

KARAKTERISTIK TiO_2 -ZEOLIT DALAM PENGOLAHAN LIMBAH TEKSTIL DENGAN FOTOREAKTOR SILINDER BERPUTAR SKALA *PILOT PLANT*

Siti Naimah, Rahyani Ermawati, Silvie Ardhanie A. dan Bumiarto Nugroho J.

Balai Besar Kimia dan Kemasan (BBKK) - Kementerian Perindustrian

Jl. Balai Kimia No. 1, Pekayon - Pasar Rebo, Jakarta Timur

E-mail: st.naimah@gmail.com

Diterima: 9 Januari 2014

Diperbaiki: 23 April 2014

Disetujui: 30 Mei 2014

ABSTRAK

KARAKTERISTIK TiO_2 -ZEOLIT DALAM PENGOLAHAN LIMBAH TEKSTIL DENGAN FOTOREAKTOR SILINDER BERPUTAR SKALA *PILOT PLANT*. Telah dilakukan penelitian karakteristik TiO_2 -zeolit dalam pengolahan limbah tekstil dengan fotoreaktor silinder berputar skala *pilot plant* kapasitas 3000 liter untuk sekali pengolahan. Alat tersebut menggunakan tiga buah silinder berputar dengan diameter 55 cm dan panjang 95 cm. Pada setiap silinder terdapat katalis TiO_2 -zeolit berukuran 5 mm hingga 8 mm. Selama proses pengolahan katalis diaktivasi dengan energi foton dari lampu *Ultra Violet (UV)* dan merkuri pada setiap silinder. Hasil penelitian menunjukkan limbah cair tekstil, yang diambil dari salah satu industri di Bogor dengan konsentrasi *Biological Oxygen Demand (BOD)* dan *Chemical Oxygen Demand (COD)* ± 200 mg/L, dapat diturunkan sampai memenuhi baku mutu yang dipersyaratkan dengan menggunakan alat tersebut. Kondisi optimal untuk pengolahan limbah cair tersebut dengan metode *batch*, dicapai pada kecepatan putar 3 rpm dan waktu tinggal optimal di dalam silinder 180 menit. Sedangkan dengan metode kontinyu, kondisi optimal dicapai pada kecepatan putar 3 rpm dan waktu tinggal optimal 150 menit.

Kata kunci: Fotoreaktor Silinder Berputar, TiO_2 -Zeolit, Katalis, BOD, COD

ABSTRACT

CHARACTERISTIC OF TiO_2 -ZEOLIT FOR TEXTILE INDUSTRY WASTEWATER TREATMENT USING ROTATING CYLINDER PHOTOREACTOR IN PILOTPLANT SCALE. Characterization of TiO_2 -zeolite on textile industry wastewater treatment using rotating cylinder photo reactor in pilot plant scale with a capacity of 3000 liters/ batch has been performed. The reactor consists of three rotating cylinder with a diameter of 55 cm and a length of 95 cm. On each cylinder there is TiO_2 -zeolite catalyst with size of 5-8 mm. During the processing, the catalyst was activated by photon energy from mercury Ultra Violet (UV) lamps on each cylinder. The results showed that the textile wastewater, taken from one of the industry in Bogor with Biological Oxygen Demand (BOD) dan Chemical Oxygen Demand (COD) concentration of ± 200 mg / L can be reduced to meet the required quality standards by using this equipment. The optimum conditions for treating this textile industrial wastewater using batch method is reached at rotational speed of 3 rpm and optimum contact time in the cylinder of 180 minutes. While using the continuous method, the optimum condition is reached at rotational speed of 3 rpm and optimum contact time of 150 minutes.

Keywords: Rotating cylinder photoreactor, TiO_2 -Zeolit, Catalysts, BOD, COD

PENDAHULUAN

Industri tekstil Indonesia berkembang pesat seiring dengan pertumbuhan penduduk. Namun peningkatan produksi industri tekstil di Indonesia tidak

diimbangi dengan pengolahan limbah cair yang baik. Proses produksi tekstil yang menghasilkan air limbah antara lain proses pengkanjian, penghilangan kanji,

penggelantangan, pemasakan, merserisasi, pewarnaan, pencetakan dan proses penyempurnaan. Proses penyempurnaan kapas menghasilkan limbah lebih banyak dari pada limbah dari proses penyempurnaan bahan sintetis. Pemasakan dan merserisasi kapas serta pemucatan semua kain adalah sumber limbah cair yang merusak lingkungan karena menghasilkan asam, basa, *Chemical Oxygen Demand (COD)*, *Biochemical Oxygen Demand (BOD)*, padatan tersuspensi dan zat-zat kimia lainnya [1].

Ada beberapa metode pengolahan air limbah antara lain biodegradasi [2,3], adsorpsi [4,5] dan koagulasi [6]. Namun metode tersebut hanya memindahkan limbah ke media lain seperti membran dan adsorben [7]. Metode alternatif lainnya adalah penggunaan fotokatalis untuk pengolahan air limbah [8,9]. Diketahui banyak jenis semikonduktor yang dapat digunakan sebagai fotokatalis, antara lain ZnO, CdS, CdSe, SiC dan TiO₂. Dari jenis-jenis semikonduktor tersebut, TiO₂ merupakan semikonduktor yang paling sering digunakan sebagai fotokatalis dalam aplikasi reaksi fotokatalitik karena keunggulannya, yaitu indeks reaktif tinggi (sifat optis), transmitansi baik pada daerah infra merah dan cahaya tampak (sifat optis), konstanta dielektrik tinggi (sifat elektrik), stabilitas kimia dan cahaya baik, tidak beracun, aktivitas fotokatalisis tinggi, dan harga yang relatif terjangkau.

Salah satu faktor yang mempengaruhi aktivitas TiO₂ sebagai fotokatalis adalah bentuk kristalnya. TiO₂ memiliki tiga struktur kristal, yaitu *rutile* yang lebih stabil pada suhu tinggi, *anatase* dan *brookite* yang hanya ditemukan pada mineral. Hanya *rutile* dan *anatase* yang cukup stabil keberadaannya dan biasa digunakan sebagai fotokatalis. TiO₂ bentuk komersial yang paling populer dan sangat aktif adalah Degussa P-25 yang memiliki komposisi 80% *anatase* dan 20% *rutile* [10]. Semikonduktor TiO₂ telah banyak digunakan untuk degradasi berbagai polutan organik dan non-organik dan memberikan kinerja yang baik untuk degradasi [11].

Penggunaan adsorben untuk mendukung semikonduktor dapat meningkatkan kinerja fotokatalitik semikonduktor TiO₂ [12,13]. Dengan menggabungkan semikonduktor dan adsorben, kontak dari polutan dengan katalis akan lebih optimal. Selain itu, polutan yang diserap oleh adsorben dapat berregenerasi dalam proses tersebut secara *in situ* sehingga kejenuhan adsorben dapat dikurangi. Zeolit dipilih sebagai adsorben karena struktur kristalnya berpori dan memiliki luas permukaan yang besar, tersusun oleh kerangka silika-alumina, memiliki stabilitas termal yang tinggi, harganya murah serta ketersediaannya cukup melimpah. Zeolit alam Lampung memiliki kelebihan dibandingkan zeolit alam lainnya seperti dari Tasikmalaya dan Bayah karena memiliki luas permukaan (m²), jari-jari pori, dan daya serap atau adsorpsi (ml/g) yang jauh lebih baik [14]. Aktivasi zeolit bertujuan untuk meningkatkan sifat-sifat khusus zeolit dengan cara menghilangkan unsur-unsur

pengotor dan menguapkan air yang terperangkap dalam pori kristal zeolit.

Fotoreaktor sangat beraneka ragam jenisnya seperti fotoreaktor tubular [15], fotoreaktor silinder berputar [16] dan fotoreaktor kaskade [17]. Fotoreaktor silinder berputar dapat memberikan kinerja terbaik dibandingkan dengan jenis fotoreaktor lainnya untuk degradasi polutan [18]. Penelitian skala laboratorium telah berhasil dilakukan dengan metode fotoreaktor-katalis untuk degradasi limbah organik dengan TiO₂-PCC [19] serta TiO₂-karbon aktif untuk degradasi krom pada limbah industri *electroplating* [20].

Pada penelitian skala laboratorium yang berkaitan dengan proses fotokatalis dalam mereduksi limbah tekstil menggunakan TiO₂ sebagai katalis menyebutkan bahwa proses yang dilakukan dapat mereduksi *COD*. Hasil yang diperoleh selama proses 30 menit mampu mereduksi *COD* sebesar 26,5 % dan dalam 150 menit sebesar 45% [21]. Penelitian lainnya [22] menyebutkan bahwa proses fotokatalis dengan jumlah 1 mL TiO₂ untuk mengolah 25 mL limbah tekstil dengan waktu 96 jam mendapatkan hasil yaitu pH awal 11,9 menjadi 7,7; *Total Dissolved Solid (TDS)* awal 35400 menjadi 51,57; *Total Suspended Solid (TSS)* awal 76 menjadi 20,25; *BOD* awal 1088 menjadi 88,56; *COD* awal 1650 menjadi 89,64. Disamping itu hasil penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa fotoreaktor silinder berputar dengan *loading* katalis TiO₂ 15% dari berat zeolite dapat menurunkan konsentrasi limbah fenol sintetik sebagai polutan organik sampai 98% selama 240 menit. Semakin besar volume limbah yang akan didegradasi, maka persentase degradasi fenol juga akan semakin berkurang [23].

Pada penelitian ini dilakukan pengujian karakteristik TiO₂-zeolit dalam fotoreaktor silinder berputar dengan menggunakan limbah tekstil sesungguhnya yang memiliki berbagai jenis polutan yang lebih kompleks.

METODE PERCOBAAN

Bahan yang digunakan pada penelitian ini yaitu limbah cair industri tekstil di Bogor, Zeolit alam Lampung, *aquadest*, HF 2%, serbuk nano partikel TiO₂ Degussa P-25, *Tetra Ortho Silicate (TEOS)* dan zat pereaksi analisis limbah cair. Sedangkan peralatan yang digunakan meliputi alat-alat gelas, sonikator, oven, *furnace (Thermolyne-Type-21100)*, timbangan elektrik, *Scanning Electron Microscope-Energy Dispersive X-ray Spectroscopy (SEM-EDS)* dan *X-Ray Fluorescence (XRF)*.

Aktivasi zeolit alam

Zeolit alam Lampung diaktivasi terlebih dahulu untuk meningkatkan kemampuan adsorpsi dengan cara zeolit alam dicuci dengan *aquadest* dan dipanaskan pada

suhu 120 °C lalu dimasukkan dalam larutan HF 2% selama 20 menit untuk menghapus oksida kotor kemudian dibilas dengan *aquadest* serta dikalsinasi selama 5 jam dengan suhu 350 °C.

Pembuatan komposit TiO₂-zeolit

Perbandingan serbuk nano partikel TiO₂ Degussa P-25 dengan *aquadest* adalah 1:10. Larutan tersebut disonifikasi 30 menit, ditambahkan (*TEOS*) dan disonifikasi kembali 15 menit untuk memberikan suasana asam untuk memperluas permukaan dan menghindari terjadinya aglomerasi pada TiO₂. Katalis TiO₂ yang digunakan sebesar 15% berat zeolit karena efektivitasnya paling optimum [20]. Imobilisasi dilakukan dengan meneteskan katalis TiO₂ ke dalam wadah berputar berisi zeolit (T = 80 °C). Setelah katalis habis diteteskan, komposit yang terbentuk kemudian dikalsinasi pada suhu 350 °C selama 5 jam.

Uji karakteristik komposit

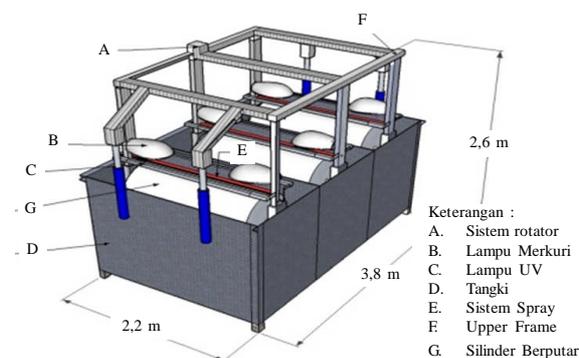
Komposit TiO₂-zeolit dianalisis menggunakan alat *SEM-EDS* untuk mengetahui morfologi permukaan komposit serta alat *XRF* untuk analisis unsur dalam komposit.

Analisis awal limbah

Sampel limbah cair dari industri tekstil di Bogor dianalisis karakteristiknya sebelum diolah dengan fotoreaktor untuk dibandingkan dengan limbah setelah diolah.

Uji coba

Fotoreaktor silinder berputar terdiri dari tiga tangki berkapasitas masing-masing 1000 liter, diameter 55 cm, panjang 95 cm seperti ditampilkan pada Gambar 1. 10kg TiO₂-zeolit ditempatkan pada permukaan masing-masing silinder. Kecepatan rotasi silinder dan tinggi tingkat dapat dikontrol dengan *controller*. Di atas setiap silinder terdapat pipa berlubang dengan diameter lubang 0,5 cm untuk aliran limbah. Dua lampu merkuri



Gambar 1. Desain Fotoreaktor Silinder Berputar

sebagai pengganti matahari dan empat lampu UV sebagai sumber energi foton yang melekat pada setiap tangki untuk mengaktifkan katalis TiO₂-zeolit. Kompresor digunakan untuk mengalirkan oksigen dari bawah tangki dan mencampur limbah sehingga proses degradasi lebih efektif. Pengolahan limbah dilakukan dengan dua variasi metode yaitu secara *batch* dan kontinyu. Masing-masing metode dicoba dengan dua variasi kecepatan yaitu 3 rpm dan 5 rpm.

Analisis akhir limbah setelah diolah

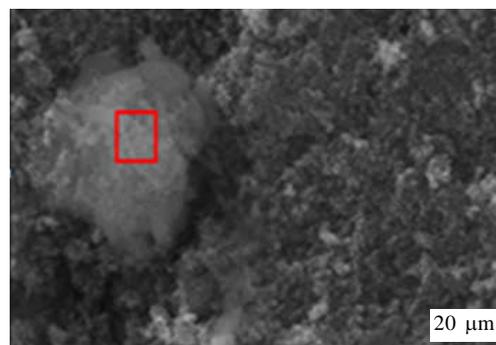
Setelah diolah limbah cair dianalisis setiap parameter lalu dibandingkan dengan limbah awal serta baku mutu limbah cair industri tekstil sesuai Keputusan Gubernur Propinsi DKI Jakarta No.582 Tahun 1995 [24].

HASIL DAN PEMBAHASAN

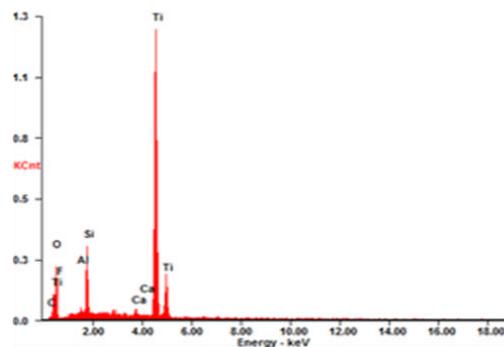
Karakterisasi Komposit TiO₂-zeolit

Morfologi permukaan komposit TiO₂-zeolit yang sudah diaktivasi dapat dilihat dengan menggunakan alat *SEM-EDS* seperti pada Gambar 2. Sedangkan analisa unsur/elemen dari komposit TiO₂-zeolit dengan alat *SEM-EDS* dapat dilihat pada Gambar 3.

Dari Gambar 2 terlihat bahwa sebagian besar permukaan komposit sudah homogen. Satu area dari pembacaan *SEM-EDS* terlihat lebih putih yang berarti lapisan titania lebih tebal di area tersebut dan penyebaran



Gambar 2. Morfologi permukaan komposit TiO₂-zeolit perbesaran 10000x



Gambar 3. Analisis unsur permukaan komposit TiO₂-zeolit

Tabel 1. Perbandingan persentase berat zeolit dengan TiO₂-zeolit

Unsur	Berat Zeolit (%)	Berat Komposit TiO ₂ -Zeolit (%)
C	-	3,82
O	35,41	54,69
F	7,85	2,18
Al	7,65	0,76
Si	43,80	5,02
K	2,04	-
Ca	3,25	11,67
Ti	-	21,87

titania yang menempel pada zeolit sedikit kurang merata. Hal ini dikuatkan dengan melihat komposisi berat Titania pada komposit 21,87% (Tabel 1) yang seharusnya berkisar 15%.

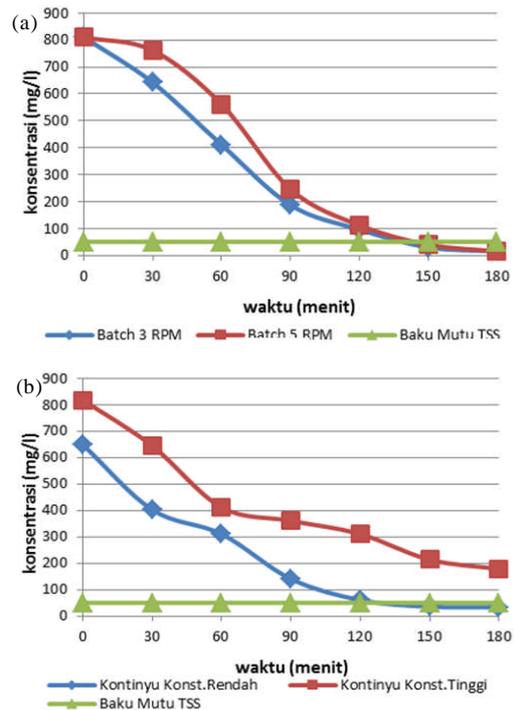
Karakterisasi komposit TiO₂-zeolit dapat diketahui dengan menganalisis perbandingan persentase berat permukaan komposit dengan berat zeolit sebelum dikompositkan dengan menggunakan alat *X-Ray Fluorescence (XRF)*. Tabel 1 menunjukkan perbandingan berat yang dimaksud. Dari Tabel 1 juga terlihat komposisi berat silika pada komposit 5,02% jauh lebih rendah daripada zeolit 43,8% serta penambahan berat titania pada komposit 21,87% yang semula tidak ada pada zeolit. Hal ini berarti zeolit yang banyak mengandung silika benar terlapisi oleh titania dan benar menjadi komposit TiO₂-zeolit.

Uji Kinerja Fotoreaktor dengan Variasi Metode, Waktu dan Kecepatan Rotasi Silinder

Pada metode *batch* digunakan dua variasi kecepatan putaran yaitu 3 rpm dan 5 rpm dengan enam variasi waktu proses yaitu 30 menit, 60menit, 90 menit, 120 menit, 150 menit dan 180 menit. Hasil analisis kualitas limbah cair industri tekstil sebagai limbah awal serta hasil analisis kualitas limbah setelah diolah dengan metode *batch* kemudian dibandingkan dengan baku mutu limbah cair industri tekstil sesuai Keputusan Gubernur Propinsi DKI Jakarta No.582 Tahun 1995.

Pada metode kontinyu dilakukan dengan variasi waktu yang sama dengan *batch* tetapi hanya menggunakan kecepatan 3 rpm karena perbandingan hasil dengan kecepatan 5 rpm pada metode *batch* tidak terlalu signifikan. Pada metode kontinyu dilakukan dua variasi konsentrasi limbah awal yaitu konsentrasi rendah (≤ 200 mg/L BOD dan COD) dan tinggi (>200 mg/L BOD dan COD).

Gambar 4 menjelaskan penurunan konsentrasi TSS dalam air limbah setelah diolah dengan reaktor silinder berputar. Konsentrasi TSS dalam limbah sudah

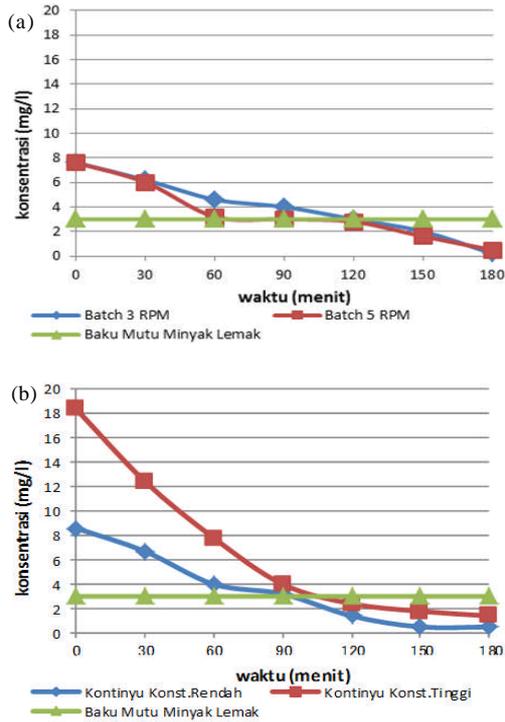


Gambar 4. Konsentrasi TSS dalam limbah setelah diolah: (a). dengan metode *batch* dan (b). dengan metode kontinyu

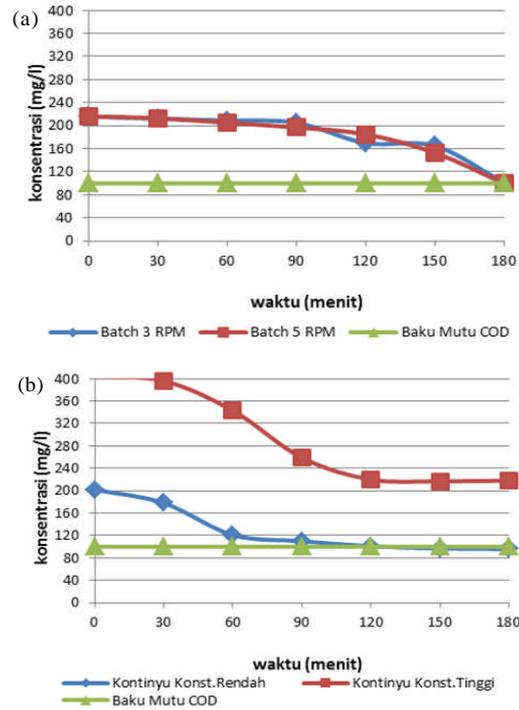
di bawah baku mutu yang dipersyaratkan untuk waktu proses selama 150 menit baik metode *batch* maupun kontinyu. Efisiensi penurunan TSS pada menit ke-180 adalah 98% untuk metode *batch*. Efisiensi metode kontinyu 95% pada limbah konsentrasi rendah dan 78% pada konsentrasi tinggi. Sedang penelitian yang dilakukan oleh Sharmila [20] dapat menurunkan TSS sebesar 73,36 % selama 96 jam. Hal ini menunjukkan bahwa metode pengolahan limbah dengan proses fotokatalitik TiO₂ dikombinasikan dengan zeolite pada silinder berputar lebih efisien untuk diterapkan. Adanya zeolite sebagai absorbent pada proses fotokatalis meningkatkan kinerja alat fotoreaktor silinder berputar.

Sedangkan untuk penurunan konsentrasi minyak lemak dapat dilihat pada Gambar 5. Pada menit ke-120 ternyata konsentrasi minyak lemak sudah di bawah baku mutu yang dipersyaratkan baik dengan metode *batch* maupun kontinyu. Efisiensi penurunan minyak lemak pada menit ke-180 adalah 97% untuk metode *batch* 3 rpm sedangkan efisiensi metode kontinyu rata-rata 93% baik pada limbah konsentrasi rendah maupun konsentrasi tinggi.

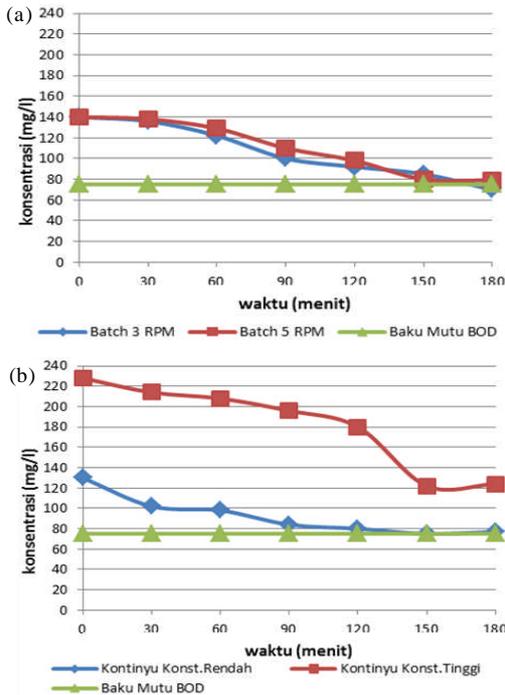
Konsentrasi BOD limbah tekstil yang diolah secara *batch* setelah 180 menit baru di bawah baku mutu yang dipersyaratkan seperti terlihat pada Gambar 6. Rata-rata efisiensi penurunan BOD pada menit ke-180 adalah 45% baik metode *batch* maupun kontinyu khusus limbah konsentrasi rendah. Sedangkan penelitian yang dilakukan oleh Sharmila [20] menunjukkan terjadi penurunan BOD sebesar 91,86% selama proses 96 jam.



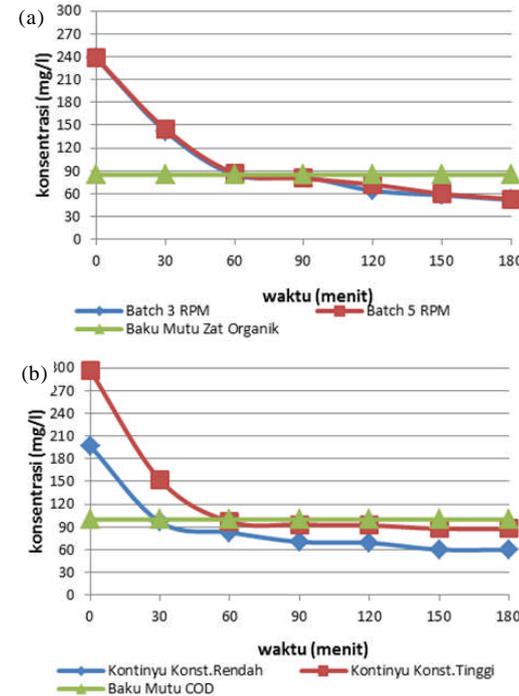
Gambar 5. Konsentrasi minyak lemak dalam limbah setelah diolah: (a). dengan metode batch dan (b). dengan metode kontinyu



Gambar 7. Konsentrasi COD dalam limbah setelah diolah: (a). dengan metode batch dan (b). dengan metode kontinyu



Gambar 6. Konsentrasi BOD dalam limbah setelah diolah : (a). dengan metode batch dan (b). dengan metode kontinyu



Gambar 8. Konsentrasi zat organik dalam limbah setelah diolah: (a). dengan metode batch dan (b). dengan metode kontinyu

Efisiensi penurunan COD pada menit ke-180 rata-rata 53% baik metode batch maupun kontinyu, khusus limbah konsentrasi rendah, sehingga konsentrasinya bisa di bawah baku mutu (Gambar 7). Setelah 3 jam, limbah konsentrasi tinggi pada metode

kontinyu tidak mampu memenuhi baku mutu walaupun 46% BOD dan COD terdegradasi. Hal ini disebabkan tingginya konsentrasi BOD dan COD pada limbah awal sehingga fotoreaktor tidak mampu mendegradasi lagi setelah 3 jam.

Zat organik dalam limbah tekstil dengan pengolahan fotokatalis TiO₂-zeolit silinder berputar sistem *batch* dapat diturunkan sebesar 78 % pada waktu 180 menit. Sedangkan pada metode kontinyu, penurunan zat organik sebesar 70% pada waktu yang sama (Gambar 8).

Uji kinerja fotoreaktor dengan variasi waktu dapat diketahui dengan membandingkan antara waktu tinggal dengan konsentrasi limbah yang terdegradasi. Secara keseluruhan dapat dilihat bahwa semakin lama waktu tinggal, konsentrasi limbah yang terdegradasi juga semakin besar. Sedangkan uji kinerja fotoreaktor dengan variasi metode dapat diketahui dengan membandingkan antara kedua metode pada waktu tinggal yang sama. Reaktor dengan metode kontinyu memberikan hasil degradasi yang lebih tinggi dibandingkan dengan *batch* karena pada metode kontinyu ketiga tangki digunakan selama proses sehingga kontak limbah dengan katalis TiO₂-zeolit akan semakin sering dan limbah yang terdegradasi juga semakin banyak.

Kinerja fotoreaktor dengan variasi kecepatan rotasi silinder dapat diketahui dengan membandingkan antara kecepatan rotasi silinder dengan konsentrasi limbah yang terdegradasi. Secara keseluruhan dapat dilihat bahwa semakin cepat rotasi, konsentrasi limbah yang terdegradasi juga semakin kecil. Kondisi optimal untuk mengolah limbah cair industri tekstil sampai di bawah baku mutu limbah yg dipersyaratkan dengan alat fotoreaktor silinder berputar kapasitas 3000 L yaitu metode *batch* dengan kecepatan putar 3 rpm dan waktu optimal 180 menit sedangkan untuk metode kontinyu dengan kecepatan putar 3 rpm dan waktu optimal 150 menit.

Uji Ketahanan Katalis

Ketahanan katalis TiO₂-zeolit dapat diuji dengan melihat kemampuan katalis dalam mendegradasi zat organik. Pengujian dilakukan dengan metode *batch* selama 180 menit dengan tiga kali pengulangan proses. Pada pemakaian pertama terjadi degradasi zat organik sebesar 78% sedangkan pada pemakaian kedua dan ketiga, konsentrasi zat organik yang dapat didegradasi menjadi 60% dan 50% pada waktu yang sama. Deaktivasi katalis ini dapat terjadi akibat katalis TiO₂ yang terkikis dari zeolit sehingga komposisi TiO₂ pada zeolit semakin berkurang. Berkurangnya TiO₂ menyebabkan *loading* katalis juga semakin kecil sehingga kemampuan mendegradasi senyawa organik juga akan berkurang. Dengan demikian proses fotoeksitasi pada TiO₂ yang menghasilkan *hole* dan elektron untuk dapat memecah oksigen dan air menjadi gugus hidroksil juga semakin berkurang.

Teknologi fotoreaktor silinder berputar menggunakan katalis TiO₂-zeolit dapat mengatasi permasalahan pada teknologi konvensional. Adapun

keunggulan teknologi ini adalah minimnya penggunaan bahan kimia dan lahan, tidak menghasilkan *sludge* yang berbahaya, tidak menimbulkan bau dan suara yang mengganggu lingkungan.

KESIMPULAN

Hasil penelitian menunjukkan bahwa komposit TiO₂-zeolit yang dibuat dengan *loading* katalis TiO₂ 15% dari berat zeolite telah dapat diaplikasikan pada fotoreaktor silinder berputar untuk mendegradasi limbah industri tekstil. Konsentrasi *BOD* dan *COD* ~ 200 mg/L menurun sampai di bawah baku mutu yang dipersyaratkan baik pH, *TSS*, *BOD*, *COD*, minyak lemak, zat organik sesuai Keputusan Gubernur Propinsi DKI Jakarta No.582 Tahun 1995 khusus untuk Limbah Tekstil. Kondisi optimal pengolahan limbah cair ini yaitu metode *batch* dengan kecepatan putar 3 rpm dan waktu optimal 180 menit sedangkan untuk metode kontinyu dengan kecepatan putar 3 rpm dan waktu optimal 150 menit.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian ini didanai oleh Program DIPA 2013 Balai Besar Kimia dan Kemasan.

DAFTARACUAN

- [1]. Pratiwi Y. "Penentuan Tingkat Pencemaran Industri Tekstil Berdasarkan Nutrition Value Coefficient Bioindikator". *Jurnal Teknologi*, vol. 3, no.2, pp.129-137. Des. 2010.
- [2]. I. D. K. Sastrawidana, W. B. Lay, A. M. Fauzi, D. A. Santosa. "Pengolahan Limbah Tekstil Sistem Kombinasi Anaerobik-Aerobik Menggunakan Biofilm Bakteri Konsorsium Dari Lumpur Limbah Tekstil". *Jurnal Penelitian dan Pengembangan Sains & Humaniora*, vol. 2, no. 3, pp. 55-60, 2008.
- [3]. G. P. Srinivasan, A. Sikkantar, A. Elamaran, C. R. Delma, K. Subramiyan, S. Thirugnanasamban and Somasundaram. "Biodegradation Of Carcinogenic Textile Azo Dyes Using Bacterial Isolates Of Mangrove Sediment". *Journal of Coastal Life Medicine*, vol. 2, no.2, pp. 154-162, 2014.
- [4]. Y.E. Benkli, M.F. Can and M.S.C. Turan, "Modification of Organozeolite Surface for the Removal of Reactive Azo Dyes in Fixed-Bed Reactors". *Water Res.*, vol.39, pp. 487-493, 2005.
- [5]. M. A. Kamaruddin, M. S. Yusoff, H. A. Aziz, C. O. Akinbile. "Recent Development of Textile Waste Water Treatment by Adsorption Process: A Review". *International Journal of Scientific Research in Knowledge (IJSRK)*, vol. 1, no.4, pp. 60-73, 2013.

- [6]. H. Selcuk. "Decolorization and Detoxification of Textile Wastewater by Ozonation and Coagulation Processes". *J. of Env.*, vol. 64, pp.217-222,2005.
- [7]. J. C. Garcia & J. L. Oliveira. "Comparative Study of The Degradation of Real Textile Effluents By Photocatalytic Reactions Involving UV/TiO₂/H₂O₂ And UV/Fe₂+/H₂O₂ Systems". *J. of Hazardous Materials*, vol.147, pp.105-110, 2007.
- [8]. A. Alinsafi. "Treatment of Textile Industry Wastewater by Supported Photocatalysis". *Dyes and Pigments*, vol. 74, pp. 439-445, 2006.
- [9]. A. Dixit, A.K. Mungray and M. Chakraborty. "Photochemical Oxidation of Phenol and Chlorophenol by UV/H₂O₂/TiO₂ Process: A Kinetic Study". *International Journal of Chemical Engineering and Applications*, vol. 1, no.3, pp. 247-250, 2010.
- [10]. J. J. Wu and C. C. Yu. "Aligned TiO₂ Nanorods and Nanowalls". *The J. of Physic. Chem. B.*, 108, pp. 312-319, 2004.
- [11]. Prieto, J. Feroso. "Decolouration of Textile Dyes in Wastewaters by Photocatalysis with TiO₂". *Sol. Energy*, vol.79, pp. 376, Oct. 2005.
- [12]. N. M. Julkapli, S. Bagheri and S.B. A. Hamid. "Recent Advances in Heterogeneous Photocatalytic Decolorization of Synthetic Dyes". *The Scientific World Journal*, pp. 201-226, Jun. 2014.
- [13]. Slamet, M. Ellyana, &S. Bismo. "Modifikasi Zeolit Alam Lampung Dengan Fotokatalis TiO₂ Melalui Metode Sol Gel dan Aplikasinya Untuk Penyisihan Fenol". *Jurnal Teknologi*, vol.1, pp.59-68, 2008.
- [14]. A.B. Ginting, S. Noviarty, A.D. Yanlinastuty dan A. Nugroho. "Karakterisasi Komposisi Kimia, Luas Permukaan Pori dan Sifat Termal Dari Zeolit Bayah, Tasikmalaya Dan Lampung". *J. Tek. Bhn. Nukl.*, vol. 3, pp.1-48, 2007.
- [15]. J. Chanathaworn, J. Pornpunyapat and J. Chungsiriporn. "Decolorization Of Dyeing Wastewater In Continuous Photoreactors Using TiO₂ Coated Glass Tube Media". *Songklanakarinn J. Sci. Technol.*, vol.36, no.1, pp.97-105, Jan-Feb. 2014.
- [16]. N. Ho, J. D. Gamage and Z. J. Zhang. "Photocatalytic Degradation of Eriochrome Black Dye in a Rotating Corrugated Drum Photocatalytic Reactor". *International Journal of Chemical Reactor Engineering*, vol. 8, Issue 1, pp. 1542-1551, Dec. 2010.
- [17]. S. Bismo, T.H. Praptoyo dan Slamet. "Rancang bangun dan Uji Kinerja Fotoreaktor Bertingkat dalam Pengolahan Limbah Cr (VI) dan Fenol dengan Katalis TiO₂". *Jurnal Teknologi*, no.2, pp. 139-148. 2008.
- [18]. I. Kustininingsih. "Pengolahan Dasar Hukum: Regulations Cr (VI) Dan Fenol Artikel Baru Fotoreaktor berenergi Matahari." Thesis, Universitas Indonesia, Depok. 2005.
- [19]. S. Naimah and R. Ermawati. "Degradasi Limbah Organik Industri Tekstil dengan Nanokomposit TiO₂-PCC." *Jurnal Riset Industri*, vol.IV, no.2, pp.65-70. 2010.
- [20]. R. Ermawati, Slamet, E. Ratnawati dan S. Naimah. "Efektivitas Fotokatalis TiO₂ yang Dikompositkan dengan Karbon Aktif dan Precipitated Calcium Carbonat dalam Menurunkan Chromdari Limbah Industri Elektroplating". *Jurnal Sains Materi Indonesia*, vol.14, no.1, pp.17-21. 2010.
- [21]. B. N. Patil, D.B Naik and V.S. Shivastava. "Treatment of textile dyeing and printing wastewater by semiconductor photocatalysis". *Journal of Applied Sciences in Environmental Sanitation*, vol. 5, Jul-Sept. 2010.
- [22]. S. Pokharna and R. Shrivastava. "Photocatalytic Treatment of Textile Industry Effluent Using Titanium Oxide". *International Journal of Recent Research and Review*, vol. VI, issue 2, Sept. 2013.
- [23]. S. Naimah, R. Ermawati, K. Viriya, and Slamet. "Uji Kinerja Fotoreaktor Silinder Berputar Skala Pilot Plant untuk Pengolahan Air Limbah Fenol Menggunakan Katalis TiO₂/ZAL". *Jurnal Riset Industri*, vol.7, no.2, pp.93-100. 2013.
- [24]. Keputusan Gubernur Propinsi Daerah Khusus Ibukota Jakarta No.582 Tahun 1995 tentang Penetapan Peruntukkan dan Baku Mutu Limbah Cair Industri