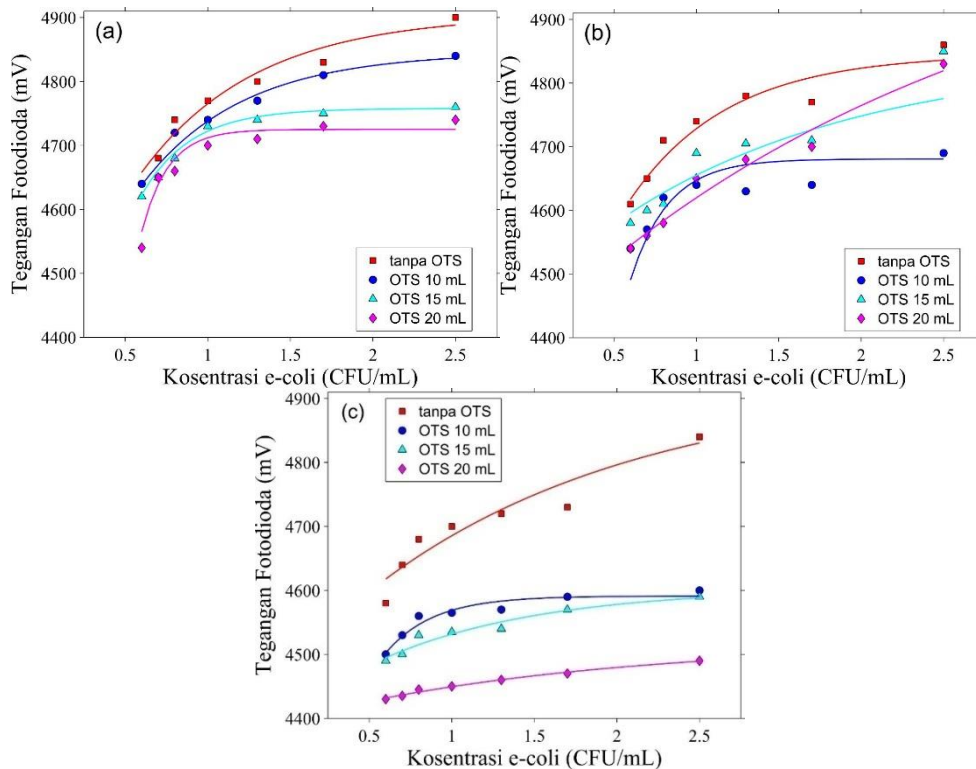
$$d = \frac{\lambda}{4\pi} \sqrt{n_1^2 \sin^2 \theta_1 - n_2^2} \quad (2)$$

Dimana d adalah *penetration depth*, λ adalah panjang gelombang, n_1 adalah indeks bias medium pertama, dan n_2 adalah indeks bias medium kedua.

3. HASIL DAN DISKUSI

3.1 Karakterisasi Sensor

Sensor untuk pengukuran kadar bakteri *e-coli* dikarakterisasi dengan melihat hubungan antara tegangan keluaran sensor dengan konsentrasi *e-coli* di dalam larutan. Proses karakterisasi ini dilakukan dengan memvariasikan kandungan bakteri *e-coli*. Plot data hasil karakterisasi dengan variasi konsentrasi OTS untuk setiap panjang pengupasan *cladding* dapat dilihat pada Gambar 3.



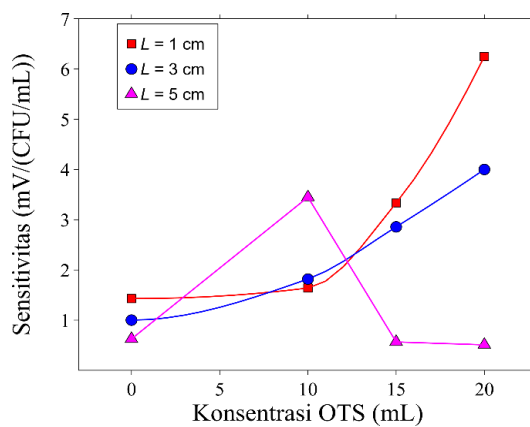
Gambar 3. Grafik hubungan tegangan keluaran sensor terhadap konsentrasi bakteri untuk variasi panjang pengupasan *cladding*, (a)1 cm, (b) 3 cm, dan (c) 5 cm. Kurva difiting dengan fungsi ($V = V_0 + ae^{-c/t_1}$)

Tegangan keluaran berkurang secara eksponensial dengan makin panjangnya pengupasan *cladding*. karena bertambah panjangnya interaksi bakteri dengan gelombang *evanescent* (Snyder dan love, 1983). Akibatnya, intensitas cahaya yang dipandu oleh serat optik

semakin berkurang. Rendahnya intensitas cahaya yang dipandu serat optik terlihat dengan semakin kecilnya tegangan keluaran fotodioda. Serat optik tanpa dilapisi OTS untuk setiap panjang pengupasan *cladding* memiliki tegangan keluaran fotodioda yang lebih tinggi daripada yang dilapisi OTS seperti yang ditampilkan pada Gambar 3. Tingginya tegangan keluaran sensor tanpa OTS disebabkan oleh berkurangnya kedalaman penetrasi gelombang *evanescent* karena indeks bias bakteri lebih rendah dari indeks bias OTS.

3.2 Data Hasil Analisis Karakterisasi

Sensitivitas sensor diambil dari kemiringan kurva fungsi transfer ($S = 1/t_1$) pada Gambar 3. Sensitivitas sensor dipengaruhi oleh panjang pengupasan *cladding* dan konsentrasi OTS yang digunakan sebagai lapisan fungsional. Sensitivitas sensor ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Grafik hubungan sensitivitas sensor terhadap konsentrasi OTS yang digunakan sebagai senyawa fungsional pada permukaan *core* sensor serat optik.

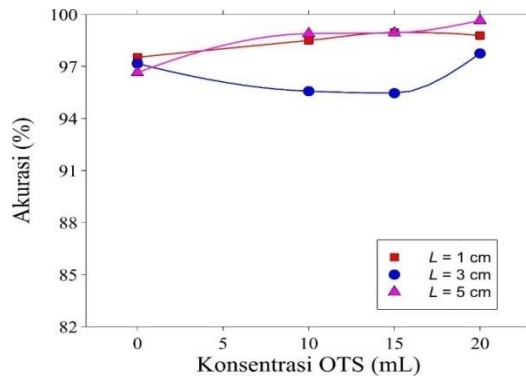
Sensitivitas sensor naik secara kuadratik dengan naiknya konsentrasi OTS untuk panjang pengupasan 1 cm dan 3 cm. Hal ini terjadi karena makin tinggi kadar OTS, makin banyak gugus fungsi OTS yang mengikat bakteri sehingga interaksi bakteri dengan gelombang *evanescent* semakin lama sehingga penyerapan semakin efektif. Hal ini ditandai dengan semakin tinggi sensitivitas sensor yang diperoleh.

Sensitivitas sensor yang diperoleh berada dalam rentang 0.36 mV/(CFU/mL) - 6.25 mV/(CFU/mL). Sensitivitas sensor untuk panjang pengupasan 5 cm, sensitivitas menurun untuk konsentrasi OTS 15 mL dan 20 mL seperti yang ditampilkan pada Gambar 4. Hal ini terjadi karena penyerapan gelombang *evanescent* terlalu kuat ketika serat optik yang dikupas sepanjang 5 cm difungsionalisasi dengan OTS konsentrasi tinggi akibatnya sensitivitas sensor justru turun terhadap konsentrasi OTS.

3.3 Akurasi Data Pengukuran

Perhitungan akurasi pengukuran data bakteri sensor sangat diperlukan untuk melihat keakuratan data yang diperoleh. Kadar *e-coli* untuk setiap sampel diukur tiga kali secara berulang menggunakan sampel yang diketahui kadar bakteri *e-coli*nya, sampel yang digunakan untuk pengukuran adalah sampel yang berbeda pada karakterisasi sensor.

Adapun akurasi untuk masing-masing sensor serat optik untuk pengukuran kadar bakteri *e-coli* dapat dilihat pada Gambar 5.

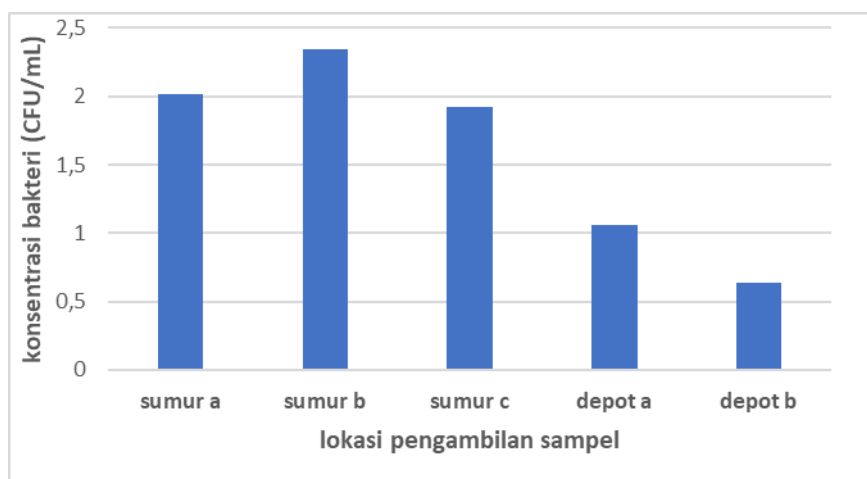


Gambar 5. Grafik hubungan sensitivitas sensor terhadap waktu perendaman OTS untuk variasi panjang pengupasan *cladding* 1 cm, 3 cm, dan 5 cm

Akurasi sensor mencapai 95 % - 98,5 %, artinya data akurasi pengukuran sudah sangat baik. Akurasi naik sedikit lebih kurang ($\pm 1\%$ - 2%) dengan meningkatnya konsentrasi OTS. Akurasi tertinggi 98,5 % dimiliki sensor panjang pengupasan *cladding* 5 cm pada OTS 20 ml.

3.4 Pengukuran Kosentrasi Bakteri Pada Variasi Sampel

Pengukuran konsentrasi bakteri dilakukan untuk lima sampel yang diambil dari tempat yang berbeda di sekitaran kampus Unand yaitu sumur A (sumur yang berlokasi di Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Unand), sumur B (yang berlokasi di Wisma Pasar Baru), sumur C (sumur yang berlokasi di Kapalo Koto), depot A (yang berlokasi di Simpang Malintang Pasar Baru), dan depot B (yang berlokasi di Limau Manis). Hasil pengukuran konsentrasi bakteri dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6. Kosentrasi bakteri di dalam air sumur dan air depot

Sensor diuji dengan menggunakannya untuk mengukur kadar bakteri dalam sampel air. Sensor serat optik yang digunakan yaitu sensor dengan panjang pengupasan 1 cm dengan OTS 20 ml karena memiliki sensitivitas tertinggi. Pengukuran dilakukan untuk menentukan konsentrasi bakteri pada masing-masing tempat pengambilan sampel. Konsentrasi bakteri pada masing-masing sampel yang paling tinggi terdapat pada sumur B yaitu dengan konsentrasi 2,34 CFU/ mL, sumur A 2,0 CFU/ mL, dan sumur C 1,92 CFU/ mL. Berdasarkan pemantauan di lapangan bahwa sumur tanah ini dekat dengan pembuangan sampah dan kotoran manusia sehingga cenderung terkontaminasi bakteri. Sedangkan sampel dari depot A memiliki konsentrasi bakteri 1. 0,6 CFU/ mL (depot A) dan 0,64 CFU/ mL (depot B) Artinya, sampel dari depot A dan depot B memiliki kualitas lebih baik dari sampel yang diambil dari sumur tanah. Namun tetap tidak sehat jika diminum tanpa dimasak. Air baku yang digunakan oleh depot A dan B berasal dari gunung Talang yang sudah seharusnya terjamin kualitasnya. Bakteri di dalam air minum isi ulang ini kemungkinan berasal dari tahapan pemrosesan air minum.

Berdasarkan pengujian sensor untuk panjang pengupasan *cladding* 1 cm dengan OTS 20 mL terhadap sampel uji dari sumur A, sumur B, sumur C, depot A, dan depot B dapat disimpulkan bahwa sensor bekerja dengan baik. Konsentrasi bakteri sumur tanah lebih tinggi daripada konsentrasi sampel uji dari depot air minum isi ulang.

4. KESIMPULAN

Sensitivitas sangat bergantung pada panjang pengupasan *cladding* dan konsentrasi OTS, sensitivitas sensor berada pada rentang 0,36 mV/(CFU/mL) – 6,25 mV/(CFU/mL). Akurasi sensor kadar bakteri *e-coli* sangat tinggi yaitu 95 % - 98,5 %. Dimana, Sensitivitas dan akurasi tertinggi dimiliki oleh sensor dengan panjang pengupasan 1 cm dan konsentrasi OTS 20 mL. Air sumur mengandung banyak bakteri (1,92 - 2,34/mL) dibandingkan air minum isi ulang (0,64 - 1,06 CFU/mL), artinya air sumur mengandung bakteri *e-coli* yang lebih tinggi daripada air depot.

UCAPAN TERIMAKASIH

Terimakasih kepada Laboratorium Fisika Material Jurusan Fisika dan Fakultas MIPA Universitas Andalas yang telah memberikan dukungan moril sekaligus memfasilitasi pelaksanaan penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

1. Aulakh, N.S. dan Kaler., R.S., 2008, Fiber Optic Interrogator Based on Colorimetry Technique for In-Situ Nitrate Detection In Groundwater, *Optica Applicata*, Vol. 38, No. 4, hal. 727-735.
2. Keputusan Menteri Kesehatan, 2002, Syarat-Syarat dan Pengawasan Kualitas Air Minum, Jakarta.
3. Keputusan Menteri Kesehatan, 2010, *Persyaratan Kualitas Air Minum*, Jakarta.
4. Maddu, A., 2007, Pengembangan Sensor Serat Optik dengan *Cladding* Termodifikasi Polianilin Nanostruktur Untuk Mendeteksi Beberapa Uap Kimia, *Disertasi*, Program Pascasarjana Bidang Ilmu Teknik, Universitas Indonesia, Jakarta.

5. Peslinof, M.Harmadi. dan Wildian.,2013, Analisis Pengaruh Pembengkokan Pada Alat Ukur Tingkat Kekeruhan Air Menggunakan Sistem Sensor Serat Optik, *Jurnal Ilmu Fisika*, Vol. 5, No. 1, hal. 38-43.
6. Purniawan, A., 2014, Evanescent Waveguide Sensors for Biomedical Applications, *Disertasi*, Technischen Universitat Delft, Delft.
7. Radji dan Maksum., 2008, Buku Ajar Mikrobiologi Panduan Mahasiswa Farmasi dan Kedokteran, Jakarta: EGC.
8. Riyadi, S., 1984, Pencemaran Air, Seri Lingkungan Dasar-Dasar dan Pokok-Pokok Penanggulangan, Surabaya: Karya Anda.
9. Snyder, A.W. dan Love, J.D, 1983, *Optical Waveguide Theory*, Chapman and Hall, New York.
10. Soemirat., 2004, *Kesehatan Lingkungan*, Yogyakarta: Gajah Mada University Press.
11. Strang, V., 2004, The Meaning of Water, *Journal of Water Alternatives*, Oxford and New York, Vol,4, Issue, 3, hal. 429-432.