

DISINFEKSI *Escherichia coli* DENGAN FOTOELEKTROKATALISIS PADA LAPISAN TiO₂

A. Maddu^a, A. A. Sudana^a, N. R. Mubarik^b dan K. Dahlan^a

^aLaboratorium Fisika Material dan Biofisika, Departemen Fisika FMIPA-IPB,

^bLaboratorium Mikrobiologi, Departemen Biologi, FMIPA-IPB
akhim.iaddu@ipb.ac.id

ABSTRAK

Lapisan Titanium dioksida (TiO₂) sebagai fotokatalis ditumbuhkan di atas substrat kaca konduktif transparan (transparent conductive oxide, TCO) melalui metode deposisi horizontal dip coating. Pada uji desinfeksi bakteri *E. coli* dengan fotoelektrokatalisis menggunakan tegangan bias eksternal 1V memperlihatkan kemampuan membunuh (inaktivasi) *Escherichia coli* (*E. coli*) hingga 51.43% dibandingkan metode fotokatalisis yang hanya sebesar 18.7% selama 4 jam perakuan maupun dengan fotolisis yang hanya 8.5% saja. Hasil tersebut diujicobakan pada suspensi *E. coli* berkonsentrasi 2×10^8 sel/ml dalam lingkungan kaya nutrisi.

Kata kunci: lapisan TiO₂, horizontal dip coating, desinfeksi, fotokatalisis, fotoelektrokatalisis.

PENDAHULUAN

Berbagai macam cara untuk mengendalikan populasi mikroorganisme antaralain dilakukan dengan cara mematikan mikroorganisme, menghambat pertumbuhan dan metabolismenya, atau secara fisik menyingkirkannya. Penerapan sarana fisik untuk mengendalikan mikroorganisme antara lain dengan menggunakan radiasi (ultraviolet, sinar-X, gamma dan sinar katoda), filtrasi, sonikasi, panas lembab dan panas kering. Cara pengendalian mana yang digunakan, ditentukan oleh keadaan dan situasi yang sesuai.

Selama dua dekade terakhir ini, telah berkembang suatu mekanisme yaitu proses fotokatalisis yang menerapkan pemanfaatan radiasi ultraviolet dan bahan semikonduktor sebagai fotokatalis, umumnya menggunakan bahan TiO₂ baik dalam bentuk bubuk atau bentuk lapisan (imobilisasi) pada substrat. Proses fotokatalisis secara umum dapat didefinisikan sebagai proses reaksi kimia yang dibantu oleh cahaya dan katalis. Beberapa langkah-langkah fotokatalisis adalah merupakan reaksi reduksi-oksidasi yang melibatkan pasangan elektron (e⁻) dan hole (h⁺). Pengembangan selanjutnya sistem desinfeksi ini yaitu menerapkan tegangan listrik bias (biasanya 1V) pada fotoelektroda lapisan semikonduktor sebagai fotokatalis didalam sel fotoelektrokimia untuk

mencegah proses rekombinasi pasangan elektron-hole yang tidak dikehendaki, sistem ini disebut fotoelektrokatalisis. Proses ini dapat menghasilkan disinfeksi yang lebih efektif.

TEORI

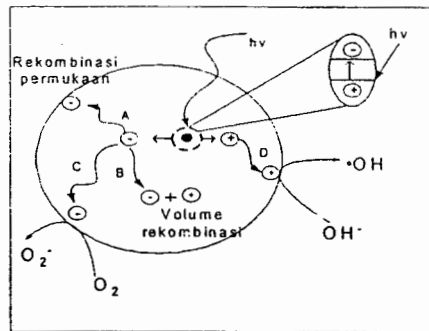
Kemampuan kristal TiO_2 untuk mendisinfeksi (inaktivasi) mikroorganisme setelah dikenai sinar ultra violet (UV) atau dikenal dengan istilah fotokatalisis telah banyak diketahui. Dalam bentuk imobilisasi, bahan ini menjadi salah satu alternatif yang baik untuk digunakan dalam fasilitas pemurnian air minum¹. Karakter disinfeksi fotokatalisis TiO_2 berjalan dengan cara mengaktifkan eksitasi elektronik menuju pita konduksi untuk menginisiasi reaksi reduksi senyawa kontak permukaan. Sedangkan kekosongan (lubang, *hole*) yang ditinggalkan oleh elektron akan memicu reaksi oksidasi senyawa kontak. Dua peristiwa inilah yang akan menyebabkan terjadinya reaksi berantai penghasil berbagai agen disinfeksi (Gambar 1)².

Produk akhir reaksi reduksi dan oksidasi seperti radikal hidroksil ($\bullet\text{OH}$), ($\bullet\text{HO}_2$), maupun H_2O_2 dispekulasikan menjadi agen disinfeksi yang menyebabkan kematian sel¹. Namun keefektifan proses disinfeksi fotokatalisis mulai dipertanyakan setelah diketahui bahwa nilai keelektronegatifan permukaan TiO_2 setelah dikenai UV akan meningkat. Peristiwa tersebut akan menyebabkan terjadinya gaya tolak Coulomb dengan polutan yang memiliki nilai keelektronegatifan tinggi. Hal tersebut membawa konsekuensi terganggunya proses pendegradasian polutan oleh TiO_2 ³. Proses disinfeksi (inaktivasi) bakteri mengikuti persamaan

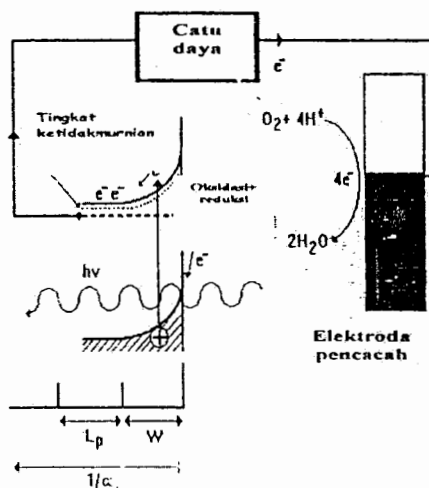
$$N_t = N_0 \exp(-kt) \quad (1)$$

N_t adalah populasi bakteri setelah perlakuan dalam waktu tertentu, N_0 adalah populasi awal bakteri, k adalah tetapan disinfeksi, dan t adalah waktu perlakuan. Sedangkan rasio N_t / N_0 (%) disebut *survival ratio*, yaitu rasio populasi bakteri yang bertahan hidup dalam selang waktu perlakuan.

Terhambatnya pendegradasian polutan biologi dan kimia dalam proses fotokatalisis dapat ditanggulangi dengan mengalihkan elektron ke tempat lain sehingga lubang (*hole*) dapat berdifusi dan memuati permukaan dengan muatan positif. Mekanisme pengalihan partikel ini dilakukan dengan memberikan bias potensial positif sebesar 1 Volt pada permukaan TiO_2 ³. Perlakuan ini secara tegas memisahkan elektron dengan lubang (*hole*) dan mengalirkannya melalui lintasan luar ke permukaan elektroda pencacah (*counter*). Pada lokasi inilah reaksi reduksi permukaan dilakukan sementara reaksi oksidasi tetap dilakukan di atas permukaan TiO_2 . Peristiwa yang dikenal dengan fotoelektrokatalisis ini akan meningkatkan reaksi disinfeksi dan degradasi polutan karena reaksi reduksi dan oksidasi terjadi di dua tempat berbeda dan menghasilkan agen disinfeksi yang lebih variatif dan kuantitas yang



Gambar 1 Peristiwa fotoeksitasi dan deeksitasi pasangan *electron-hole*¹.



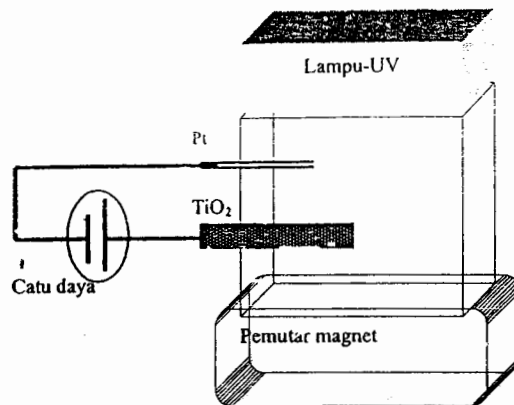
Gambar 2 Sistem fotoelektrokatalisis⁵⁻⁷.

lebih besar (Gambar 2)⁴. Pada fotoelektroda TiO₂ dalam sistem fotoelektrokatalisis terhadap laju disinfeksi *Escherichia coli* pada kultur agar. Pengaruh bias positif 1 V ini dibandingkan dengan perlakuan fotokatalisis tanpa bias dan terhadap fotolisis sebagai kontrol.

METODOLOGI

Deposisi lapisan TiO₂ dan analisis XRD (*X-Ray Diffraction*)

Lapisan TiO₂ dideposisi dengan metode *layer coating*. Langkah awal deposisi dilakukan dengan mencampurkan 0,25 ml TiCl₄, 2,5 ml toluene dan 10 ml 2-propanol menjadi sebuah larutan homogen. Selanjutnya substrat TCO berdimensi 1,5 x 1,5 cm² yang telah dibersihkan dengan



Gambar 3 Reaktor disinfeksi.

aseton direndam ke dalam larutan selama 1 menit kemudian substrat diangkat perlahan-lahan dalam posisi horizontal dan diletakkan di atas piringan panas bersuhu 120°C. Kalsinasi ini dilakukan selama 1 menit. Langkah ini diikuti dengan mengalirkan udara panas bersuhu 80°C pada substrat di atas piringan pemanas selama 2 menit. Seluruh langkah deposisi diulangi sebanyak 14 kali hingga didapat lapisan yang rata. Kristalisasi dilakukan dengan menganil (*annealing*) lapisan di dalam tanur bersuhu 500°C selama 45 menit. Sampel dianalisis dengan difraksi sinar-X (XRD) untuk mengetahui kristalografi lapisan TiO₂.

Preparasi bakteri target dan perlakuan

E. coli disiapkan dengan menginokulasi bakteri ke atas agar miring steril. Bakteri yang telah tumbuh ini kemudian diinokulasikan seluruhnya ke dalam kaldu nutrient steril untuk diinkubasi selama 18 jam pada suhu ruang hingga berjumlah $\pm 2 \times 10^8$ sel/ml. *E. coli* yang tumbuh pada kaldu nutrient diletakkan pada reaktor dan diberikan perlakuan fotoelektro-katalisis, fotokatalisis dan fotolisis. Pada pendekatan fotokatalisis dan fotoelektrokatalisis, sinar-UV diberikan dari bagian muka lapisan tipis. Perlakuan ini dilakukan selama 4 jam dan diulangi sebanyak 3 kali.

Penghitungan Rasio Ketahanan *E. coli*

Jumlah koloni bertahan hidup (*survival ratio*) setelah dikenai perlakuan dihitung menggunakan metode cawan sebar. Sebanyak 1 ml suspensi dicuplik setiap 1 jam untuk diencerkan hingga rasio pengenceran mencapai 1:10⁵. Sebanyak 100 μ l suspensi yang telah diencerkan kemudian di sebar di atas agar-agar nutrient dan diinkubasi hingga 24 jam pada suhu ruang. Jumlah koloni yang tumbuh dihitung secara manual dengan bantuan alat hitung mekanis.

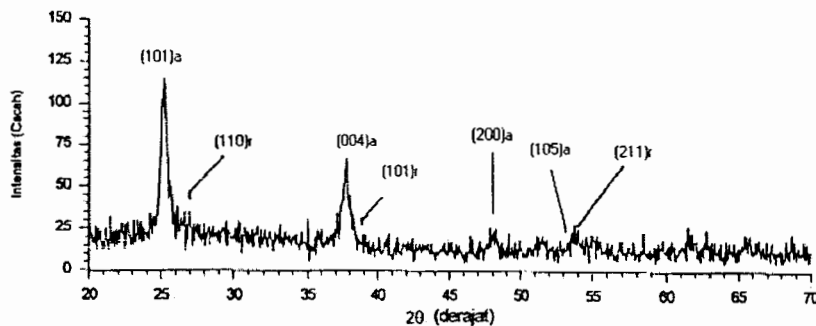
HASIL DAN DISKUSI

Karakteristik lapisan TiO₂

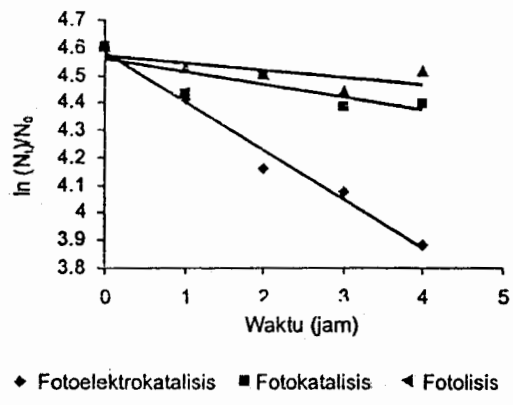
Deposisi metode *horizontal dip coating* berhasil membentuk lapisan TiO₂ menempel kuat pada substrat kaca berlapis ITO (indium tin oxide). Pencampuran TiCl₃ dengan toluene dan 2-propanol menyebabkan terbentuknya jaringan titanium hidroksil. Pemanasan menyebabkan larutan organik menguap dan meninggalkan partikel TiO₂ di atas substrat. Hasil analisis kristalografi dengan difraksi sinar-X (Gambar 4) memperlihatkan bahwa perlakuan *annealing* sampel TiO₂ pada suhu 500°C selama 45 menit menyebabkan tumbuhnya kristal dalam fase campuran anatase dan rutil, dengan fase anatase sebagai fase yang dominan. Fase anatase terlihat pada sudut (2θ) 25,31; 37,78; 48,08 dan 53,38 dengan indeks Miller (101), (004), (200), dan (105). Fase rutil terlihat pada sudut (2θ) 27,42; 36,04 dan 54,20 dengan indeks Miller (110), (101), (211), dan (211).

Disinfeksi *E.coli*

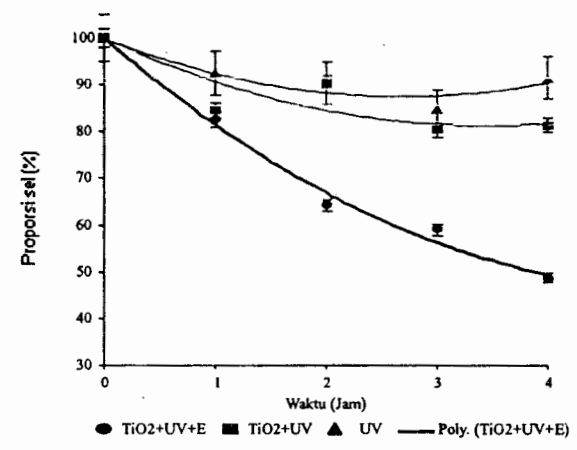
Proses disinfeksi menunjukkan bahwa lapisan TiO₂ yang digunakan sebagai fotokatalis dengan luas permukaan yang relatif kecil ternyata mampu menurunkan jumlah populasi *E. coli* di dalam air walau tidak mencapai keadaan steril sempurna. Tetapan disinfeksi untuk setiap perlakuan (Tabel 1) ditentukan berdasarkan kurva logaritma natural proporsi bakteri bertahan hidup (Gambar 5). Perlakuan proses fotoelektrokatalisis (dengan tegangan bias 1 V) selama 4 jam dapat menurunkan populasi bakteri hingga 48,57%, dengan nilai tetapan disinfeksi sebesar 0,18 jam⁻¹. Sementara perlakuan fotokatalisis (tanpa pemberian tegangan bias) hanya menurunkan proporsi *E. coli* hingga 18,7%, dengan tetapan disinfeksi 0,05 jam⁻¹. Kemampuan disinfeksi dengan fotoelektrokatalisis 2,19 kali lebih efektif dibandingkan metode disinfeksi fotokatalisis. Sedangkan dengan perlakuan fotolisis yang hanya menggunakan UV, tetapan disinfeksi hanya 0,03 jam⁻¹ atau 8 kali lebih kecil dari perlakuan fotoelektrokatalisis.



Gambar 4 Difraktogram lapisan TiO₂.



Gambar 5 Grafik logaritma natural proporsi *E. coli* bertahan hidup.



Gambar 6 Kurva proporsi *E. coli* bertahan hidup.

Perbedaan kemampuan yang dihasilkan melalui proses fotoelektrokatalisis dan fotokatalisis ini terjadi karena bias listrik dalam proses fotoelektrokatalisis telah menyebabkan terpisahnya reaksi reduksi dan oksidasi pada daerah yang berbeda sehingga gaya tarik Coulomb antar partikel dapat dihindarkan dan mencegah terjadinya proses rekombinasi yang terlalu cepat. Hal ini menyebabkan konsentrasi agen disinfektan yang terbentuk bertambah dan memaksimalkan proses disinfeksi. Gambar 6 memperlihatkan kurva proporsi (%) bakteri bertahan hidup (survival ratio) untuk masing-masing perlakuan disinfeksi. Tampak dari kurva bahwa perlakuan fotoelektrokatalisis dapat membunuh bakteri tertinggi, dibandingkan perlakuan fotokatalisis maupun fotolisis. Metode fotoelektrokatalisis dapat membunuh bakteri hingga sekitar 50%, dibandingkan metode fotokatalisis (20%) dan fotolisis (10%), dengan

Tabel 1 Nilai tetapan disinfeksi setiap perlakuan

Metode	TiO ₂ +UV+E	TiO ₂ +UV	UV
k (jam ⁻¹)	0,18	0,05	0,03
R ²	0,98	0,66	0,51

Tabel 2 Persentase proporsi *E. coli* bertahan hidup

Waktu (Jam)	TiO ₂ +UV+E (%)	TiO ₂ +UV (%)	UV (%)
0	100,00	100,00	100,00
1	82,47	84,40	92,57
2	64,20	90,30	90,37
3	58,97	80,20	84,80
4	48,57	81,30	91,47

waktu perlakuan yang sama 4 jam. Proporsi bakteri bertahan hidup untuk masing-masing perlakuan dirangkum pada Tabel 2.

Walau terbukti mampu meningkatkan daya disinfeksi, pemberian lapisan tipis katalis TiO₂ ternyata tidak mampu memaksimalkan daya disinfeksi jika besar luasan aktif terhadap volume suspensi maupun konsentrasi bakteri target tidak proporsional. Keterbatasan ini dapat dikurangi dengan memberikan bias potensial sebesar 1 Volt pada elektroda TiO₂. Perlakuan tersebut mampu meningkatkan daya disinfeksi hingga 2,19 kali daya disinfeksi fotokatalisis dan 8 kali lebih baik dari perlakuan fotoisis.

Hasil yang diperoleh ini memang belum sebaik hasil yang diperoleh peneliti sebelumnya. Butterfield dkk³ dan Harper dkk⁷, berhasil membunuh bakteri *E. coli* hingga 90% dalam 10 menit perlakuan fotoelektrokatalisis. Namun demikian, hasil yang diperoleh cukup memberikan gambaran adanya pengaruh yang cukup signifikan pemberian bias tegangan 1 volt terhadap fotoelektroda TiO₂.

Untuk penelitian selanjutnya, akan lebih baik jika dilakukan pengisolasian senyawa-senyawa dalam suspensi setelah diberikan perlakuan sehingga dapat diketahui reaksi dan senyawa-senyawa apa saja yang bertanggung jawab untuk mendisinfeksi mikroorganisme. Demikian juga variasi faktor-faktor penunjang seperti ketebalan dan luas lapisan, intensitas UV yang digunakan serta besar bias potensial menjadi hal yang penting untuk diteliti sehingga proses desinfeksi fotokatalisis dan fotoelektrokatalisis dapat diketahui lebih jelas.

SIMPULAN

Telah dilakukan studi disinfeksi *Escherichia coli* melalui fotoelektrokatalisis dengan pemberian tegangan bias 1 volt pada elektroda TiO₂ di dalam sistem fotoelektrokimia. Perlakuan fotoelektrokatalisis ini

dibanding dengan perlakuan fotokatalisis (tanpa bias) dan terhadap perlakuan fotolisis (hanya dengan cahaya UV saja). Hasil yang diperoleh memperlihatkan pengaruh signifikan pemberian tegangan bias 1 volt pada elektroda TiO_2 terhadap disinfeksi *E. coli*. Perlakuan fotoelektrokatalisis (dengan tegangan bias 1 V) selama 4 jam dapat menurunkan populasi bakteri hingga 48,57%, dengan nilai tetapan disinfeksi sebesar $0,18 \text{ jam}^{-1}$. Sementara perlakuan fotokatalisis (tanpa tegangan bias) hanya menurunkan proporsi *E. coli* hingga 18,7%, dengan tetapan disinfeksi $0,05 \text{ jam}^{-1}$. Kemampuan disinfeksi dengan fotoelektrokatalisis 2,19 kali lebih efektif dibandingkan metode disinfeksi fotokatalisis. Sedangkan dengan perlakuan fotolisis yang hanya menggunakan UV, tetapan disinfeksi hanya $0,03 \text{ jam}^{-1}$ atau 8 kali lebih kecil dari perlakuan fotoelektrokatalisis.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian ini berjalan sepenuhnya atas biaya dari Proyek Penelitian Dasar Direktorat Pendidikan Tinggi tahun Anggaran 2003. Oleh karena itu kami mengucapkan terima kasih kepada pihak DIKTI sebagai penyandang dana. Demikian juga kami mengucapkan terima kasih kepada Laboratorium X-Ray BATAN atas penggunaan XRD untuk karakterisasi kristalografi sampel-sampel semikonduktor, dan semua pihak yang terlibat dalam proyek ini baik langsung maupun tidak langsung.

DAFTAR PUSTAKA

1. Sunada K, Kikuchi Y, Hashimoto K, Fujishima A. Bactericidal and detoxification effects of TiO_2 Thin Film Photocatalysts. *Enviro Sci & Tech.* 1998; 32: 276-278.
2. Harper JC, Christensen PA, Egerton TA, Curtis TP, Gunlazuardi J. Effect of catalyst type on kinetics of the photoelectrochemical disinfection of water inoculated with *E. coli*. *J Appl Electrochem.*, 2001; 31: 623-628.
3. Butterfield IM, Christensen PA, Curtis TP, Gunlazuardi J. Water disinfection using an immobilised titanium dioxide film in a photochemical reactor with electric field enhancement. *J Wat Res.*, 1997; 31: 675-677.
4. Sudana AA. 2003. Deposisi dan Karakterisasi Lapisan Tipis Titanium Dioksida (TiO_2) dalam Proses Desinfeksi *Escherichia coli*. [skripsi]. Bogor. Institut Pertanian Bogor. Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam.
5. Christensen PA. 2002. Electronic field enhancement. [Http://www.staff.ncl.ac.uk](http://www.staff.ncl.ac.uk).
6. Butterfield IM, Christensen PA, Hamnett A, Shaw KE, Walker GM, Walker SA, Howart CR. Applied studies on immobilised titanium

dioxide films as catalysts for photoelectrochemical detoxification of water,. *J Appl Electrochem.* 1997; 27: 385-393.

7. Harper JC, Christensen PA, Egerton TA, Curtis TP, Gunlazuardi J. Effect of catalyst type on the kinetics of the photoelectrochemical disinfection of water inoculated with *E. coli*, *J Appl Electrochem.* 2001; 31: 623-628.