



ABSTRAK DAN *EXECUTIVE SUMMARY*
PENELITIAN DISERTASI DOKTOR

PENGEMBANGAN FOTOREAKTOR SCALE_UP
BERBAHAN DASAR KATALIS SEMIKONDUKTOR
UNTUK PENGOLAHAN LIMBAH ZAT PEWARNA TEKSTIL

(Sutisna, S.Pd., M.Si., NIDN: 0015017302)

UNIVERSITAS JEMBER
NOPEMBER 2016

**PENGEMBANGAN FOTOREAKTOR SCALE_UP
BERBAHAN DASAR KATALIS SEMIKONDUKTOR
UNTUK PENGOLAHAN LIMBAH ZAT PEWARNA TEKSTIL**

Sutisna

Jurusan Fisika FMIPA Universitas Jember

ABSTRAK

Proses fotokatalitik memiliki potensi aplikasi yang sangat besar dalam pengolahan air limbah. Bagaimanapun implementasi dari proses fotokatalitik pada skala besar mensyaratkan penggunaan sebuah reaktor, sebuah devais yang membawa foton, photocatalist dan reaktan dalam sebuah kontak. Sebuah reaktor fotokatalitik (fotoreaktor) yang distimulasi sinar matahari telah dibuat untuk pengolahan limbah cair organik. Fotoreaktor terdiri dari panel reaktor dari kaca berongga yang diisi dengan polimer berlapis titania. Panel reaktor dipasang secara miring dan air limbah disirkulasi melalui panel tersebut. Fotoreaktor tersebut diberi nama *Inclined-Flat-Panel (IFP) photoreaktor*.

Fotoreaktor tersebut telah diimplementasikan untuk mendegradasi 30 L larutan metilen biru (MB) dengan konsentrasi mula-mula 25 mg L⁻¹. Sebagai hasilnya, sebanyak lebih dari 98% MB berhasil didegradasi setelah 48 jam dibawah radiasi sinar matahari. Pengaruh dari parameter-parameter operasional seperti konsentrasi awal larutan dan volume larutan juga telah ditinjau dalam eksperimen ini.

Dalam penelitian ini juga telah dilakukan uji stabilitas performa fotoreaktor untuk penggunaan berulang (reusabilitas). Untuk menguji reusabilitas, eksperimen fotodegradasi MB diulang sebanyak empat kali dengan durasi waktu yang sama, dan hasilnya menunjukkan bahwa untuk empat siklus eksperimen tersebut efisiensi fotoreaktor hanya berkurang sekitar 1.5% saja. Stabilitas dari performa fotoreaktor untuk penggunaan berulang juga dikuatkan dengan nilai standard deviasi dari efisiensi fotoreaktor untuk empat siklus eksperimen yaitu 0,64%, yang mengindikasikan bahwa efisiensi fotoreaktor cenderung konstan.

IFP photoreaktor yang dihasilkan dalam penelitian ini memiliki potensi yang sangat besar untuk digunakan dalam pengolahan air limbah organik dalam skala besar di daerah beriklim tropis seperti Indonesia dengan intensitas penyinaran matahari sepanjang tahun yang cukup tinggi. Fotoreaktor ini memiliki keunggulan karena teknologi dan biayanya murah, ramah lingkungan, stabil untuk digunakan berulang sehingga cocok digunakan disentra-sentra industri masyarakat kecil dan menengah (penghasil air limbah) misalnya industri batik.

Kata kunci: IFP Fotoreaktor, katalis titania, degradasi, metilen biru.

EXECUTIVE SUMMARY

1. Pendahuluan

Air merupakan kebutuhan dasar, bukan saja bagi manusia tapi juga bagi seluruh makhluk hidup di muka bumi ini. Ketersediaan air bersih (bebas dari zat pencemar) semakin hari semakin menurun, yang diakibatkan meningkatnya populasi manusia sehingga kebutuhan akan air bersih juga meningkat. Selain itu, pertumbuhan industri yang sangat pesat, yang tidak dibarengi dengan penanganan limbah yang baik berkontribusi pada tercemarnya sumber-sumber air bersih yang ada.

Berbagai teknologi telah digunakan untuk mengolah air limbah baik secara kimia, biologi maupun fisika. Seperti pemberian klor dan turunannya, penggunaan mikro organisme, penyinaran dengan cahaya ultraviolet, pendidihan, iradiasi dengan ultrasonik, penyulingan, osmosis terbalik, filter pengendap air, karbon aktif, keran saring, dan ozonisasi (Dhermendra dkk., 2008). Teknologi pengolahan limbah lainnya adalah secara fotokatalisis dengan menggunakan fotokatalis semikonduktor yang memiliki beberapa keunggulan yaitu: (1) tidak terjadi transfer massa/fase; (2) dapat beroperasi pada kondisi lingkungan; (3) mineralisasi senyawa organik menjadi CO₂ berlangsung sempurna; dan (4) biayanya cukup murah (Xu dkk., 1999; Zahraa dkk., 2006; Yu dkk., 2009; Shiddique dkk., 2011; Mahne dkk., 2012). Teknologi fotokatalisis ini sangat cocok dikembangkan di Indonesia karena penyinaran mataharinya merata sepanjang tahun.

Ada beberapa material semikonduktor yang bisa digunakan sebagai fotokatalis, diantaranya adalah WO₃, VO₂, ZrO₂ dan TiO₂ (Chen, 2008). Dari keempat fotokatalis tersebut, TiO₂ dengan struktur kristal anatase lebih unggul dibandingkan yang lainnya karena efisiensi oksidasinya relatif tinggi, proses dekomposisi kontaminan berlangsung secara sempurna, murah dan mudah didapat, dan relatif tidak menghasilkan produk sampingan (Tayade dkk., 2007; Qamar dan Muneer, 2009; Xikong dkk., 2010).

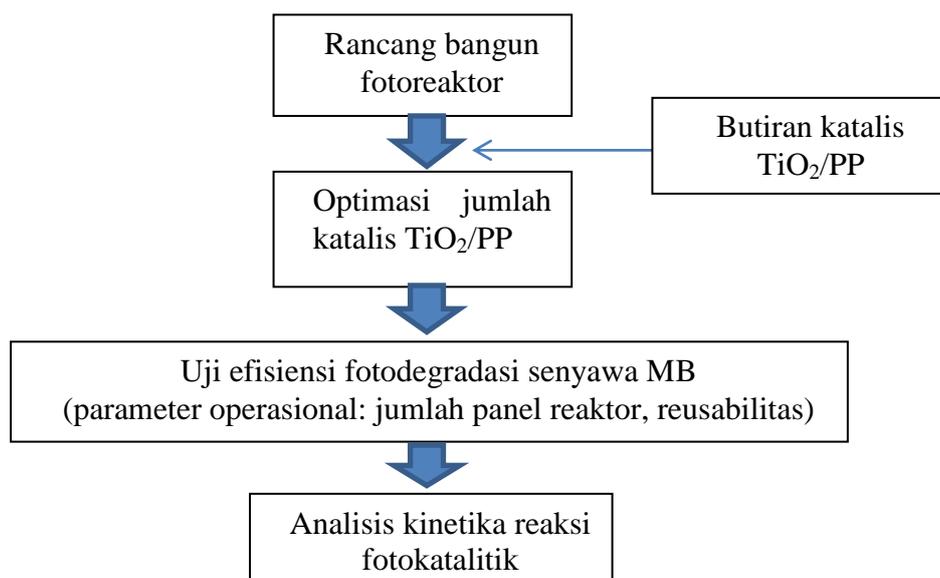
Selain berbagai kelebihannya. fotokatalis TiO₂ atau sering disebut dengan titania juga memiliki permasalahan dalam operasionalnya. Laju reaksi fotokatalitik yang ditentukan oleh luas permukaan fotokatalis yang teriluminasi, radiasi cahaya, laju adsorpsi reaktan, dan sifat fotokatalis, secara umum tidaklah besar karena fotoefisiensi yang rendah. Sehingga komersialisasi proses fotokatalitik sampai sekarang masih dalam tahap pengembangan.

Desain reaktor dapat mengurangi beberapa masalah dan meningkatkan efisiensi proses fotokatalisis. Namun, ada empat hambatan utama aplikasi skala besar dari reaktor fotokatalitik. Pertama, efisiensi penyinaran katalis oleh cahaya dalam reaktor skala besar masih banyak tantangan. Kedua, luas katalis yang teriluminasi serta kontak dengan air limbah harus dipertahankan tinggi. Ketiga, penghambatan pencampuran dan transfer massa dalam reaktor skala besar masih perlu diatasi. Oleh karena itu, pemilihan konfigurasi katalis yang tepat adalah sangat penting dalam reaktor skala besar.

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan di atas, maka dalam penelitian ini akan dikembangkan fotoreaktor berbahan dasar fotokatalis titania. Cakupan dari penelitian ini meliputi penyiapan bahan katalis titania yang diimobilisasi pada permukaan polimer PP. Langkah selanjutnya adalah desain reaktor, yang dilanjutkan dengan uji coba fotodegradasi pada model senyawa limbah *methylene blue*.

2. Metode

Penelitian ini merupakan penelitian eksperimen yang merupakan bagian integral dari penelitian disertasi. Cakupan penelitian ini adalah mengaplikasikan butiran plastik polipropilena (PP) yang telah dilapisi nanokatalis TiO_2 dalam sebuah Incleaned-Flat-Panel(IFP) fotoreaktor. Proses pelapisan butiran katalis dilakukan dengan menggunakan metode kombinasi elektrostatis dan pemanasan. Fotoreaktor ini kemudian diaplikasikan untuk pengolahan air limbah pewarna tekstil. Gambar 1 menunjukkan bagan dari penelitian yang dilakukan.

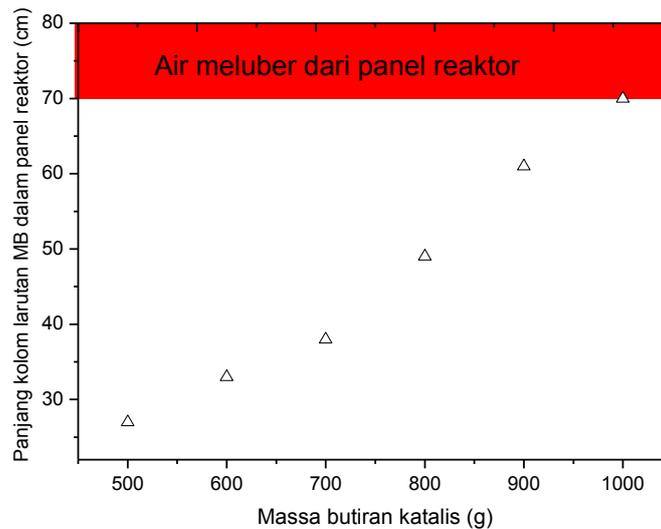


Gambar 1. Diagram penelitian

3. Hasil

3.1. Optimasi massa katalis

Gambar 2 merupakan hubungan antara jumlah katalis dengan panjang kolom larutan limbah dalam panel reaktor. Pada gambar tersebut ditunjukkan bahwa massa katalis 900 g merupakan massa maksimum katalis supaya air limbah tidak meluber dan keluar dari panel reaktor.

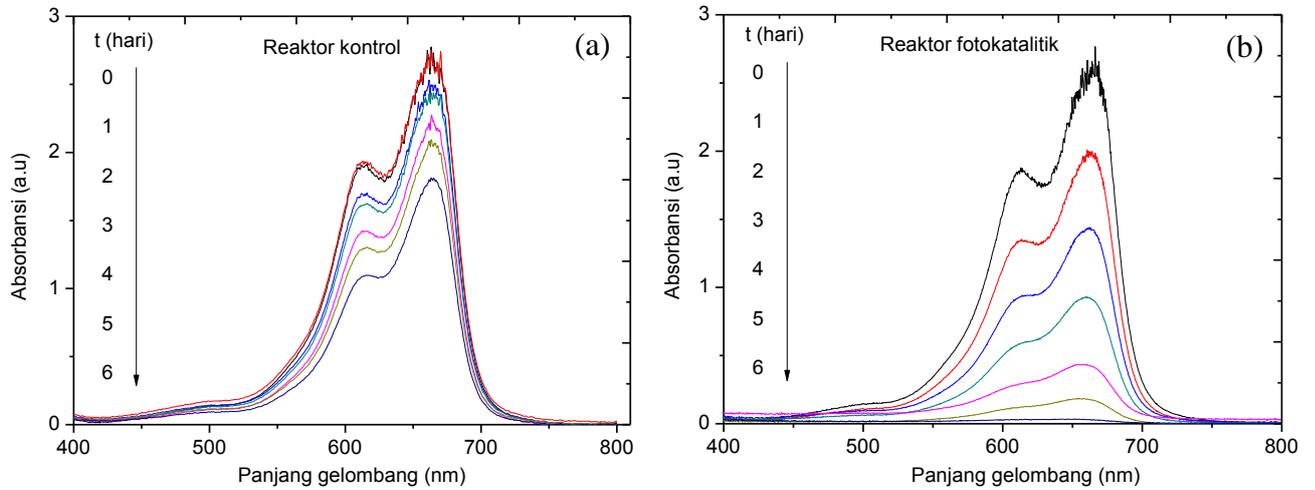


Gambar 2. Panjang kolom larutan MB dalam panel reaktor sebagai fungsi massa butiran katalis.

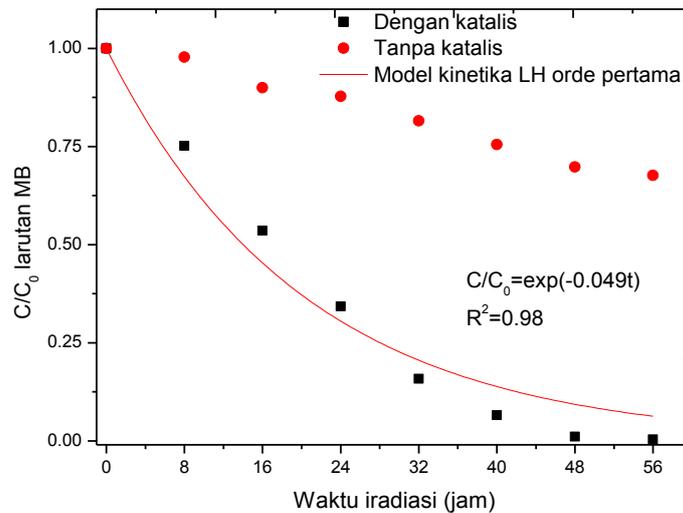
3.2. Eksperimen fotokatalisis

a. Perubahan warna MB melalui reaksi fotolisis dan fotokatalisis

Eksperimen pertama fotodegradasi bertujuan untuk mengetahui pengaruh fotokatalis pada laju dekomposisi MB. Eksperimen dilakukan dari pukul 08.00 sampai 16.00 setiap harinya. Pada setiap 2 jam, 5 ml larutan MB disampling untuk pengukuran absorbansi. Gambar 3 menunjukkan spektrum absorpsi UV-Vis untuk larutan MB selama proses fotodekomposisi. Ada perbedaan yang sangat jelas dalam pola penurunan puncak spektrum serapan UV-Vis untuk MB yang dalam fotoreaktor dan reaktor kontrol.



Gambar 3. Spektrum absorpsi UV-Vis dari larutan MB selama proses fotodegradasi (a) dalam reaktor kontrol; dan (b) dalam FP photoreaktor. Kondisi eksperimen: jumlah panel reaktor= 1, konsentrasi awal larutan MB (C_0) = 25 mg L⁻¹, volume total = 30 L, pH = 7.03.



Gambar 4. Fotodegradasi MB selama 48 jam iradiasi. Kondisi eksperimen: jumlah panel reaktor = 1, C_0 = 25 mg L⁻¹, volume total = 30 L, pH = 7.03.

Dua mekanisme dekomposisi MB, fotolisis dan fotokatalisis, ditunjukkan pada Gambar 4. Sangat jelas bahwa kinerja yang jauh lebih baik telah ditunjukkan oleh FP fotoreaktor. Hal tersebut terlihat dari kemampuannya dalam mendegradasi sepenuhnya MB hingga 98,91%, selama 6 hari iradiasi (reaksi fotokatalitik). Sementara itu, dalam interval

waktu yang sama, reaktor kontrol menunjukkan kinerja yang jauh lebih rendah, yakni hanya dapat mengurai MB sekitar 30,20% (reaksi fotolisis).

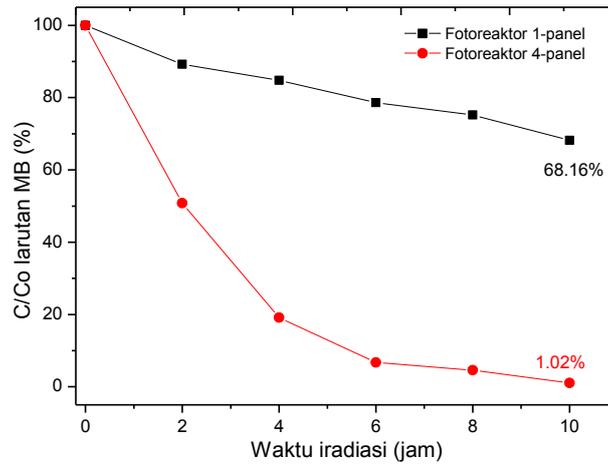
b. *Scaling-up* fotoreaktor

Efisiensi fotoreaktor salah satunya ditentukan oleh rasio antara volume reaktor dengan volume total larutan limbah. Manfaat yang lebih besar dalam efisiensi akan diberikan oleh rasio volume yang lebih besar. *Scaling-up* dari fotoreaktor yang dikembangkan dapat ditingkatkan dengan menambah jumlah panel reaktor. Gambar 5 menunjukkan *scale-up* dari IFP fotoreaktor.



Gambar 5. *Scale-up* dari IFP fotoreaktor dengan penambahan jumlah panel reaktor.

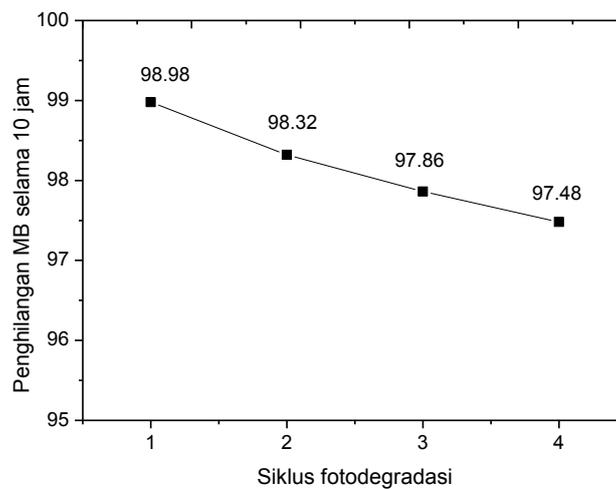
Gambar 6 menunjukkan perbandingan kinerja dari kedua FP fotoreaktor, dengan 1-panel dan 4-panel reaktor. Seperti yang ditunjukkan pada gambar, fotoreaktor 4-panel dapat mendegradasi MB ($C_0=25$ ppm dan $V=30$ L) hingga 98,98% dalam waktu 10 jam iradiasi. Sementara itu, dalam interval waktu yang sama, fotoreaktor 1-panel hanya mampu mendegradasi MB sebanyak 31,84%. Di sisi lain, jika kita menggunakan acuan jumlah MB yang terdegradasi, untuk mendegradasi sekitar 98% MB, fotoreaktor 1-panel memerlukan waktu lebih lama (48 jam) dibandingkan fotoreaktor 4-panel (10 jam). Sebuah peningkatan yang sangat signifikan dalam kinerja FP fotoreaktor *scale-up*, yang juga memberikan harapan besar untuk menggunakan fotoreaktor ini pada pengolahan air limbah skala besar.



Gambar 6. Perbandingan kinerja antara FP fotoreaktor 1-panel dengan FP fotoreaktor 4-panel. Kondisi eksperimen: $C_0 = 25 \text{ mg L}^{-1}$, volume total $V = 30 \text{ L}$.

c. Performa reusabilitas

Untuk mengevaluasi reusabilitas fotoreaktor, fotodegradasi untuk larutan MB ($C_0 = 25 \text{ mg L}^{-1}$ dan $V = 30 \text{ L}$) telah diulang sampai 4 siklus. Setiap siklus membutuhkan waktu 10 jam iradiasi. Gambar 7 menunjukkan kemampuan fotodegradasi dari IFP fotoreaktor untuk setiap siklus. Terlihat bahwa selama 10 jam iradiasi, hampir seluruh MB pada setiap siklus telah terdegradasi.



Gambar 7. Performa reusabilitas dari fotoreaktor yang dikembangkan untuk penggunaan berulang.

DAFTAR PUSTAKA

- Chen, D. (2008): Design, Synthesis and Properties of Highly Functional Nanostructured Photocatalysts, *Recent Patents on Nanotechnology*, 2, 183-189.
- Dhermendra, K., Tiwari, J., Behari dan Prasenjit Sen. (2008): Application of Nanoparticles in Waste Water Treatment. *World Applied Sciences Journal*, 3 (3), 417-433.
- Mahne, D., Stangar, U. L., Trebse, P., Bulc, T. G. (2012): TiO₂-Based Photocatalytic Treatment of Raw and Constructed-Wetland Pretreated Textile Wastewater, *International Journal of Photoenergy*, Vol. 2012.
- Qamar, M. Muneer, M. (2009): A Comparative Photocatalytic Activity of Titanium Dioxide and Zinc Oxide by Investigating the Degradation of Vanilin, *Desalination*, 249, 535-540.
- Siddique, M., Farooq, R., Shaheen, A. (2011): Removal of Reactive Blue 19 from Wastewaters by Physicochemical and Biological Processes-A Review, *J.Chem.Soc.Pak.*, Vol. 33, No. 2.
- Tayade, R. J., Kulkarni, R. G., dan Jasra, R. V. (2007): Enhanced Photocatalytic Activity of TiO₂ -Coated NaY and HY Zeolites for the Degradation of Methylene Blue in Water, *Ind. Eng. Chem. Res.*, 46, 369-376.
- Xikong, L., Kongreong, B., Kantachote, D., dan Sutthisripok, W. (2010): Photocatalytic Activity and Antibacterial Behavior of Fe³⁺ -Doped TiO₂ /SnO₂ Nanoparticles, *Energy research Journal*, 1, 120-125.
- Xu, N., Shi, Z., Fan, Y., Dong, J., Shi, J., dan Hu, M.Z.C. (1999): Effect of Particle Size of TiO₂ on Photocatalytic Degradation of Methylene Blue in Aqueous Suspensions, *Ind. Eng. Chem. Res.*, 38, 373-379.
- Yu, J., Wang, W., Cheng, B., dan Zhang, X. (2009): Preparation and Photocatalytic Activity of Multi-Modally macro/Mesoporous Titania, *Res. Chem. Intermed.*, 35, 653-665.
- Zahraa, O., Maire, S., Evenou, F., Hachem, C., Pons, M. N., Alinsafi, A., Bouchy, N. (2006): Treatment of Wastewater Dyeing Agent by Photocatalytic Process in Solar Reaktor, *International Journal of Photoenergy*, Vol. 2006, 1-9.