



UNIVERSITAS JENDERAL SOEDIRMAN SOEDIRMAN

DAFTAR ISI

Halaman

EVALUASI TINGKAT KEAMANAN AYAM GORENG TEPUNG DI KOTA PURWOKERTO	1
Oleh : Nur Aini dan Budi Sustiawan	
MIKROENKAPSULASI KONSENTRAT ASAM LEMAK OMEGA-3 DARI MINYAK IKAN TUNA	13
Oleh : Budi Sustiawan, Rifda Naufalin, dan Nur Aini	
UJI BIOLOGIS DAN PENERIMAAN MAKANAN PENDAMPING ASI (MP-ASI) BERBAHAN BAKU PATI TALAS DENGAN SUPLEMENTASI TEPUNG IKAN DAN TEPUNG SUMBER VITAMIN A	27
Oleh : V. Prihananto, Hidayah Dwiyantri, Nur Aini, dan Gunawan Wijonarko	
SUPLEMENTASI ENZIM SELULASE DAN EKSTRAK ASAM LEMAK TAK JENUH DALAM RANSUM DASAR TERHADAP KUALITAS DAN KUANTITAS ASAM LEMAK TAK JENUH TELUR	39
Oleh : Sudibya, Hartoko, dan Prabowo	
OTONOMI DAERAH SEBAGAI UPAYA MEWUJUDKAN <i>GOOD GOVERNANCE</i>	53
Oleh : Paulus Israwan Setyoko	
PENDIDIKAN AGAMA DAN KONFLIK SOSIAL (Studi Analisis Isi terhadap Materi Pendidikan Agama Islam pada Sekolah Dasar Negeri)	63
Oleh : Mintarti dan Nalfaridas Baharudin	
EXPERIMENTAL COMPARISON OF GLOBAL-LOCAL LEAST-SQUARES IMPUTATION TECHNIQUE WITH EM ALGORITHMS ON MARKETING DATABASE	77
By: Wasito and B. Mirkin	
PENURUNAN COD (CHEMICAL OXYGEN DEMAND) AIR SUNGAI DONAN CILACAP DENGAN FOTODEGRADASI KATALIS LAPIS TIPIS TiO₂	89
Oleh : Uyi Sulaeman dan Armi Wulanawati	
OPTIMASI BEBAN SUMBU KENDARAAN DAN PERHITUNGAN RETRIBUSI KELEBIHAN MUATAN DALAM RANGKA MEMINIMALKAN BIAYA TRANSPORTASI (Studi Kasus Ruas Jalan Semarang-Salatiga-Boyolali Provinsi Jawa Tengah)	101
Oleh : Gito Sugiyanto	
AUDIT ENERGI LISTRIK DI GEDUNG REKTORAT UNIVERSITAS JENDERAL SOEDIRMAN ...	117
Oleh : Hari Prasetyo dan Suroso	

PENURUNAN COD (CHEMICAL OXYGEN DEMAND) AIR SUNGAI DONAN CILACAP DENGAN FOTODEGRADASI KATALIS LAPIS TIPIS TiO₂

Oleh :
Uyi Sulaeman dan Armi Wulanawati *)

ABSTRAK

Salah satu indikator pencemaran perairan adalah tingginya kadar COD (*chemical oxygen demand*) yang disebabkan oleh banyaknya senyawa organik yang larut dalam perairan tersebut. Sungai Donan Cilacap mengandung COD yang tinggi dengan adanya senyawa organik fenol. Berbagai usaha dilakukan untuk mengurangi pencemaran akibat senyawa organik, antara lain dengan cara adsorpsi karbon aktif, oksidasi kimiawi, pencernaan biologis, dan degradasi fotokatalitik. Tujuan penelitian ini adalah untuk menurunkan nilai COD air Sungai Donan Cilacap dengan fotodegradasi katalis lapis tipis TiO₂. Penelitian dilakukan menggunakan metode degradasi fotokatalitik lapis tipis TiO₂ dengan cara mendeposisi katalis TiO₂ pada plat kaca dengan teknik pencelupan dan kalsinasi. Kristal yang terdeposisi merupakan kristal anatase yang berukuran 86,59 nm. Untuk mendegradasi polutan organik yang terdapat pada air Sungai Donan dalam reaktor digunakan 8 buah plat kaca dengan perlakuan yang terdiri atas katalis tanpa UV, dengan UV, dan katalis yang diaktifkan oleh UV. Hasil percobaan tersebut menunjukkan adanya penurunan COD pada katalis yang diaktifkan dengan UV pada fotodegradasi selama lima jam.

Kata kunci: Fotokatalitik, TiO₂, Air Sungai Donan, COD

ABSTRACT

One of the indicators of water environmental pollutant is the high value of COD (chemical oxygen demand) caused by an amount of organic compounds which is soluble in the water environmental in Donan Cilacap River, there is a high value of COD caused by organic pollutant such as phenol compound. Various activities have been conducted to reduce the pollutant through adsorption of active carbon, chemical oxidation, biological digestion and photocatalytic degradation. The research aimed to reduce COD value of water Donan River trough thin-layer catalyst TiO₂ photodegradation. The research has been conducted using the method of photocatalytic degradation of thin-layer TiO₂. The TiO₂ is deposited on glass plate by use of dipping and calcinating

*) Staf Pengajar Program Sarjana MIPA UNSOED Purwokerto

techniques. The crystal structure of titanium dioxide on a glass plate identified by XRD is anatase having pore size of 86.59 nm. Eight cells of glass plate were used in a reactor for the degradation of organic pollutant. Some treatments given to the cells were the catalyst without UV, with UV, and with catalyst activated by UV. From the experiment was known that the decreasing of COD value occurred in the catalyst activated by UV during five hours degradation.

Key words: Photocatalytic, TiO_2 , Water of Donan River, COD

PENDAHULUAN

Perkembangan industri yang cepat di berbagai daerah di Indonesia telah menimbulkan masalah yang cukup berat yaitu pencemaran lingkungan. Pencemaran ini tidak hanya merugikan masyarakat secara langsung, tetapi juga mengancam kelestarian sumber daya alam, seperti ketersediaan air bersih, kelangkaan sumber ikan, dan kematian hewan lainnya. Oleh karena itu, usaha mengatasi masalah tersebut harus dilakukan sedini mungkin.

Salah satu indikator pencemaran perairan adalah tingginya nilai COD (*chemical oxygen demand*). Tingginya nilai COD disebabkan oleh banyaknya senyawa organik yang larut dalam perairan. Senyawa-senyawa organik yang berasal dari pembuangan limbah industri, terutama senyawa organik yang berklorin berbahaya bagi kesehatan. Senyawa-senyawa tersebut juga dapat masuk dalam tubuh makhluk hidup, hewan, maupun tumbuhan dan terakumulasi dalam jaringan sehingga berbahaya apabila dikonsumsi oleh manusia. Salah satu perairan yang diduga mengandung COD tinggi adalah Sungai Donan Cilacap karena letaknya yang dekat dengan industri pengilangan minyak. Beberapa hasil penelitian mengungkapkan adanya senyawa organik, seperti fenol di Sungai Donan Cilacap (Sulaiman, 2001).

Berbagai usaha yang dilakukan untuk menanggulangi masalah pencemaran antara lain dengan cara adsorpsi karbon aktif, oksidasi kimiawi, dan pencernaan biologis. Namun, usaha ini penggunaannya terbatas dan kurang menguntungkan. Karbon aktif hanya melibatkan adsorpsi polutan tanpa degradasi. Oksidasi kimiawi tidak dapat memineralisasi semua zat organik dan hanya cocok untuk menghilangkan polutan konsentrasi tinggi secara ekonomis. Pencernaan biologis memiliki kelemahan, yaitu kecepatan reaksi yang lambat, pembuangan lumpur aktif yang sulit, dan kondisi pH harus dikontrol. Oleh karena itu, perlu ada

alternatif penanganan pencemaran yang lebih murah, mudah, dan efisien yaitu dengan cara degradasi fotokatalitik.

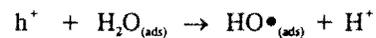
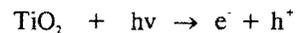
Metode degradasi fotokatalitik dapat dilakukan melalui suspensi titanium dioksida (TiO_2) atau dengan cara melapiskannya pada materi tertentu seperti logam, kaca, atau oksida logam. Penggunaan dengan cara pelapisan lebih mudah diaplikasikan pada degradasi limbah karena tidak memerlukan pemisah dengan titanium dioksidanya.

Tujuan penelitian ini adalah untuk menurunkan nilai COD air Sungai Donan Cilacap dengan fotodegradasi katalis lapis tipis TiO_2 . Penelitian ini dapat memberikan metode alternatif yang mudah dan murah dalam upaya menangani pencemaran lingkungan akibat limbah industri yang masuk ke perairan Sungai Donan Cilacap.

Fenomena fotokatalis pada permukaan TiO_2 pertama kali dipublikasikan oleh Fujishima dan Honda (1972). Sejak saat itu, metode fotokatalitik dengan katalis titanium dioksida banyak diteliti aktivitasnya dalam berbagai bidang seperti degradasi senyawa fenol (Okamoto *et al.*, 1985; Sulaeman, 2001), degradasi senyawa klorofenol (Stafford *et al.*, 1997), alkohol dan organoklorida (Chen *et al.*, 1999).

Berbagai pengembangan metode ini juga dilakukan untuk menghasilkan fotodegradasi yang efisien, misalnya peningkatan secara fotoreduktif degradasi senyawa terklorinasi dibawah cahaya tampak (Bae *et al.*, 2003), desain fotokatalis untuk dekomposisi bromat (Noguchi *et al.*, 2003).

Titanium dioksida adalah semikonduktor dengan celah pita yang lebar. Penyinaran dengan panjang gelombang lebih pendek dari elektronik celah pita ($\lambda < 385$ nm anatase, 405 nm rutile) akan membangkitkan kelebihan elektron pada pita konduksi dan menghasilkan kekosongan elektron atau lubang positif pada pita valensi. Lubang ini kemudian mengoksidasi ion hidroksil atau air pada permukaan untuk membentuk radikal $\text{HO}\cdot$. Radikal ini kemudian bereaksi dengan senyawa organik seperti fenol dan terjadi reaksi oksidasi. Mekanisme reaksi digambarkan oleh Okamoto *et al.* (1985), dengan tahapan sebagai berikut:



Gugus hidroksil HO• memiliki peranan penting dalam mendegradasi senyawa organik. Semakin tinggi pembentukan hidroksil, semakin besar kemampuan reaktor untuk mendegradasi senyawa organik.

Di samping fenomena fotokatalis, TiO₂ juga menunjukkan perilaku yang lainnya, yakni permukaan TiO₂ akan bersifat hidrofob di dalam ruangan gelap dan berubah menjadi hidrofil bila menerima cahaya yang sesuai. Dengan cara lain, permukaan TiO₂ mempunyai sifat amfifilik. Fujishima *et al.* (1997) mengungkap sifat amfifilik (superhidrofilisitas) permukaan TiO₂ yang dapat dimanfaatkan untuk membuat permukaan material yang mempunyai kemampuan *self cleaning* dan *antifogging*.

METODE PENELITIAN

A. Bahan dan Peralatan

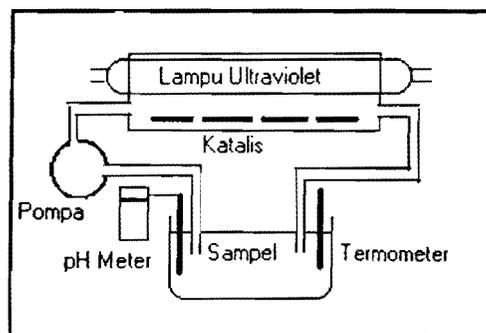
Bahan yang digunakan adalah TiO₂, FeSO₄·(NH₄)SO₄·6H₂O, H₂SO₄, K₂Cr₂O₇, HgSO₄, larutan indikator fenantrolin besi (II) sulfat, Ag₂SO₄, dan aquades. Peralatan yang digunakan adalah lampu ultraviolet 15 Watt, pompa sirkulasi, pipa, termometer, pH meter, oven, tanur, peralatan gelas, dan plat kaca.

B. Pembuatan Reaktor Fotokatalitik

Reaktor fotokatalitik dirancang seperti pada Gambar 1. Reaktor tersebut dilengkapi dengan lampu ultraviolet jenis UV-C (200-280 nm), dengan daya 15 Watt dan pompa sirkulasi. Matrik katalis lapis tipis TiO₂ diletakkan di bawah sinar lampu ultraviolet. Reaktor fotokatalitik tersebut tertutup dari cahaya matahari.

C. Preparasi Lapis Tipis TiO₂

Plat kaca dicuci bersih. Suspensi TiO₂ (15%) disiapkan dengan menambahkan TiO₂ ke dalam aquades dan suspensi diaduk selama 24 jam. Lapis tipis disiapkan dengan pencelupan plat kaca ke dalam suspensi beberapa kali hingga mendapatkan ketebalan yang cukup, yaitu sekitar 2 mg/cm² (Cao *et. al.*, 1999), kemudian dikalsinasi pada suhu 350°C selama 2 jam.



Gambar 1. Reaktor fotokatalitik titanium dioksida

D. Karakterisasi Lapisan Tipis TiO_2

Penyelidikan dilakukan dengan XRD untuk mendapatkan karakter kristal TiO_2 .

E. Fotodegradasi Air Sungai Donan dengan Katalis TiO_2

Sampel air Sungai Donan Cilacap diambil di dekat pembuangan limbah pengilangan minyak bumi. Sampel diambil pada siang hari. Parameter yang dianalisis adalah nilai COD pada sampel air Sungai Donan Cilacap. Perlakuan yang diberikan terdiri atas katalis tanpa sinar UV, tanpa katalis tetapi diberi sinar UV, dan dengan katalis yang diaktifkan sinar UV. Semua itu dilakukan selama 5 jam dengan pengulangan masing-masing dua kali.

F. Pengukuran Nilai COD Air Sungai Donan Cilacap

Sampel sebanyak 10 mL diambil dan dimasukkan ke dalam tabung refluk. Sebanyak 10 mL air sebagai blanko juga dimasukkan ke dalam tabung refluk. Tabung refluk ditempatkan dalam es dan ditambah 0.4 gram HgSO_4 , 15 mL asam sulfat pekat dan batu didih, kemudian dikocok dengan baik agar larut. Setelah itu, ditambahkan 5 mL larutan standar $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$, 0,25 N perlahan-lahan sambil diaduk, temperatur larutan dipelihara serendah mungkin di bawah 40°C . Refluk dilakukan selama 2 jam. Larutan dipindahkan ke erlenmeyer 250 mL, tabung refluk dicuci 3 kali dan larutan ditambah air hingga 150 mL dan dibiarkan dingin pada suhu kamar. Kemudian ditambahkan 8 tetes larutan

indikator fenantrolin besi (II) sulfat dan kelebihan dikromat dititrasi dengan 0,05 N larutan besi (II) amonium sulfat. Nilai COD ditentukan dengan persamaan:

$$\text{COD, mg/L} = ((A-B)N \times 8000)/S$$

A = volume larutan besi (II) amonium sulfat yang diperlukan untuk titrasi blanko, mL.

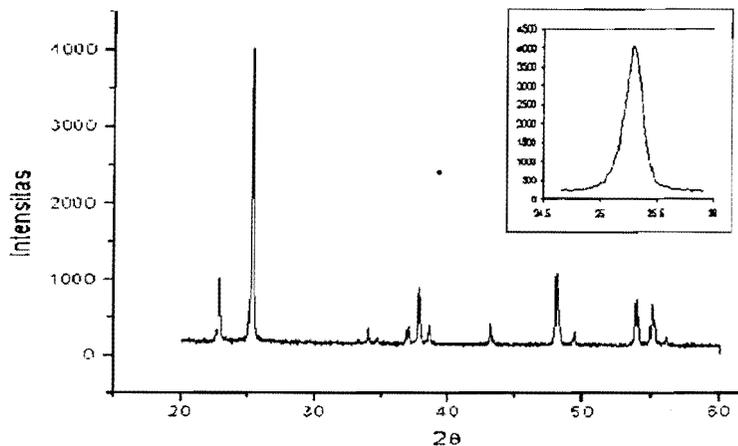
B = volume larutan besi (II) amonium sulfat yang diperlukan untuk titrasi sampel, mL.

N = normalitas larutan besi (II) amonium sulfat.

S = volume sampel yang digunakan untuk test, mL.

HASIL DAN PEMBAHASAN

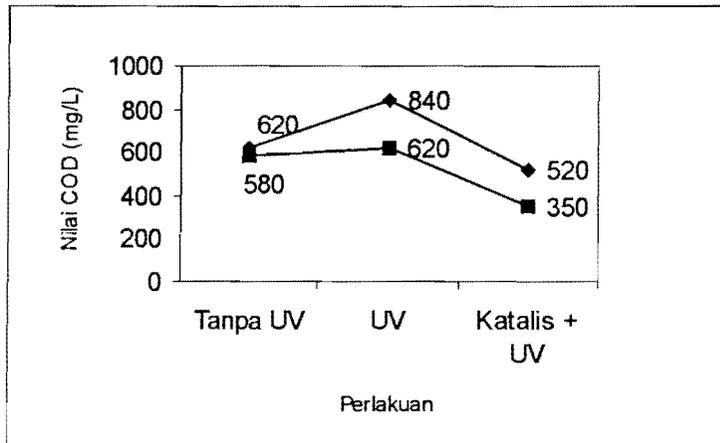
Struktur katalis titanium dioksida memiliki peranan penting pada kemampuan katalitiknya dalam mendegradasi limbah-limbah organik. Oleh karena itu hasil deposisi titanium dioksida pada plat kaca perlu dikarakterisasi oleh XRD. Pada Gambar 2 ditunjukkan hasil difraksi katalis titanium dioksida, puncak dengan intensitas terkuat terjadi pada sudut (2θ) 25,28. Puncak dengan intensitas kuat lainnya adalah pada 22.78 dan 48.04. Puncak tersebut menggambarkan pola difraksi struktur anatase dari titanium dioksida. Proses deposisi tersebut tidak mengubah struktur kristal.



Gambar 2. Pola difraksi sinar-x kristal katalis titanium dioksida

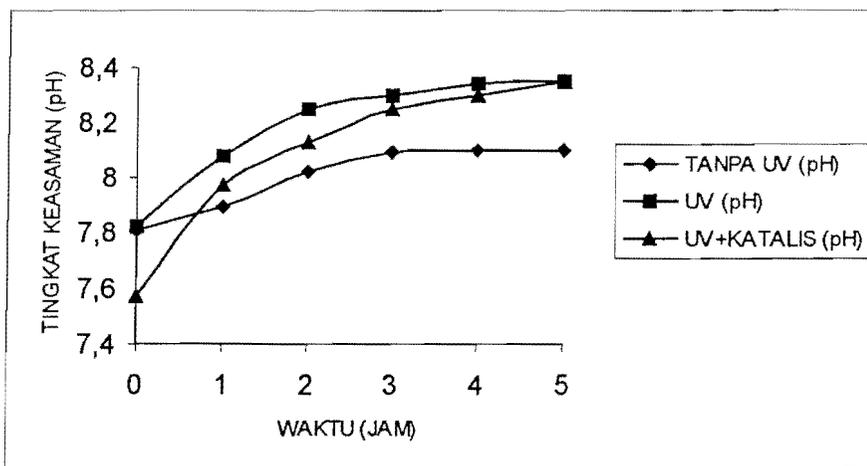
Ukuran kristal ditentukan dengan pendekatan rumus Scherer, $t = 0,9/\lambda \cos \theta$ (Cullity, 1959), dengan t adalah ketebalan ukuran kristal (\AA), λ adalah panjang gelombang sinar-x, ($\text{CuK}\alpha_1 = 1,5406 \text{\AA}$), B adalah ukuran dari setengah tinggi maksimum kurva dalam radian. Lebar kurva difraksi membesar dengan makin tipisnya partikel kristal. Pada percobaan di atas, ukuran partikelnya adalah 86,59 nm. Ukuran kristal ini lebih besar dari TiO_2 jenis Degussa P-25, yaitu sekitar 30 nm (Chen, 1999). Ukuran kristal merupakan salah satu faktor penting dalam reaksi menggunakan katalis. Semakin kecil ukuran kristal maka luas permukaan semakin besar sehingga reaksi yang terjadi di permukaan lebih banyak.

Percobaan ini menggunakan delapan buah plat kaca yang sudah dilapisi dengan katalis TiO_2 . Masing-masing plat kaca tersebut berukuran $7,5 \times 2,5 \text{ cm}$, dengan bobot katalis yang terdeposisi sebanyak $4,80 \pm 1,03 \text{ mg/cm}^2$. Plat tersebut dimasukkan ke dalam dasar reaktor. Kecepatan aliran air pada reaktor terukur $186 \pm 16 \text{ mL/detik}$. Sebanyak 1,5 liter air Sungai Donan Cilacap dialirkan terus-menerus selama 5 jam dengan perlakuan: dengan katalis tanpa sinar UV, tanpa katalis tetapi diberi sinar UV, dan dengan katalis yang diaktifkan sinar UV. Nilai COD hasil perlakuan diukur, kondisi pH dan suhu dikontrol setiap jam untuk melihat perubahan yang terjadi.



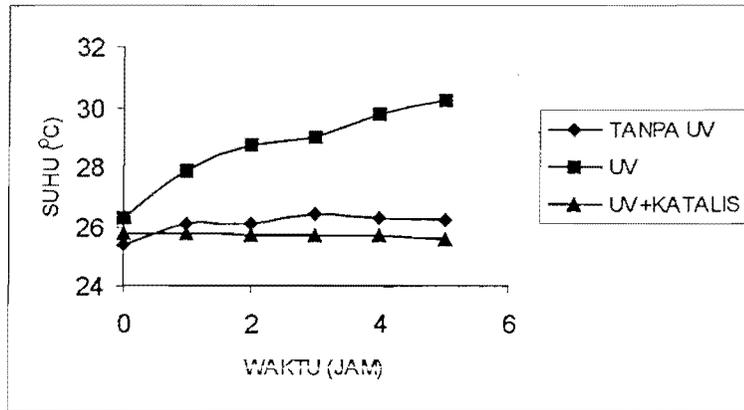
Gambar 3. Penurunan kadar COD akibat fotokatalis lapis tipis TiO_2

Pada gambar 3 terlihat adanya penurunan nilai COD pada perlakuan dengan katalis yang diaktifkan sinar UV apabila dibandingkan dengan kontrol yaitu katalis tanpa diaktifkan sinar UV dan UV tanpa katalis. Persentase penurunan nilai COD pada sampel dengan perlakuan katalis yang diaktifkan sinar UV adalah 27,50% terhadap perlakuan dengan katalis tanpa sinar UV dan 40,41% terhadap perlakuan dengan hanya menggunakan sinar UV. Rata-rata tingkat penurunan COD air Sungai Donan pada katalis yang diaktifkan dengan UV terhadap kontrol adalah 33,96%. Penurunan nilai COD tersebut tidak terlalu tajam karena perlakuan selama lima jam belum mampu mendegradasi senyawa organik secara sempurna. Selain itu juga karena kontak sampel dengan katalis tidak maksimal dan jumlah plat terlalu sedikit sehingga efisiensinya rendah. Analisis ragam (Anova) menunjukkan bahwa hasil tersebut berbeda nyata pada tingkat kepercayaan 79% ($\alpha=0,21$, $v_1=2$, $v_2=3$, $F_{hit}=3,32$).



Gambar 4. Keadaan pH akibat fotodegradasi

Gambar 4 menunjukkan peningkatan pH pada perlakuan dengan UV dan perlakuan katalis dengan UV. Hal ini disebabkan terdegradasinya polutan yang menghasilkan produk samping yang bersifat basa seperti amonium dan basa organik.



Gambar 5. Keadaan suhu akibat fotodegradasi

Gambar 5 menunjukkan suhu larutan cenderung konstan pada perlakuan dengan katalis tanpa UV dan perlakuan katalis dengan UV, sedangkan perlakuan dengan UV cenderung meningkat, yaitu suhu naik 3,9°C selama 5 jam fotokatalitik. Hal ini disebabkan adanya reaksi-reaksi kimia yang melepaskan kalor dan diserap oleh air. Air, selain menerima panas dari lampu UV, juga menerima panas dari reaksi-reaksi kimia. Pada perlakuan dengan UV terjadi reaksi fotolisis polutan, namun reaksi fotolisis ini tidak berlanjut pada degradasi polutan. Hal ini terlihat pada nilai COD yang tidak turun yang menunjukkan masih banyak senyawa organik pada larutan tersebut. Disisi lain, suhu larutan meningkat boleh jadi karena kalor yang dilepaskan oleh reaksi-reaksi penggabungan fragmen-fragmen hasil fotolisis tersebut yang bersifat eksoterm.

KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Penurunan nilai COD air Sungai Donan Cilacap dapat dilakukan dengan menggunakan metode degradasi fotokatalitik lapis tipis TiO_2 dengan cara mendeposisi katalis TiO_2 pada plat kaca dengan teknik pencelupan dan kalsinasi. Rata-rata tingkat penurunan COD air Sungai Donan pada katalis yang diaktifkan dengan UV adalah 33,96%. Penurunan nilai COD tersebut tidak terlalu tajam

karena perlakuan selama lima jam belum mampu mendegradasi senyawa organik secara sempurna dan juga kontak sampel dengan katalis tidak maksimal, jumlah plat lapis tipis TiO₂ terlalu sedikit sehingga efisiensinya rendah.

B. Saran

Percobaan degradasi fotokatalitik dengan katalis lapis tipis perlu dikembangkan, terutama bagaimana mendesain reaktor yang lebih sederhana, efisien, dan murah. Reaktor fotokatalitik perlu dirancang dengan menggunakan banyak plat katalis lapis-tipis agar efisiensinya tinggi. Di samping itu, teknik deposisi katalis titanium dioksida perlu dikembangkan pada berbagai material seperti logam, oksida, komposit, dan lain-lain sehingga mampu meningkatkan kemampuan degradasi katalitiknya.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kami ucapkan pada Ketua Lembaga Penelitian UNSOED yang telah mendukung pendanaan penelitian ini dan kepada Bapak Prof. Dr. Ir. Bambang Soebardjo, M.S. yang telah memberikan izin menggunakan fasilitas laboratorium MIPA, dan juga kepada Saudara Dinar W. P. yang telah membantu penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Bae, E. and W. Choi. 2003. "Highly Enhanced Photoreductive Degradation of Perchlorinated Compounds on Dye-Sensitized Metal/TiO₂ under Visible Light". *Environ. Sci. Technol.* 37:147-152.
- Cao, L., F.J. Spiess, A. Huang, S.L. Suib, T.N. Obee, S.O. Hay and J.D. Freihaut. 1999. "Heterogeneous Photocatalytic Oxidation of 1-Butene on SnO₂ and TiO₂ Film". *J. Phys. Chem. B.*, 103: 2912-2917.
- Chen, D. and A.K. Ray. 1999. "Photocatalytic Kinetics of Phenol and Its Derivatives over UV Irradiated TiO₂". *Applied Catalysis B: Environmental* 23: 143-157.

- Chen, J., D.F. Ollis and W.H. Rulkens. 1999. "Photocatalyzed oxidation of Alcohols and Organochlorides in the Presence of Native TiO₂ and Metallized TiO₂ Suspension Part (II); Photocatalytic Mechanism". *Wat. Res.* 33(2): 669-676.
- Cullity, B.D. 1959. *Element of X-ray Diffraction*. Addison-Wisley Inc., Massachusetts.
- Fujishima, A. and K. Honda. 1972. "Electrochemical Photolysis of Water at Semiconductor Electrode". *Nature* 238: 37-38.
- Fujishima, A., Hashimoto and T. Watanabe. 1997. *TiO₂ Photocatalysis: Fundamental and Applications*. BKC. Inc., Tokyo.
- Noguchi, H., A. Nakajima, T. Watanabe and K. Hashimoto. 2003. "Design of Photocatalyst for Bromate Decomposition: Surface Modification of TiO₂ by Pseudo-boehmite". *Environ. Sci. Technol.* 37: 153-157.
- Okamoto, K., Y. Yamamoto and H. Tanaka. 1985. "Kinetics of Heterogeneous Photocatalytic Decomposition of Phenol over Anatase TiO₂ Powder". *Bull. Chem. Soc. Jpn.* 58: 2023-2028.
- Stafford, U., K.A. Gray and P.V. Kamat. 1997. "Photocatalytic Degradation of 4-chlorophenol: The Effects of Varying TiO₂ Concentration and Light Wave Length". *J. Catal.* 167, 25-32.
- Sulaeman, U. 2001. "Degradasi Fotokatalitik Fenol dalam Suspensi TiO₂: Efek Variasi Intensitas Cahaya Ultraviolet". *Majalah Ilmiah Unsoed* No.3, Th. XXVII.