

UJI KINERJA FOTOREAKTOR DRUM BERPUTAR SKALA PILOT PLANT UNTUK PENGOLAHAN AIR LIMBAH FENOL MENGGUNAKAN KATALIS TiO_2/ZAL

PERFORMANCE TEST OF PILOT SCALE ROTATING DRUMS PHOTOREACTOR FOR PHENOL WASTEWATER TREATMENT USING TiO_2/ZAL CATALYST

Siti Naimah¹, Rahyani Ermawati¹, Kenny Viriya² dan Slamet²

¹Balai Besar Kimia dan Kemasan Kementerian Perindustrian

²Jurusan Teknik Kimia Universitas Indonesia

Email: ermakyoto@yahoo.com, slamet@che.ui.ac.id

Diajukan: 10/05/2013, Direvisi: 29/07/2013, Disetujui: 23/8/2013

ABSTRACT

Hazardous organic pollutants generated from textile industry wastewater is phenol. The optimum processing for treated of Phenol using photocatalyst can be achieved. A modified processing for pilot plant scale photoreactor was applied by using photoreactor rotating drum. The purpose of this study is to viewed the performance test photoreactor that's has been made for pilot scale phenol wastewater treatment plan. The performance of pilot scale rotating drums photoreactor for phenol wastewater treatment has been tested. Fenol wastewater is very dangerous due to the carcinogenic characteristic and should be eliminated until safe to the environment. The reactor capacity is 3000 liter with three rotating drums with the diameter of 55 cm and length of 95 cm each and arranged in paralell. On every drum, there is TiO_2/ZAL catalyst attached with the size of 5-8 mm that activated by the energy of photon from UV lamp and mercury lamp. From this experiment, rotating drums photoreactor can decrease the concentration of phenol until 98%, which is below the standards required Kep51/MenLH/10/1995, in 240 minutes with the 15 rpm of rotating speed and 550 liter of wastewater volume requires 10 kg of TiO_2/ZAL catalyst. The effectiveness of TiO_2/ZAL catalyst decrease can be seen from the degradation of phenol by 12% with the same retention time.

Keywords : rotating drums photoreactor, TiO_2/ZAL , photon energy, catalyst effectiveness

ABSTRAK

Polutan organik berbahaya yang dihasilkan dari limbah cair industri tekstil adalah fenol. Pengolahan limbah fenol dengan menggunakan foto katalis dapat menghasilkan pengolahan yang optimum. Pengolahan skala pilot plant dengan fotoreaktor menggunakan modifikasi fotoreaktor drum berputar. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk melihat uji kinerja fotoreaktor yang telah di buat untuk pengolahan limbah fenolsekala pilot plant. Kinerja fotoreaktor drum berputar skala pilot plant untuk pengolahan air limbah fenol menggunakan katalis TiO_2/ZAL telah diuji. Limbah fenol sangat berbahaya karena bersifat karsinogenik sehingga harusdihilangkan sampai batas yang aman bagi lingkungan. Kapasitas reactor adalah 3000 liter dengan tiga drum berputar dengan diameter 55 cm dan panjang 95 cm dandisusun secara paralel. Pada setiap drum terdapat katalis TiO_2/ZAL melekat dengan ukuran5-8 mm dan diaktifkan dengan energi dalam bentuk lampu UV foton dan lampu mercury. Hasilnya, fotoreaktor ini dapat menurunkan konsentrasi fenol sampai 98%,yaitu di bawah baku mutu yang dipersyaratkan Kep 51/MenLH/10/1995, pada 240 menit dengan kecepatan berputar drum 15 rpm, volume air limbah 550 liter dan membutuhkan 10 kg katalis TiO_2/ZAL . Penurunan efektivitas katalis TiO_2/ZAL dapat dilihat dari degradasi fenol sebesar 12% dengan waktu retensi yang sama.

Kata kunci : fotoreaktor drum berputar, TiO_2/ZAL , energi foton, efektivitas katalis

PENDAHULUAN

Limbah cair industri tekstil dapat dikategorikan sebagai salah satu limbah yang berbahaya. Pembuatan tekstil melibatkan beberapa proses kimia seperti proses penghilangan kanji (*desizing*), pemasakan kain (*scouring*),

pengelantangan (*bleaching*), pencucian (*neutralisation*), pencelupan (*dyeing*), pencapan (*printing*)[1]. Salah satu polutan organik berbahaya yang dihasilkan dari limbah cair industri tekstil adalah fenol. Limbah fenol bisa memberikan pengaruh buruk bagi lingkungan dan kesehatan

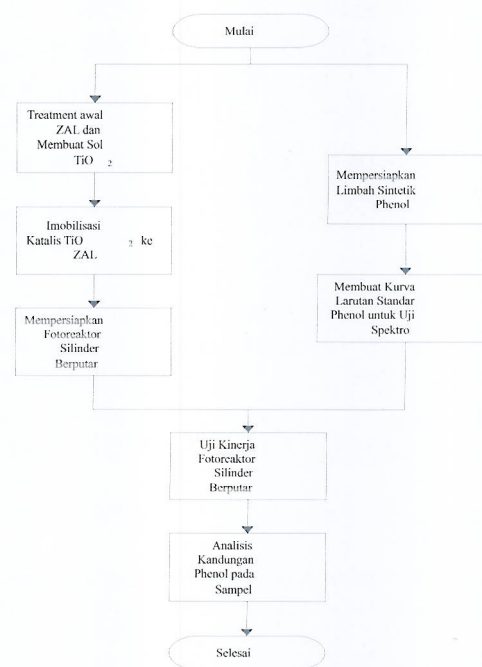
karena memiliki efek karsinogenik [2]. Beberapa metode telah digunakan untuk pengolahan air limbah seperti biodegradasi [3], adsorpsi [4], dan koagulasi [5]. Namun, metode tersebut hanya transfer ke media lain seperti membran dan adsorben [2]. Salah satu metode alternatif adalah dengan menggunakan fotokatalis untuk pengolahan air limbah [6]. TiO_2 semikonduktor telah banyak digunakan untuk degradasi berbagai polutan organik dan non-organik dan memberikan kinerja yang baik untuk degradasi [7]. Tapi adsorpsi semikonduktor TiO_2 rendah. Penggunaan adsorben untuk mendukung semikonduktor dapat meningkatkan kinerja semikonduktor [8]. Dengan menggabungkan semikonduktor dan adsorben, kontak dari polutan dengan katalis akan menjadi lebih optimal. Selain itu, polutan yang diserap oleh adsorben dapat beregenerasi dalam proses insitu sehingga kejenuhan adsorben dapat dikurangi. Banyak jenis fotoreaktor seperti fotoreaktor tubular [9], fotoreaktor drum berputar [10], dan fotoreaktor bertingkat [11]. Fotoreaktor drum berputar dapat memberikan kinerja terbaik untuk degradasi polutan [12]. Fotoreaktor drum berputar dapat menurunkan konsentrasi fenol dari 10 ppm sampai 0,43 ppm (96%) dalam waktu 6 jam [13]. Dalam penelitian ini, uji kinerja fotoreaktor drum berputar skala pilot untuk degradasi polutan organik akan dipelajari. Fenol sintesis digunakan sebagai model untuk polutan organik. Zeolit Alam Lampung (ZAL) digunakan sebagai pendukung untuk katalis TiO_2 . Ukuran dari ZAL yang digunakan adalah sekitar 5-8 mm. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk melihat uji kinerja fotoreaktor yang telah di buat untuk pengolahan limbah fenol skala pilot plant.

METODE

Gambar 1 menjelaskan langkah-langkah yang dilakukan dalam penelitian ini

A. Pembuatan dan Karakterisasi Katalis

Katalis TiO_2 /ZAL disiapkan dengan perlakuan ZAL yang bergerak dengan katalis sol Titania. ZAL pertama dicuci dengan menggunakan aquades untuk

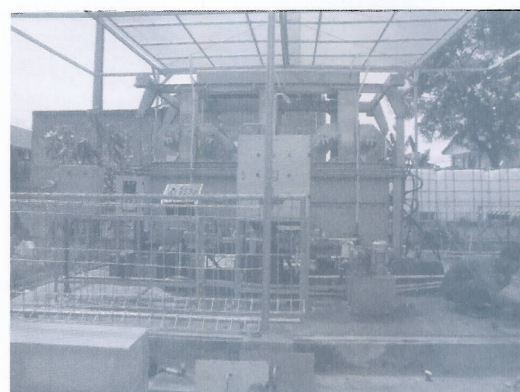


Gambar 1. Diagram alir uji kinerja fotoreaktor drum berputar skala pilot plant untukm pengolahan air limbah fenol menggunakan katalis TiO_2 /ZAL

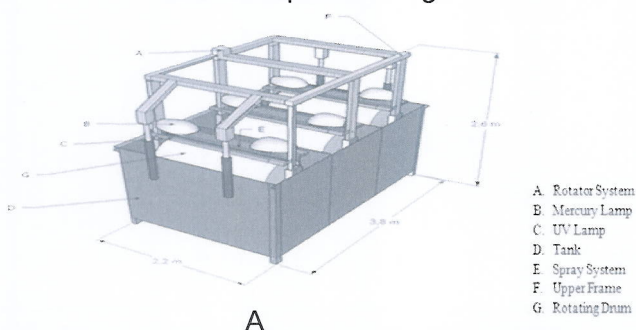
menghilangkan kotoran yang adadi ZAL tersebut. Setelah itu ZAL dipanaskan pada suhu 120°C untuk menghilangkan air yang ada dalam ZAL tersebut. Setelah itu ZAL dimasukkan ke dalam larutan HF 2% untuk menghapus oksida kotor di ZAL selama 20 menit. Kemudian ZAL dipanaskan untuk dikalsinasi selama 5 jam dengan suhu 350°C . Katalis sol Titania disiapkan dengan menempatkan TiO_2 Degussa P-25 ke aquades dengan berat 15% dari jumlah berat ZAL. Kemudian aquades ditambahkan ke TiO_2 Degussa P-25 dengan perbandingan 1:10. Setelah itu sol TiO_2 dimasukkan ke alat ultrasonik untuk menghomogenkan TiO_2 . TEOS dimasukkan ke dalam sol TiO_2 dengan jumlah variasi 40 ml, 60 ml dan 80 ml. Sol TiO_2 tersebut kemudian diteteskan pada ZAL sambil dipanaskan pada suhu $\pm 200^\circ\text{C}$. Komposit yang terbentuk dikalsinasi pada suhu 350°C selama 5 jam. Rekayasa alat untuk pembuatan nano komposit TiO_2 -Zal dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Rekayasa Alat Immobilisasi Katalis Kapasitas 5 kg



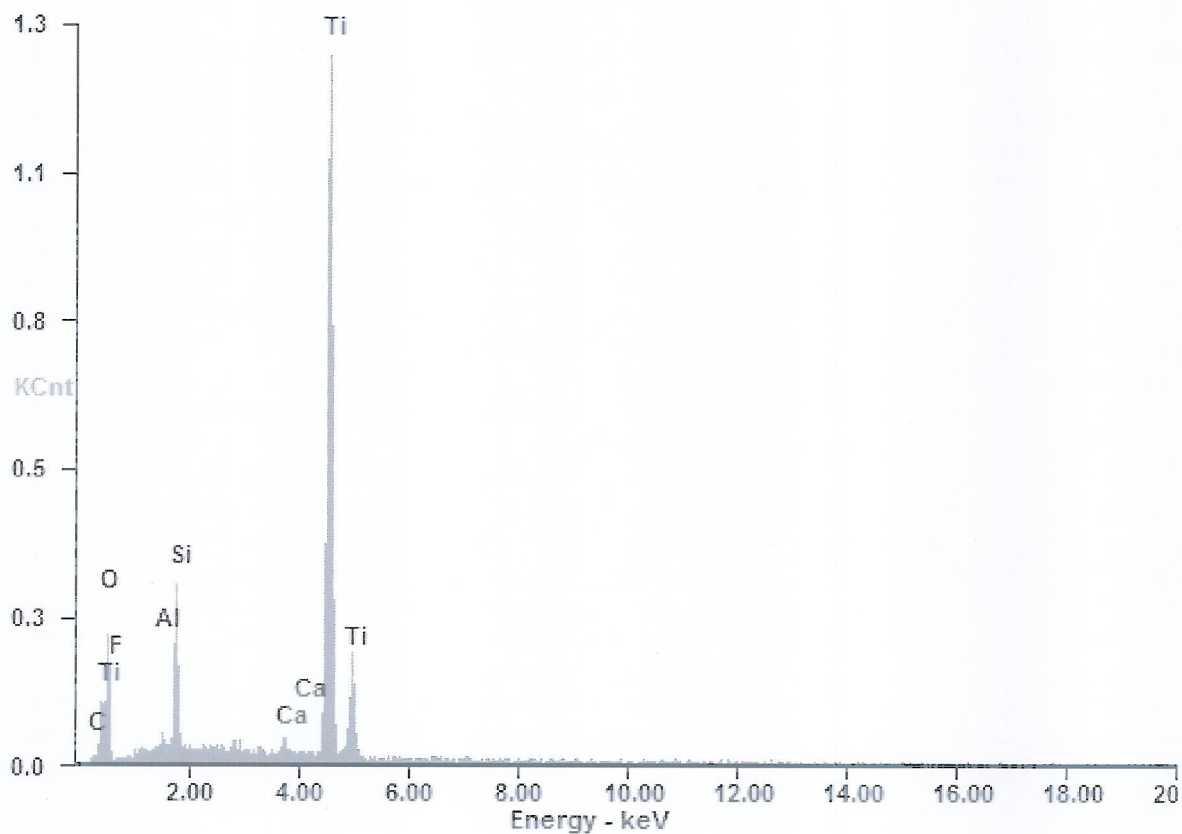
Gambar 3 a. Disain Fotoreaktor Drum Berputar b. Hasil rekayasa Fotoreaktor Drum Berputar



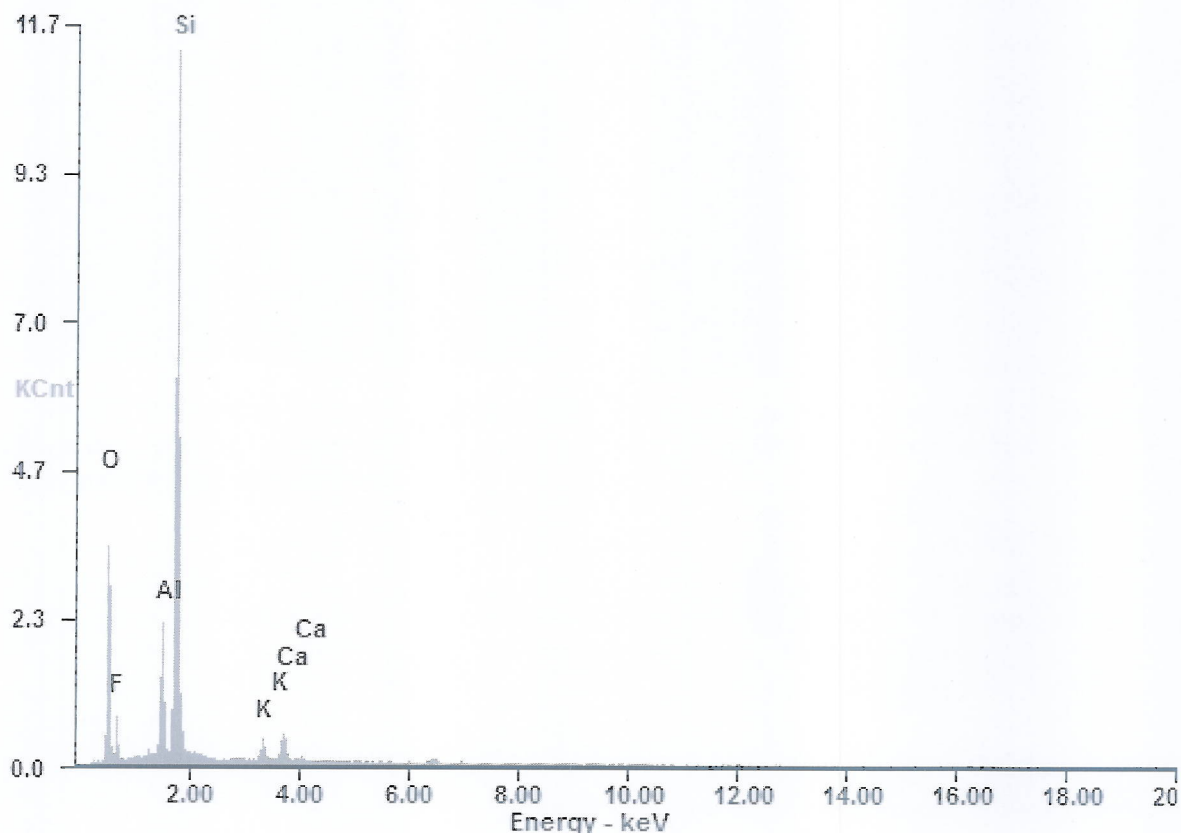
A

B

c:\edax32\genesis\genmaps.spc 29-Jun-2012 09:43:32
L Secs : 18



c:\edax32\genesis\igenmaps.spc 29-Jun-2012 09:34:23
LSecs : 13



B. Percobaan Fotodegradasi

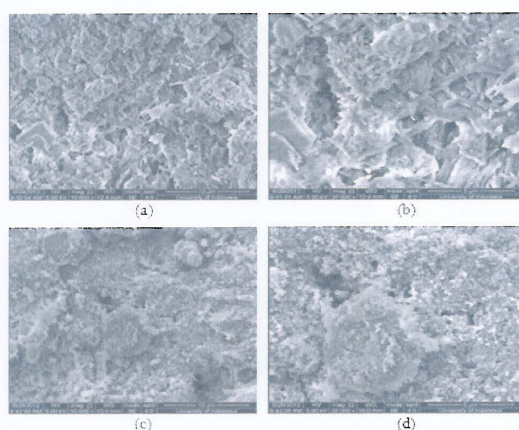
Fenolsintetik dengan konsentrasi awal 10 ppm dipersiapkan untuk percobaan menggunakan fotoreaktor drum berputar skala pilot plant yang terdiri dari tiga tangki dengan kapasitas 1000 liter. Pada setiap tangki terdapat drum dengan diameter 55 cm dan panjang 95 cm seperti ditunjukkan pada Gambar 2. Katalis TiO_2/ZAL yang memiliki ukuran 5-8 mm ditempatkan pada permukaan drum dengan jumlah 10 kg TiO_2/ZAL untuk masing-masing drum. Pada setiap tangki terdapat katup di bagian bawah tangki sebagai tempat sampling. Kecepatan putaran drum dan tinggi tingkat drum dapat dikontrol dengan *controller*. Di atas setiap drum terpasang pipa yang memiliki lubang dengan diameter 0,5 cm untuk aliran air limbah fenol. Dua lampu Mercury dan empat lampu UV yang melekat pada setiap tangki sebagai sumber energi foton untuk mengaktifkan katalis TiO_2/ZAL . Selain itu, terdapat kompresor untuk

mengalirkan udara dari bawah tangki agar limbah tercampur merata sehingga proses degradasi lebih efektif. Sampel fenol kemudian dianalisis menggunakan Spektrofotometer UV-VIS dengan panjang gelombang 550nm. Disain Gambar fotoreaktor drum berputar dapat dilihat pada Gambar 3 (a), sedangkan hasil rekaya alat forto reaktor drum berputar dapat dilihat pada Gambar 3 (b).

HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Karakterisasi SEM-EDX

Katalis yang dibuat dikarakterisasi menggunakan SEM-EDX untuk mengetahui komposisi dalam katalis. ZAL setelah dilakukan perlakuan pendahuluan dan katalis TiO_2/ZAL yang telah dikompositkan akan dikarakterisasi dengan menggunakan SEM-EDX. Pada Gambar 4 terlihat hasil dari SEM-EDX untuk mengetahui morfologi perlakuan pendahuluan ZAL dan komposit TiO_2/ZAL .



Gambar 4. Perlakuan ZAL (a) Pembesaran 10000x, (b) Pembesaran 20000x, Katalis TiO_2/ZAL (c) Pembesaran 10000x, (d) Pembesaran 20000x

Dari Gambar 4, dapat dilihat perbedaan antara perlakuan pendahuluan ZAL dan katalis komposit TiO_2/ZAL . Morfologi perlakuan ZAL berbentuk seperti jarum. Hal ini dapat disebabkan oleh perlakuan yang menggunakan HF 2% sehingga menyebabkan bentuk ZAL berubah seperti bentuk jarum atau angka satu. Kemudian dapat dilihat bahwa morfologi katalis TiO_2/ZAL dimana katalis TiO_2 melekat pada permukaan ZAL tersebut. ZAL berbentuk jarum yang telah diperlakukan ditutupi oleh katalis TiO_2 dan katalis bergerak ke ZAL tersebut. Gambar 4 berikut merupakan grafik hasil SEM-EDX komposisi dari katalis ZAL *Treatment* dan TiO_2/ZAL .

Tabel 1. Persentase berat perlakuan ZAL

Unsur	Wt%
O	35,41
F	7,85
Al	7,65
Si	43,80
K	2,04
Ca	3,25

Tabel 2. Persentase Berat TiO_2/ZAL

Unsur	Wt%
C	3,82
O	54,69
F	2,18
Al	0,76
Si	5,02
Ca	11,67
Ti	21,87

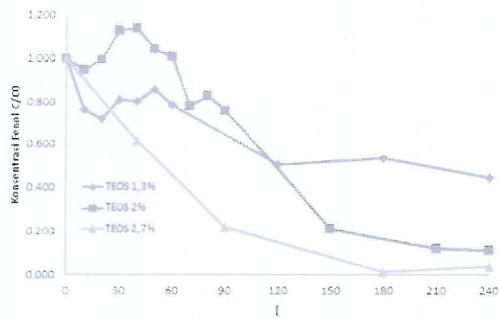
Katalis TiO_2/ZAL kemudian dianalisis untuk mengetahui komposisi katalis. Dari Tabel 2 di bawah ini, dapat dilihat bahwa persentase berat silika menjadi 5,02% dan persentase berat Titania ditemukan berada pada 21,87%. Hal ini dapat disebabkan oleh permukaan Titania yang mencakup ZAL sehingga persentase berat silika mengalami penurunan dan Titania tersebut ditemukan berada pada 21,87%.

Gambar 5 diterjemahkan dalam Tabel 1 yang menjelaskan bahwa komposisi berat Silika pada perlakuan pendahuluan ZAL berada pada 43,8%. Hal ini berarti bahwa perlakuan ZAL dapat menyerap polutan organik dengan kinerja yang baik karena semakin besar komposisi silika maka polutan organik lebih banyak dapat terserap[14].

B. Uji Kinerja Fotodegradasi

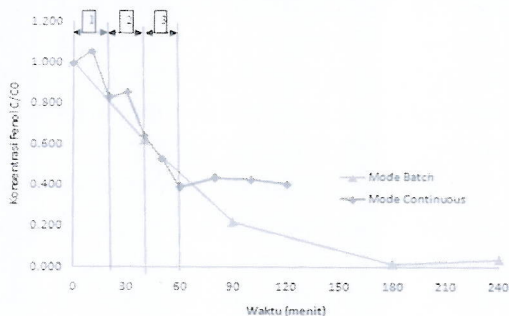
a. Uji Kinerja Variasi Komposisi TEOS

Variasi perbandingan komposisi TEOS dalam sol Titania yang digunakan untuk imobilisasi adalah 1,3%, 2%, dan 2,7%. Gambar 6 di bawah ini menunjukkan uji kinerja fotoreaktor drum berputar dengan variasi komposisi TEOS.



Gambar 6. Pengaruh waktu terhadap konsentrasi fenol dengan variasi komposisi TEOS (Rate = 15 rpm, Volume = 550 liter; Mode = Batch)

Pada Gambar 6 terlihat bahwa konsentrasi sampel fenol yang dianalisis naik dalam 30 menit dari reaksi pertama. Hal ini disebabkan Fenol yang ditambahkan ke dalam air tidak menyebar sempurna ke dalam air sehingga ketika sampel diambil, konsentrasi fenol belum tercampur merata. Peningkatan TEOS menyebabkan degradasi fenol menjadi lebih baik. Ketika



Gambar 7. Pengaruh waktu terhadap konsentrasi fenol (Rate = 15 rpm, TEOS Komposisi = 2,7%)

TEOS ini ditambahkan ke sol TiO_2 , kondisi keasaman sol TiO_2 akan menjadi lebih asam dan partikel akan memiliki lebih banyak kekuatan untuk menolak satu sama lain. Ikatan antara TiO_2 dan ZAL akan menjadi lebih kuat satu sama lain sehingga proses fotodegradasi akan lebih optimal. Selain itu, dapat dikatakan bahwa TEOS sebagai sumber silika. Ketika TEOS ditambahkan berlebih, komposisi silika akan menjadi lebih tinggi. Semakin tinggi komposisi silika maka kemampuan menyerap polutan organik

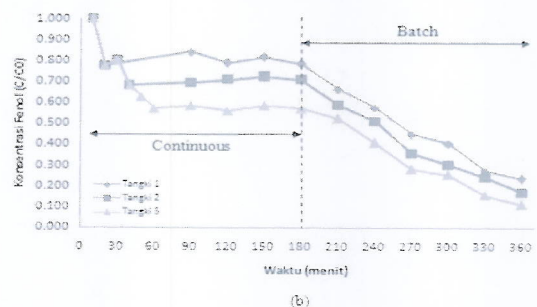
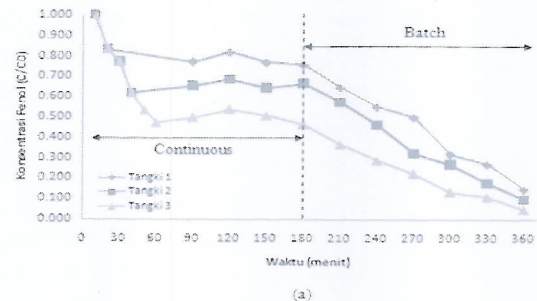
akan menjadi lebih tinggi [14]. Jadi, fotodegradasi fenol akan lebih baik bila adsorpsi dari bahan pencemar organik untuk konsentrasi ZAL yang tinggi.

b. Uji kinerja Variasi Mode

Mode yang dapat digunakan dalam fotoreaktor ini ada dua yaitu *batch* dan kontinyu. Dari Gambar 7 dapat dilihat kinerja fotoreaktor dengan variasi mode.

c. Uji Kinerja Variasi Penggunaan Katalis

Kinerja variasi penggunaan katalis dapat dilihat pada Gambar 8. Katalis TiO_2/ZAL digunakan dua kali untuk melihat kinerja degradasi. Ketika titik kontinyu tercapai di mana seluruh tangki terisi dengan titik ketinggian air limbah yang hampir sama sehingga proses kontinyu dapat dilakukan, konsentrasi fenol cenderung konstan. Jadi semakin lama waktu retensi, degradasi fenol juga akan lebih tinggi.

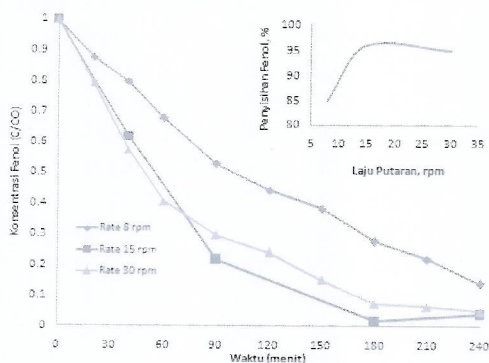


Gambar 8. Pengaruh waktu terhadap konsentrasi fenol dengan penggunaan Katalis (Rate = 15 rpm, TEOS Komposisi = 2,7%)

Dari Gambar 8 terlihat kinerja degradasi fenol menurun ketika katalis digunakan untuk kedua kalinya. Katalis TiO_2 ada yang terlepas dari ZAL karena penggunaan yang pertama kali. Hal ini akan menyebabkan pemuatan katalis menjadi lebih kecil dan kinerja degradasi fenol akan menurun.

d. Uji Kinerja dengan Variasi Kecepatan Putaran

Kinerja degradasi fenol dengan variasi kecepatan putaran drum terlihat pada Gambar 9. Hal ini dapat dilihat bahwa kecepatan putaran drum memiliki efek degradasi fenol. Semakin tinggi kecepatan putaran drum, kinerja degradasi fenol akan menjadi lebih baik sehingga degradasi kinerja fenol sama dengan kecepatan putaran drum. Hal ini dapat disebabkan kontak antara katalis dan fenol dengan energi foton dari lampu menjadi lebih tinggi sehingga kinerja degradasi fenol akan menjadi lebih tinggi [12].



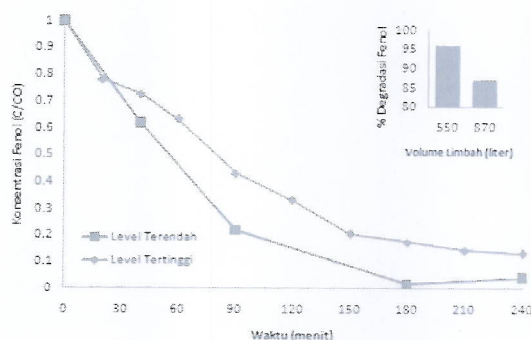
Gambar 9. Pengaruh waktu terhadap konsentrasi fenol dengan variasi kecepatan putaran (Komposisi TEOS = 2,7%, Volume = 550 liter, Mode = Batch)

Dari Gambar 9 terlihat bahwa kecepatan putaran dari 15 rpm dan 30 rpm cenderung konstan. Tapi jika kecepatan putaran mencapai titik optimal, kontak antara katalis dan energi foton tidak akan optimal [10]. Konsentrasi fenol yang semula 10 ppm setelah diolah konsentrasinya turun sampai di bawah baku mutu lingkungan yaitu di bawah 0,5 ppm sehingga sesuai dengan baku mutu yang dipersyaratkan

Kep. 51/MenLH/10/1995.

e. Uji Kinerja Volume Air Limbah

Gambar 10 memperlihatkan kinerja degradasi fenol dengan variasi volume air limbah.



Gambar 10. Pengaruh waktu terhadap konsentrasi fenol (TEOS Komposisi = 2,7%, Tingkat = 15 rpm, Mode = Batch)

Semakin banyak volume air limbah yang mengandung fenol, semakin berkurang persentase degradasi fenol. Hal ini dapat disebabkan oleh pemuatan TiO_2 katalis untuk degradasi. Ketika volume air limbah fenol 550 liter, pemuatan katalis akan berada di 2,37 g / l. Tapi ketika terjadi kenaikan volume air limbah dimana fenol menjadi 870 liter pemuatan katalis akan berada di 1,50 g / l. Jadi pemuatan katalis dapat memberikan efek terhadap kinerja degradasi fenol. Peningkatan volume dapat menurunkan kinerja degradasi.

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Fotoreaktor drum berputar skala pilot plant dapat menurunkan konsentrasi fenol dari 10 ppm sampai di bawah baku mutu lingkungan yaitu dibawah 0,5 ppm sehingga sesuai dengan baku mutu yang dipersyaratkan Kep. 51/MenLH/10/1995. Beberapa faktor yang dapat mempengaruhi kemampuan degradasi fenol dengan alat yang telah dibuat yaitu waktu retensi, kecepatan putaran drum, konsentrasi awal fenol dan frekuensi penggunaan katalis.

Saran

Selanjutnya rekayasa alat ini akan diaplikasikan pada limbah nyata industri tekstil.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terimakasih kepada Puskajitek BPKIMI Kementerian Perindustrian yang telah mendanai penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Mantzavinos, D., & Psillakis, E. (2004). Peningkatan Daya hancur secara biologis dari air limbah Industri Kimia Oksidasi oleh Preperlakuan. *J. Chem. Tech. Biotechnol*, 79, 431-454.
- Garcia J.C. & Oliveira, J.L. (2007). Studi Komparatif The Degradasi Limbah Tekstil Real Oleh Reaksi fotokatalitik Melibatkan UV/TiO₂/H₂O₂ Dan UV/Fe²⁺ / H₂O₂ Systems. *J. Bahan Berbahaya*, 147, 105-110.
- Ghoreishi, S.M., & Haghighi, R. (2003). Reaksi Kimia Catalytic Oksidasi dan Biologi Untuk Pengobatan Tekstil Non-Biodegradable Limbah. *Chem. Eng. J.*, 95, 163-169.
- Benkli, Y.E., Can, M.F., M. & Turan, M.S.C. (2005). Modifikasi Permukaan Organosolite untuk The Penghapusan Reaktif Pewarna Azo di Reaktor Fixed-B. *Res air.*, 39, 487-493.
- Selcuk, H. (2005). Dekolorisasi dan Detoksifikasi Air Limbah Tekstil oleh Ozonation dan Koagulasi Proses. *J. dari KLH.*, 64, 217-222.
- Alinsafi, A. (2006). Pengobatan Air Limbah Industri Tekstil oleh Fotokatalis didukung. *Pewarna dan Pigmen* 74, 439-445.
- Prieto, Feroso, J. (2005). Penghilangan warna Pewarna Tekstil dalam air limbah oleh Fotokatalis dengan TiO₂. *Sol. Energi*, 79, 376.
- Grassian, AV (2000). Adsorpsi dan Oksidasi fotokatalitik dari Aseton pada TiO₂: An di Situ Transmission Study FT-IR. *J. dari Catal.*, 191, 138-146.
- Bandala, E. R., & Arancibia, C. A. (2004). Surya fotoreaktor perbandingan berdasarkan asam Oxalid degradasi fotokatalitik. *Energi surya*, 77, 503-512.
- Zhang, L., Kanki, T., Sano, N. & Toyoda, A. (2001). Degradation fotokatalitik Senyawa Organik dalam Larutan Air Oleh TiO₂ - Dilapisi Rotating-Drum Reaktor Menggunakan Solar Light. *Surya Energym*, 70, 331-337.
- Chan, A.H.C., Chan, K.C., Liang. (2003). Surya Fotokatalitik Thin Film Cascade Reaktor untuk Pengobatan Asam benzoat Mengandung Air Limbah. *Wat. Res.*, 37, 1125-1135.
- Kustininingsih, I. (2005). Pengolahan Dasar hukum: Regulations Cr (VI) Dan Fenol Artikel Baru Fotoreaktor berenergi Matahari. Depok: Tesis, DEPARTEMEN Teknik Kimia Universitas Indonesia.
- Muhroni, T. O. (2005). Uji Higher Lowest Reaktor Silinder Berputar Untuk Mengolah Dasar hukum: Regulations Cr (VI) Dan Fenol Secara Simultan Artikel Baru Fotokatalis TiO₂ Dalam, Telkomnika Lumpur. Depok: DEPARTEMEN Teknik Kimia, Universitas Indonesia.
- Handoko, S. (2002). Preparasi katalis Cr / Zeolit Zeolit Alam SIL Modifikasi. *Jurnal ILMU Ditempatkan*, 3 (1). 15-23.
- El-Maazawi, M., Finken, AN, Nair, AB,