

FOTOKATALISIS ORGANIK KMNO₄, SURFAKTAN DAN AMONIAK DALAM INLET WADUK MUARA BARU, JAKARTA UTARA MENGGUNAKAN SINAR UV DENGAN KATALISATOR TiO₂

Organic Photocatalytic KMnO₄, Surfactants and Ammonia in Muara Baru Basin Inlet, North Jakarta using UV Rays with TiO₂ Catalyst

Muhammad Lindu, Putri Ardyarini Sekartaji, Ratnaningsih

Jurusan Teknik Lingkungan, Fakultas Arsitektur Lansekap dan Teknologi Lingkungan,
Universitas Trisakti, Jakarta Barat 11440, Indonesia
E-mail: muhammad_lindu@yahoo.com

Diterima: 21 Maret 2013; Dikoreksi: 08 April 2013; Disetujui: 16 Mei 2013

Abstract

This research studied about photocatalysis that used TiO₂ 0.1% as catalisator to polluted water from Waduk Pluit, Muara Baru, North Jakarta. In order to decrease polluted agents like surfactant, KMnO₄ organic, and ammoniac that will use as source of clean water. Research was conducted in batch reactor about 30x20 cm and used UV-C 15 watt x 2 lamps, and TiO₂ as suspension. In this research, batch reactor that contained standard water was supplied by air with aerator 220v/100v 18 watt. Result showed that photocatalysis with TiO₂ 0.1% as catalisator decreased surfactant and KMnO₄ organic about 80.98% and 9.48%, respectively. In contrary, ammoniac was increased about 325%. Pollutants content in processed clean water were about 0.12 mg/l, 35.5.mg/l, and 4.93 mg/l, respectively. Result were met requirement for clean water standard as Health Ministry Decree No. 416/MENKES/PER/1X/1990 about clean water quality recuirement and controlling.

Keywords: photocatalytic, organic compound, ammoniac, surfactant

Abstrak

Dalam penelitian ini telah dilakukan studi fotokatalisis menggunakan katalisator TiO₂ 0.1% terhadap air baku Waduk Pluit, Muara Baru, Jakarta Utara yang tercemar untuk menurunkan kandungan bahan-bahan pencemar yaitu deterjen (surfaktan), senyawa organik permanganat dan amoniak, yang akan digunakan sebagai sumber air baku air bersih. Penelitian dilakukan dalam reaktor batch dengan ukuran 30x20 cm, menggunakan lampu UV-C 15 watt x 2, dan TiO₂ berupa suspensi. Dalam penelitian ini reaktor batch yang berisi air baku di suplai udara dengan aerator 220v/100v 18 watt. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penggunaan fotokatalisis dengan katalisator TiO₂ 0.1% telah mampu menurunkan kandungan surfaktan (deterjen) dan senyawa organik permanganat masing-masing sebesar 80.98% dan 9.48%, sedangkan terjadi kelonjakan pada pembentukan amoniak sebesar 325%. Dengan hasil ini kandungan ketiga polutan dalam olahan air bersih yang dihasilkan masing-masing 0.12 mg/l, 35.5.mg/l, dan 4.93 mg/l. Hasil mendekati sesuai dengan baku mutu yang diatur didalam Permenkes No. 416/MENKES/PER/1X/1990 tentang syarat-syarat dan pengawasan kualitas air bersih.

Kata kunci : fotokatalisis, senyawa organik, amoniak, surfaktan

1. PENDAHULUAN

Waduk Pluit yang terletak di Muara Baru, Jakarta Utara pada koordinat 5° 19' 12" - 6° 23' 54" LS, 106° 22' 42" - 106° 58' 18" BT merupakan salah satu waduk yang memperoleh sumber

air dari muara Sungai Krukut dan Sungai Besar. Saat ini air waduk pluit sudah tidak dapat dimanfaatkan sebagai bahan baku penyediaan air bersih mengingat kualitas

air yang mengalir ke waduk Pluit (inlet) dari kedua sungai sumber air sudah tercemar oleh limbah dan sampah, serta berwarna hitam pekat dan menimbulkan bau.

Menurut Hendrawan, D, 2005 [9], berdasarkan pendekatan indeks kualitas air yang dilakukan terhadap seluruh waduk di DKI Jakarta, terbukti bahwa Waduk Pluit mengalami pencemaran dan pendangkalan dalam kondisi yang buruk. Hasil pengukuran beberapa parameter fisika dan kimia terhadap kualitas air waduk pluit menunjukkan bahwa terdapat beberapa parameter antara lain surfaktan (deterjen), senyawa organik, amoniak, TDS dan klorida telah melebihi baku mutu yang ditetapkan (baku mutu air bersih berdasarkan Permenkes Air Bersih No.416/MENKES/PER/1X/1990).

Ketersediaan dan kualitas air waduk pluit menjadi sangat penting bagi masyarakat Muara Baru dan sekitarnya, mengingat kebutuhan suplai air bersih untuk daerah ini masih sangat kurang, hal ini dikarenakan pendistribusian air PAM yang tidak sampai ke daerah tersebut. Disisi lain, ketersediaan air tanah untuk wilayah Jakarta Utara cenderung kualitasnya kurang baik, disamping penggunaan sumber air tanah sudah dibatasi pengambilannya oleh pemerintah sesuai dengan Keputusan Gubernur DKI Jakarta No. 1662 tahun 2004.

Berdasarkan hal tersebut, banyak perusahaan swasta yang mengadakan penyediaan air bersih secara mandiri dengan menggunakan sumber air yang berasal dari inlet Waduk Pluit, Muara Baru ini. Dengan kondisi bahan baku air yang telah tercemar, untuk memperoleh air bersih tentu sangat diperlukan proses guna menghilangkan atau menurunkan kadar polutan sehingga dapat memenuhi standar baku mutu yang telah ditetapkan.

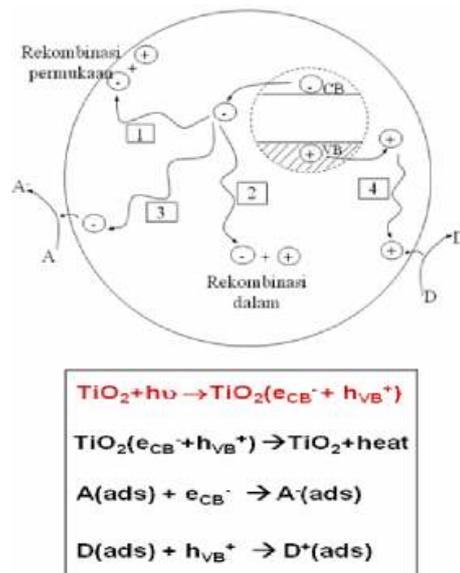
Surfaktan (deterjen), senyawa organik permanganat, amoniak, merupakan bahan-bahan polutan yang perlu dikontrol keberadaannya dalam air baku untuk air bersih. Karena dapat menyebabkan terganggunya proses desinfeksi, khususnya senyawa organik dan surfaktan, apabila bereaksi dengan klorin dalam jumlah yang banyak dapat menghasilkan senyawa organo klorin yang menjadi pemicu kanker [10]. Sedangkan amoniak dalam air menyebabkan konsumsi senyawa klorin untuk proses desinfeksi dan proses pengolahan bersih menjadi lebih besar.

Penurunan atau eliminasi kandungan deterjen dari dalam air menggunakan metode konvensional seperti koagulasi, flokulasi, sedimentasi dan filtrasi kurang efektif [7]. Demikian pula terhadap kandungan polutan senyawa organik dan amoniak. Hasil beberapa penelitian, menunjukkan bahwa efisiensi

penyisihan surfaktan anionik (Sodium n-Dodecyl Ether) menggunakan karbo aktif bubuk dan proses koagulasi presipitasi masing-masing hanya 64.7% dan 31.7% [11].

Fotokatalisis adalah suatu proses kombinasi antara proses fotokimia dan katalis, yaitu suatu proses sintesis secara kimiawi dengan melibatkan cahaya sebagai pemicu dan katalis sebagai pemercepat proses transformasi tersebut. Metoda fotokatalisis ini telah banyak digunakan didalam proses fotokatalitik untuk pengolahan air dan air limbah [12].

Mekanisme Fotokatalisis dapat disampaikan sebagai berikut :



Gambar 1. Mekanisme Fotokatalisis (Sumber: Slamet, 2008)

TiO₂ termasuk senyawa semikonduktor yang mempunyai tingkat energi pita valensi(VB) dan pita konduksi (CB). Jika partikel ini menyerap sinar UV yang mempunyai tingkat energi yang sama dengan energi yang diperlukan untuk mengeksitasi elektron dari pita konduksi, maka TiO₂ akan menjadi TiO₂ (eCB⁻ + hVB⁺). Di dalam air TiO₂ (eCB⁻) akan bereaksi dengan senyawa penerima elektron seperti oksigen menjadi O₂⁻ yang kemudian bereaksi lagi dengan molekul air membentuk OH radikal, peroksida H₂O₂ dan OH⁻. Senyawa OH radikal dan H₂O₂ inilah yang berperan sebagai oksidator untuk mengoksidasi senyawa pencemar air. TiO₂ (hVB⁺) akan bereaksi dengan senyawa donor elektron (berupa senyawa yang banyak mengandung elektron bebas), sehingga menyebabkan senyawa tersebut berada pada tingkat bilangan oksidasi lebih rendah atau bentuk tereduksi seperti tereduksinya nitrat menjadi ammonia.

Penggunaan fotokatalisis pada penelitian sebelumnya sangat efektif terhadap penurunan kandungan deterjen sampai 94.4%, namun metode yang sama tidak efektif untuk penurunan kandungan organik yang hanya dapat menurunkan

kandungannya relatif lebih sedikit dan tidak mengalami penurunan secara signifikan [2].

Oksida logam titanium (TiO_2) banyak dilaporkan sebagai material semikonduktor yang aktif sebagai fotokatalis. Aktivitas fotokatalis TiO_2 dapat ditingkatkan melalui penyesuaian pada material pendukung yaitu dengan bantuan dari sinar UV [3].

Berdasarkan hal-hal tersebut di atas, dalam penelitian ini dilakukan studi fotokatalisis menggunakan katalisator TiO_2 0.1% terhadap air baku waduk pluit yang tercemar untuk menurunkan kandungan bahan-bahan pencemar yaitu deterjen, senyawa organik permanganat dan amoniak.

2. BAHAN DAN METODE

Peralatan yang dipakai dalam penelitian ini terdiri dari reaktor curah (reactor batch) yang terbuat dari bahan akrilik, dilengkapi dengan 2 (dua) buah lampu UV-C merk Philips berdaya 15 watt dengan panjang gelombang 254 nm dan tegangan 220 volt, peralatan gelas, aerator Aquila Q6 memiliki tegangan 220v/110v, alat sentrifugasi Health HC1 120T, pH meter, Spektrofotometer Hitachi U-2000 Double Beam.

Bahan TiO_2 yang digunakan adalah TiO_2 yang dapat dikonsumsi dengan aman dan biasa digunakan sebagai bahan dasar untuk pembuatan makanan (food grade), berjenis anatase. surfaktan (deterjen) yang dipakai adalah surfaktan anionik yang alami berada didalam air waduk dan sungai.

Adapun langkah-langkah pengerjaan percobaan pengolahan adalah sebagai berikut: sampel air dengan penggunaan konsentrasi TiO_2 0.1% dengan variasi volume yang sudah ditentukan dituangkan ke dalam reaktor; level atau ketinggian muka air (cm) dicatat setiap variasi volume agar dapat dipantau penurunannya; reaktor ditutup dengan penutup yang telah disediakan sebelumnya. Setelah semua siap, lampu dan aerator dinyalakan.

Variasi yang digunakan dalam penelitian antara lain variasi volume sampel yaitu 2L; 3L; 4L; 5L dan 6L. Variasi penyinaran masing-masing volume yaitu 0; 5; 15; 30; 45 dan 60 menit.

Analisis yang dilakukan pada penelitian ini antara lain penentuan kadar surfaktan dengan spektrofotometri sebagai Methilene Blue Anionik Surfaktan (MBAS), penentuan kadar organik sebagai nilai permanganat secara titrimetri, penentuan kadar amoniak dengan metode nessler.

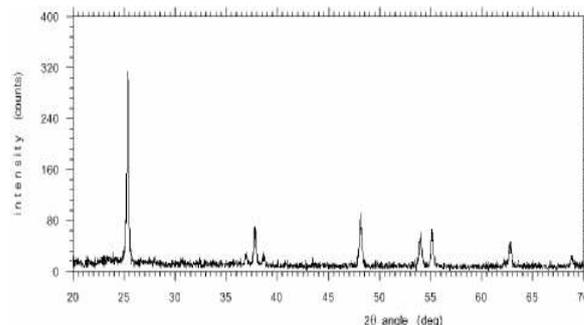
Hasil dari fotokatalisis khusus untuk surfaktan ditentukan kinetika reaksinya dengan menggunakan metode aljabar, sedangkan untuk pengaruh fotokatalisis terhadap terbentuknya amoniak dan organik, dijelaskan secara deskriptif.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

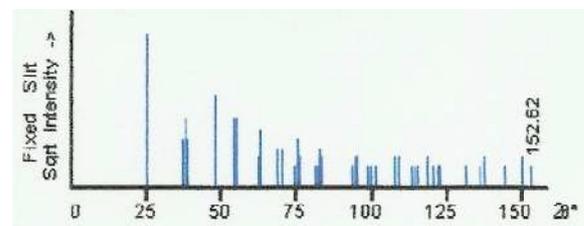
3.1 Jenis titan dioksida (TiO_2) yang digunakan

Jenis titan dioksida (TiO_2) yang digunakan

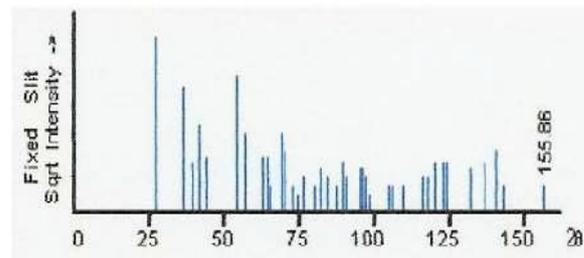
dalam penelitian ini ditentukan dengan alat difraksi sinar X (XRD). Hasil pengukuran titan yang dilakukan pada penelitian ini ditampilkan pada Gambar 2, yang kemudian dibandingkan dengan standar XRD TiO_2 rutile, seperti dapat dilihat pada Gambar 3 dan TiO_2 anatase pada Gambar 4.



Gambar 2. Spektrometri XRD Katalis TiO_2



Gambar 3. Hasil Spektrometri dan Tabel XRD Katalis TiO_2 Rutile, Laboratorium XRD, BATAN



Gambar 4 . Hasil Spektrometri dan Tabel XRD Katalis TiO_2 Anatase, Laboratorium XRD, BATAN

Dari hasil perbandingan ketiga gambar tersebut, dengan cara membandingkan nilai sudut difraksi 2θ dari TiO_2 yang digunakan termasuk jenis anatase. Hasil perbandingan nilai sudut difraksi 2θ dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Perbandingan Nilai Puncak 2θ .

Hasil Grafik XRD Katalis TiO_2	TiO_2 Anatase	TiO_2 Rutile
25.337	25.281	27.446
37.834	37.800	36.085
48.087	48.049	41.225
53.963	53.890	54.322
55.121	55.060	56.640

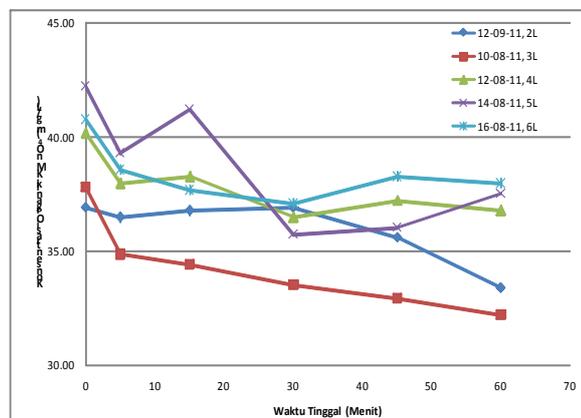
Berdasarkan Tabel 1 dengan membandingkan nilai puncak 2θ dari 5 buah puncak dengan

intensitas tertinggi antara TiO₂ rutile dan TiO₂ anatase dengan katalis TiO₂ yang digunakan oleh penulis, maka dari hasil yang didapatkan lebih memiliki kemiripan pada katalis TiO₂ yang berjenis anatase. Struktur rutile lebih stabil pada temperatur tinggi, sedangkan anatase lebih stabil pada temperatur rendah (Merck, 2000 dalam Mukaromah, 2004). Bentuk kristal TiO₂ anatase memiliki aktifitas yang lebih tinggi dibandingkan TiO₂ rutile. TiO₂ anatase jika dikenai suatu sinar UV dengan $\lambda < 385$ nm dan TiO₂ rutile pada $\lambda = 405$ nm akan menghasilkan spesies oksidator pada permukaannya [8]. Dalam penelitian ini penulis mempergunakan temperatur rendah 15.45 °C-25.4 °C dan sinar UV dengan $\lambda = 254$ nm, hal ini sesuai dengan kriteria TiO₂ anatase.

3.2 Pengaruh Fotokatalisis Terhadap Senyawa Organik

Nilai senyawa organik dalam proses proses fotokatalisis ini ditentukan dengan mengoksidasi senyawa-senyawa organik yang ada dalam air baik dalam bentuk tersuspensi maupun terlarut, menggunakan oksidator kuat, yakni kalium permanganat. Dengan kata lain senyawa-senyawa yang mudah teroksidasi dengan kalium permanganat juga dinyatakan sebagai senyawa organik. Pengaruh fotokatalisis terhadap senyawa organik sebagai kelompok permanganat dengan volume 2- 6 liter dan waktu penyinaran 0-60 menit, ditampilkan pada Gambar 5.

Dari Gambar 5, penurunan senyawa organik sebagai fungsi waktu secara umum berfluktuasi. Fotokatalisis pada 5 menit pertama cenderung turun lebih cepat kemudian penurunan senyawa organik permanganat mengalami perlambatan dan kadang-kadang mengalami kenaikan seperti fotokatalisis yang dilakukan pada volume 2, 4 dan 5 liter. Kondisi ini diperkirakan karena pada awal fotokatalisis beberapa ikatan antara C-C atau C-rangkap dua yang mudah mengalami fotooksidasi akan terputus dengan cepat dan selanjutnya terjadi proses fotooksidasi dan fotoreduksi.

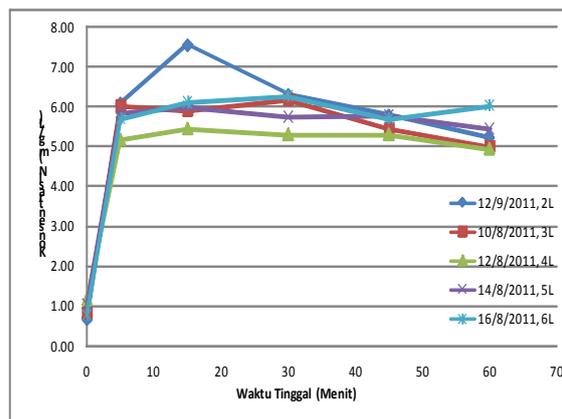


Gambar 5. Kurva penurunan dan penyisihan konsentrasi senyawa organik terhadap TiO₂ fotokatalisis

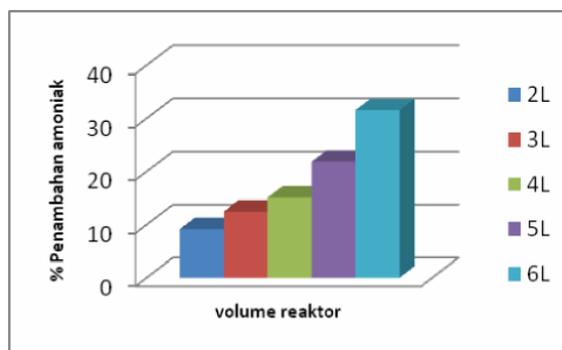
3.3 Pengaruh Fotokatalisis Terhadap

Senyawa Amoniak

Fotokatalisis pada summer air yang dilakukan pada reaktor dengan volume 2-6 liter, dengan penyinaran menunjukkan bahwa nilai amoniak (Gambar 6), tidak terjadi penurunan pada kurva tersebut. Trendline pada kurva cenderung meningkat dari konsentrasi awal, hal ini membuktikan adanya pembentukan senyawa amoniak setelah melalui reaktor fotokatalisis. Pertambahan nilai amoniak bertambah seiring dengan pertambahan volume, dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6. Kurva pembentukan konsentrasi amoniak terhadap TiO₂ fotokatalisis



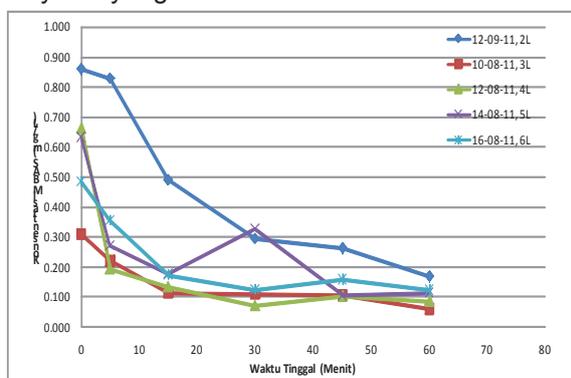
Gambar 7. Diagram pembentukan konsentrasi amoniak pada waktu penyinaran 60 menit

Hal ini diduga bahwa dalam air tersebut mengandung senyawa N-Organik yang banyak mengikat gugus-gugus amino. Untuk memperkuat dugaan ini, pada air baku telah dilakukan pengukuran N-Total terhadap sumber air fotokatalisis dengan volume 2 liter dengan hasil sebesar 40.96 mg/L, yang ternyata memberikan hasil cukup tinggi. Sesuai hasil penelitian Maurino. V (1998) [3], disampaikan bahwa fotokatalisis senyawa N-Organik dapat menambah nilai NH₃, perubahan fotokatalitik dari 2-,3- dan 4-nitrofenol (NP) dan 2-, 3- dan 4- aminofenol (AP) menggunakan titanium dioksida yang di radiasi UV dan di aerasi. Senyawa tersebut menunjukkan fotokatalisis pada pH < 6 secara ekstensif terjadi

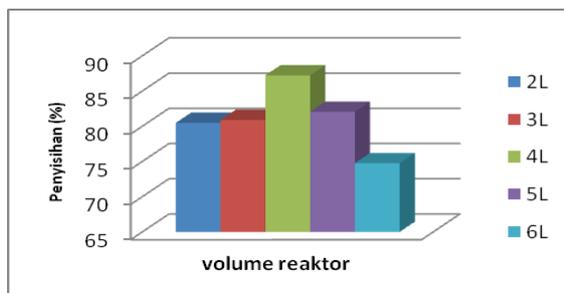
proses mineralisasi (lebih dari 90%) dari fenol yang tersubstitusi, dimana, pada pH 11, proses ini tidak terjadi. Proses fotokatalitik merubah sekitar 80% dari kelompok nitro di dalam nitrofenol menjadi ion NO₃⁻ melalui pembentukan ion NO₂⁻ sisa 20% dirubah menjadi ion NH₄⁺, hal ini membuktikan bahwa meskipun didalam larutan aerasi, jalur reduksi signifikan terjadi. Fotokatalitik aminofenol, akan merubah kelompok NH₄⁺ menjadi sekitar 60 - 70% ion NH₄⁺ dan hanya sekitar 10% NO₃⁻, dan ada sisa sekitar 20% karbon organik. Perubahan yang lambat dari ion ammonium menjadi ion NO₃⁻ diamati pada waktu radiasi yang lebih lama.

Pengaruh Proses Fotokatalisis Terhadap Konsentrasi Surfaktan.

Pada pemeriksaan kualitas air awal didapatkan kadar deterjen atau konsentrasi surfaktan sebesar 1.8 mg/L. Untuk mengetahui pengaruh proses fotokatalisis terhadap konsentrasi surfaktan, maka dilakukan percobaan penurunan konsentrasi surfaktan pada sampel air, hasil dari pengukuran tersebut dapat dilihat pada Gambar 8 dan Gambar 9. Penurunan konsentrasi surfaktan akan lebih optimal apabila ada reaksi bersama antara sinar UV dengan katalis TiO₂ Reaksi bersama antara kedua unsur tersebut adalah reaksi fotokatalisis. Reaksi fotokatalisis dapat mereduksi bahan-bahan tertentu jika katalisatornya (TiO₂) diaktifkan terlebih dahulu dengan menyinari dengan sinar UV. TiO₂ menyerap sinar dan mengaktifkan reaksi untuk mendegradasi polutan yang terkandung didalam larutan dan mengubahnya menjadi senyawa yang tak beracun .



Gambar 8. Kurva penurunan konsentrasi surfaktan terhadap TiO₂ fotokatalisis



Gambar 9. Diagram penyisihan konsentrasi surfaktan pada waktu penyinaran 60 menit

Hasil penelitian menunjukkan bahwa efisiensi penurunan konsentrasi surfaktan paling besar terjadi pada volume 3 liter. Pada kondisi 3 liter ini adalah kondisi yang paling tepat untuk proses fotokatalisis, sinar UV dapat menjangkau dengan baik. Ketinggian muka air yang tidak terlalu jauh dari lampu UV untuk volume 3 liter adalah 5 cm dari dasar reaktor dan ketinggian lampu UV 3.6 cm dari dasar reaktor, memiliki selisih dengan ketinggian lampu UV 1.4 cm. Keadaan lampu pada volume 3 liter tercelup secara merata tidak seperti pada volume 2 liter, dimana kondisi lampu tidak tercelup secara merata, muka air hanya berada tiga perempat dari ketinggian lampu. Sehingga sinar UV tidak terpapar secara merata, ada sinar dari bagian lampu UV yang tidak tercelup air yang tidak terpakai.

Diduga ada dua cara oksidasi atau pemutusan ikatan karbon dalam proses fotokatalisis, yaitu lewat reaksi radikal hidroksil atau penyisipan oksigen aktif seperti radikal radikal O₂⁻ dan O₂²⁻.

Sebagai akibat pemutusan rantai karbon dalam senyawa ABS oleh proses oksidasi senyawa radikal hidroksil atau oksigen aktif adalah berkurangnya nilai senyawa organik seperti pada nilai permanganat. Gugus lain yang dirusak dalam proses fotokatalisis adalah inti benzene atau gugus aromatisnya, yang dikenal sulit terurai dalam proses biologis. Hal ini terbukti dengan menurunnya konsentrasi deterjen ABS yang diukur pada panjang gelombang UV 254 nm.

hv



Pada reaksi diatas menjelaskan bahwa kandungan surfaktan (ABS) yang berada di perairan dapat terurai dengan bantuan oksigen (O₂) dengan TiO₂ dan sinar UV sebagai oksidator melalui air sebagai medianya. Dalam proses oksidasi bilangan karbon oksidasi tinggi, oleh karena itu tidak ada gugus nitrogen dalam senyawa ABS, maka kemungkinan yang terbesar adalah terbentuknya asam-asam organik rantai pendek sebagai hasil senyawa sederhana, yaitu asam oksalat, formiat dan asetat.

Penentuan orde reaksi dan konstanta kecepatan reaksi dengan metode aljabar, yakni dengan uji-coba setiap persamaan kecepatan reaksi untuk orde nol dan satu dapat dilihat pada Tabel 2, diperoleh bahwa orde reaksi lebih cenderung ke orde satu.

Berdasarkan Tabel 2, pada volume 2 dan 3 liter kecepatan reaksi mengikuti orde reaksi satu dengan persamaan nilai surfaktan sisa pada volume 2 liter $C_t = C_0 e^{(-0.027t - 0.189)}$, R² 0.960 dan volume 3 liter $C_t = C_0 e^{(-0.023t - 1.431)}$, R² = 0.841. Pada volume 4 liter kecepatan reaksi mulai $C_t = C_0 e^{(-0.017t - 1.595)}$, R² = 0.672. Pada

volume 5 dan 6 liter kecepatan reaksi cenderung meningkat dan berjalan stabil dengan konstanta pada volume 5 liter $C_t = C_0 e^{(-0.029t - 0,835)}$, $R^2 = 0.741$ dan volume 6 liter $C_t = C_0 e^{(-0.020t - 1.065)}$, $R^2 = 0.701$.

Tabel 2. Orde reaksi terpilih sebagai laju reaksi penyisihan konsentrasi surfaktan

Volume	k	r ²	Orde
			$\frac{C_0}{C}$
2	-0,027	0,960	$\ln \frac{C_0}{C} = 0.027 \times t$
3	-0,023	0,841	$\ln \frac{C_0}{C} = 0.023 \times t$
4	-0,017	0,672	$\ln \frac{C_0}{C} = 0.017 \times t$
5	-0,029	0,741	$\ln \frac{C_0}{C} = 0.029 \times t$
6	-0,02	0,701	$\ln \frac{C_0}{C} = 0.02 \times t$

4. KESIMPULAN

Dari hasil penelitian menunjukkan bahwa fotokatalisis mampu menurunkan nilai surfaktan dalam air baku mendekati nilai 0,1 sesuai dengan baku mutu Permenkes Air Bersih No. 416/MENKES/PER/1X/1990, dengan jarak posisi lampu dengan permukaan air 2 cm pada volume 4 liter, dengan waktu penyinaran selama 60 menit.

Nilai amoniak pada fotokatalisis mengalami peningkatan dalam waktu 5 menit, dari sekitar ± 1 mg/L menjadi ± 5 mg/L. Senyawa organik mengalami penurunan selama 60 menit, penurunan tidak terlalu signifikan namun ada kecenderungan turun.

DAFTAR PUSTAKA

1. Gunlazuardi, J. *Fotokatalis pada Permukaan TiO₂ : Aspek Fundamental dan Aplikasinya*.
2. Seminar Nasional Kimia Fisika, 14-15 Juni 2001 FMIPA UI, Jakarta.

3. Dermawan, D dan Razif, M. *Uji Penurunan Konsentrasi Surfaktan dengan Menggunakan Fotokatalisis Titanium Dioksida*. *Jurnal Purifikasi*, Vol.2, No.1, Januari 2001: 55-60, Jakarta.
4. Maurino, V. 1998. *The Fate of Organic Nitrogen Under Photocatalytic Conditions: Degradation of Nitrophenol and Aminophenols on Irradiated TiO₂*.
5. Said, Nusa I dan Tresnawaty, R. *Penghilang Amoniak didalam Air Baku Air Minum dengan Proses Biofilter Tercelup Menggunakan Media Plastik Sarang Tawon*. *Jurnal Teknologi Lingkungan*, Vol.2, No.1, Januari 2001: 11-27, Jakarta.
6. Lindu, M. 1997. *Fotolisis Deterjen ABS dalam Air Tersuspensi 0,1% TiO₂ oleh UV*. *Reaktor Curah dan Kontinyu*. Bandung: ITB.
7. Linsebigler, Amy L., 1995, *Photocatalysis on TiO₂ Surface : Principles, Mechanism and aselected*. *R. Chem. Rev.* 95 : 735-758.
8. Heryani, A, Puji, H. 2008. *Pengolahan Limbah Deterjen Sintetik dengan Trickling Filter* [Makalah Penelitian] <http://eprints.undip.ac.id> [8 Desember 2010].
9. Fatimah, Is dan Karna Wijaya. 2005. *Sintesis TiO₂ /Zeolit sebagai Fotokatalis pada Pengolahan Limbah Cair Industri Tapioka Secara Adsorpsi -Fotodegradasi*. *TEKNOIN*, Vol. 10, No. 4. Hal. 257-267. ISSN : 0853-8697
10. Hendrawan, D. 2005. *Kualitas Air Sungai dan Situ di DKI Jakarta*. *MAKARA, TEKNOLOGI*, VOL. 9, NO. 1, APRIL 2005: 13-19
11. Deborde, M dan Gunter, U.V. *Reaction of chlorine with inorganic and organic compounds during water treatment-kinetics and mechanisms : A critical review*. *Elsivier Ltd.*; July 2007: 13-51
12. Adachi, A dan Kamide, M. *Removal efficiency of anionic and nonionic surfactans from chemical wastewater by a treatment plant using activated carbon adsorption and coagulation precipitation processes*. *Environmental Technology*, Vol. 11, pp.133-140. (1990)
13. Al-Rasheed, R.A, "Water Treatment by Heterogeneous Photocatalysis an Overview", 4th SWCC Aquired Experience Symposium held in Jeddah, 2005