

**PENGGUNAAN KATALIS KOMPOSIT TERIMMOBILISASI
BERBASIS NANOFIBER TiO₂ DALAM PENGOLAHAN
FOTOKATALITIK LIMBAH CAIR BERWARNA TEKSTIL**

***APPLICATION OF TiO₂ NANOFIBERS BASED IMMOBILIZED
COMPOSITE CATALYST IN PHOTOCATALYTIC TREATMENT
OF TEXTILE DYEING WASTEWATER***

Doni Sugiyana*, Suprihanto Notodarmojo**

*Balai Besar Tekstil

Jl. A. Yani No. 390 Bandung Telp. 022.7206214-5 Fax. 022.7271288

E-mail: texirdti@bdg.centrin.net.id

**Program Studi Teknik Lingkungan, Institut Teknologi Bandung

Jalan Ganesa 10, Bandung 40132, Indonesia

E-mail: ftsl@bdg.itb.ac.id

Tanggal diterima : 25 Oktober 2012, direvisi : 13 Nopember 2012, disetujui terbit : 30 Nopember 2012

ABSTRAK

Dalam penelitian ini telah dilakukan evaluasi penggunaan material katalis komposit terimmobilisasi berbasis nanofiber TiO₂ untuk pengolahan fotokatalitik limbah cair berwarna tekstil. Sintesis nanofiber TiO₂ dilakukan dengan menggunakan metoda *electrospinning*, diimmobilisasikan pada media pelat gelas kemudian dikalsinasi pada temperatur 500°C. Komposit nanofiber – nanopartikel dibuat dengan melekatkan nanopartikel TiO₂ pada permukaan katalis nanofiber. Perlekatan lapisan katalis komposit pada pelat gelas ditemukan lebih kuat terhadap pengaruh aliran fluida air dan sonikasi dibandingkan dengan lapisan katalis nanofiber dan nanopartikel. Katalis komposit TiO₂ memberikan aktivitas dekolorisasi lebih tinggi dibanding katalis nanofiber TiO₂ dalam pengolahan air limbah simulasi dan efluen IPAL tekstil. Katalis terimmobilisasi berbasis nanofiber dapat digunakan secara berulang meski terjadi sedikit penurunan efisiensi pengolahan.

Kata kunci: TiO₂, nanofiber, komposit, fotokatalitik, limbah cair, tekstil

ABSTRACT

In this research, application of TiO₂ nanofibers based immobilized composite catalyst material in photocatalytic treatment of textile dyeing wastewater has been evaluated. Synthesis of TiO₂ nanofibers was developed by using electrospinning method, immobilized on glass plates media and annealed at temperature 500°C. Nanofibers – nanoparticles composite catalyst was made by attaching TiO₂ nanoparticles on the nanofibers surface. Catalyst attachment on glass plate against water fluid flow and sonication effect was found tougher in composite catalyst layer than that of nanofibers and nanoparticles catalyst layer. TiO₂ composite catalyst gives higher photocatalytic decolorization activity than that of nanofibers catalyst in treatment of both simulated wastewater and real textile WWTP effluent. The nanofibers based immobilized catalyst was applicable for multiple reuse eventhough with slight degradation of treatment efficiency.

Keywords: TiO₂, nanofibers, composite, photocatalytic, textile dyeing wastewater

PENDAHULUAN

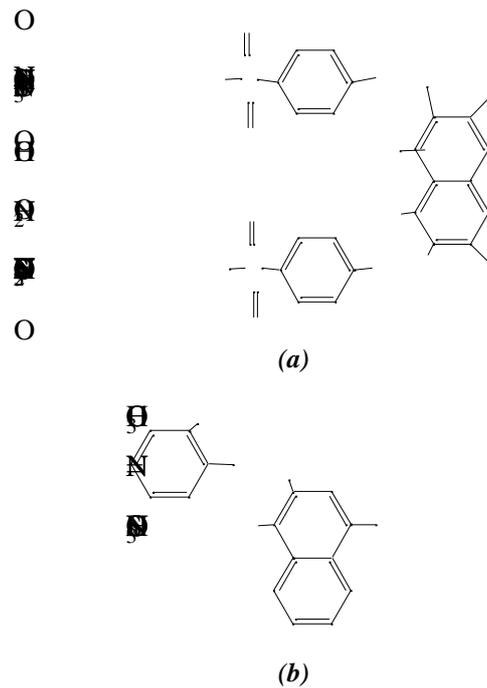
Keberadaan warna pada air limbah tekstil khususnya efluen IPAL (Instalasi Pengolahan Air Limbah) yang memasuki badan air telah menjadi permasalahan lingkungan selama ini. Hal ini diakibatkan tidak seluruh zat warna yang digunakan dalam proses tekstil dapat terfiksasi pada bahan, diasumsikan sekitar 20% akan terbawa dalam air limbah proses pencelupan – penyempurnaan.¹ Warna pada air limbah tidak dapat diterima secara estetika dan juga relatif sulit terbiodegradasi. Proses dekolorisasi melalui metoda koagulasi, adsorpsi dan filtrasi secara efektif terbukti mampu menyisahkan substansi warna pada air limbah.^{1,2,3} Namun demikian, metoda – metoda di atas hanya memisahkan pencemar tanpa mendestruksi senyawa zat warna, sehingga menyisakan masalah timbulan lumpur.

Degradasi fotokatalitik adalah proses oksidasi warna dalam air limbah melalui reaksi fotokatalitik oleh katalis TiO_2 yang diaktivasi oleh irradiasi UV. Spesies – spesies oksidatif yang dihasilkan mampu mendestruksi molekul zat warna dengan sangat efektif, sehingga sangat sesuai dalam aplikasi pengolahan air limbah tekstil. Metoda pengolahan fotokatalitik memiliki sejumlah kelebihan antara lain: reaksi cepat, bebas produksi lumpur, dapat digunakan ulang dan biaya relatif ekonomis.⁴ Untuk mempermudah aplikasinya, katalis TiO_2 diimmobilisasikan pada media – media seperti gelas, polimer, karbon aktif, zeolit dan sebagainya.^{5,6,7,8} Penurunan performa akibat pengaruh immobilisasi umumnya diantisipasi dengan penambahan luas kontak melalui aplikasi katalis berukuran nano seperti nanofiber dan nanopartikel. Selain menambah luas kontak, komposit berbasis nanofiber dianggap dapat meningkatkan kekuatan struktur katalis dibandingkan partikel sehingga dapat mempertahankan perlekatan katalis pada media.^{9,10} Tulisan ini memuat hasil penelitian penggunaan fotokatalis komposit berbasis nanofiber TiO_2 terimmobilisasi dalam degradasi fotokatalitik limbah cair tekstil berwarna.

METODOLOGI

Bahan yang digunakan

Bahan yang digunakan dalam pembuatan nanofiber dan nanopartikel: titanium tetraisopropoksida, seng asetat, polivinilasetat, asam asetat, etanol dan asam nitrat (Merck, Jerman), *silicone rubber sealant* (Klebermann, Jerman), serta zat warna Reactive Black 5/RB5 dan Acid Red 4 /AR4 (Sigma Aldrich, Jerman). Seluruh eksperimen dilakukan dengan menggunakan air demineralisasi (PT. Brataco Bandung).



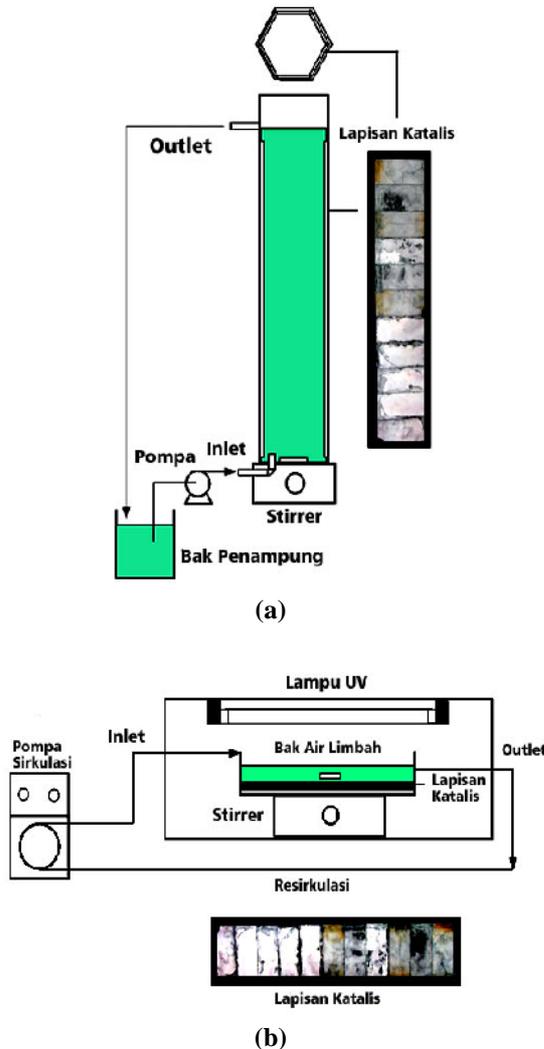
Gambar 1. Struktur molekul zat warna: (a) Reactive Black 5; (b) Acid Red 4

Preparasi pembuatan katalis komposit nanofiber TiO_2

Sintesis katalis nanofiber TiO_2 dan komposit (nanofiber TiO_2 – nanopartikel TiO_2) dilakukan dalam studi penulis sebelumnya.¹¹ Nanofiber TiO_2 dibuat dengan menggunakan *electrospinning* (Eltekindo, Indonesia), selanjutnya dilekatkan di atas permukaan pelat gelas berukuran 25 mm x 65 mm x 2,5 mm sebagai media immobilisasi. Optimasi pembentukan nanofiber dilakukan dengan kondisi operasional *electrospinning* sebagai berikut: tegangan listrik 20 kV, laju alir 4 mL/jam, ukuran nozzle 16 dan jarak ujung nozzle – kolektor 15 cm. Larutan *electrospinning* dibuat dengan komposisi: prekursor titanium tetraisopropoxide (20%), polyvinylacetate (20%), asam asetat (10%) dan etanol (50%). Nanofiber TiO_2 yang telah diimmobilisasi pada pelat gelas dilapisi dengan *silicone rubber* dan dikalsinasi pada temperatur 500°C selama 60 menit. Komposit nanofiber – nanopartikel TiO_2 dibuat dengan mencelup (*dip coating*) pelat gelas yang telah dilekati nanofiber ke dalam larutan nanopartikel TiO_2 yang dibuat dengan metoda sol gel. Larutan sol-gel TiO_2 3,5% dibuat dengan komposisi: 58,6 g titanium tetraisopropoksida, 200 mL etanol dan 100 mL asam nitrat 50%, dan diaduk cepat selama 18 jam. Komposit TiO_2 pada media pelat gelas dipanaskan pada temperatur 80°C selama 1 jam dan dilanjutkan dengan kalsinasi pada temperatur 500°C selama 60 menit.

Percobaan uji ketahanan katalis dan aktivitas dekolorisasi fotokatalitik

Percobaan uji ketahanan perlekatan katalis dilakukan pada reaktor vertikal (Gambar 2a) bervolume 4000 cm³ dengan menggunakan air demineralisasi. Pelat gelas yang berlapis katalis tersusun secara vertikal di bagian samping reaktor. Reaktor dilengkapi dengan sirkulasi oleh pompa peristaltik yang dapat memvariasikan laju alir fluida selama percobaan. Dalam percobaan sonikasi digunakan sonikator (Lab Companion) bervolume 4000 cm³ dengan frekuensi sonikasi 40 kHz.



Gambar 2. Diagram skematik reaktor: (a) reaktor vertikal; (b) reaktor horisontal

Eksperimen dekolorisasi fotokatalitik dilakukan pada sebuah fotoreaktor batch horisontal skala laboratorium bervolume 1000 cm³, menggunakan lampu UV-C 3 x 15 watt (Vilber and Lourmat) dengan panjang gelombang 245 nm (Gambar 2b). Pelat gelas yang berlapis katalis tersusun secara horisontal di bagian dasar bak air limbah (400mm x 100mm x 25mm). Pengadukan oleh *magnetic stirrer* dan sirkulasi oleh pompa peristaltik digunakan untuk homogenisasi air limbah selama percobaan. Air limbah simulasi dibuat dengan

memanaskan larutan zat warna pada temperatur 90°C dalam pengadukan selama 30 menit (fiksasi), kemudian dibiarkan selama 12 jam pada temperatur ruang (hidrolisis). Efluen IPAL tekstil diambil dari 2 pabrik tekstil proses pencelupan – penyempurnaan katun di Bandung, Jawa Barat yang mengoperasikan IPAL dengan metoda pengolahan kimia (koagulasi-flokulasi) dan biologi (lumpur aktif). Pada setiap eksperimen degradasi fotokatalitik, air limbah dan pelat gelas berlapis katalis terlebih dahulu dibiarkan dalam ruang gelap selama 1 jam untuk memperoleh kesetimbangan adsorpsi – desorpsi.

Kinetika reaksi

Persamaan pseudo orde pertama Langmuir – Hinshelwood (Pers. 1) digunakan untuk menghitung laju degradasi warna (k').⁶

$$\ln\left(\frac{C_0}{C}\right) = kKt = k't \quad (1)$$

Dengan, C_0 adalah konsentrasi warna awal (mg L⁻¹), C adalah konsentrasi warna pada waktu t (mg L⁻¹), t adalah waktu irradiasi, k' adalah konstanta laju degradasi (menit⁻¹), k adalah konstanta laju reaksi (menit⁻¹) dan K adalah koefisien adsorpsi (L mg⁻¹).

Karakterisasi dan analisis

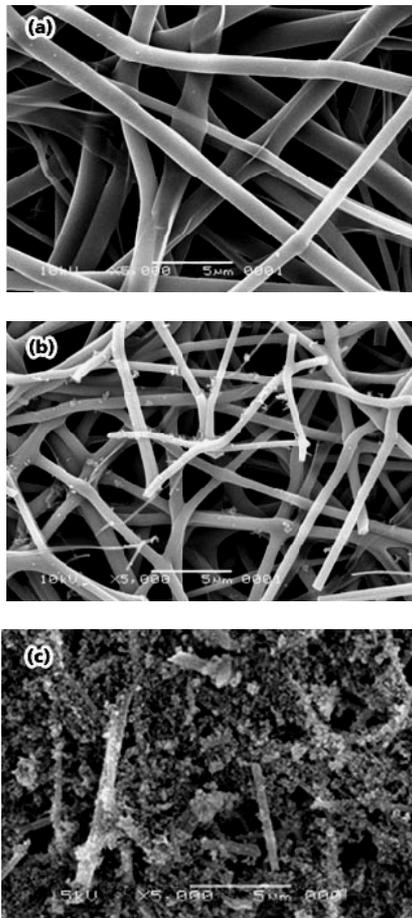
Karakterisasi struktur dan morfologi nanofiber dilakukan melalui pengambilan citra dengan menggunakan SEM/*Scanning Electron Microscope* (JEOL, JSM 6360 LA). Komposisi dan distribusi nanofiber ditentukan dengan menggunakan EDXS/*Energy Dispersive X-ray Spectroscopy* (JEOL, JSM 6360 LA). Pengukuran absorbansi untuk analisis konsentrasi zat warna dilakukan dengan menggunakan spektrofotometer UV-Vis (Perkin Elmer Lambda 35). Pengukuran pH dilakukan dengan menggunakan pH meter (Schoot Gerate Handylab 1).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Karakteristik fotokatalis

Citra SEM terhadap fiber TiO₂ sebelum kalsinasi (Gambar 3a) menunjukkan diameter fiber yang bervariasi. Diameter fiber TiO₂ menunjukkan rentang diameter antara 0,5 – 1,0 μm. Citra SEM nanofiber TiO₂ setelah proses kalsinasi (Gb. 3b) menunjukkan rentang diameter fiber secara umum menyusut hingga antara 200 nm hingga 500 nm. Hal ini terjadi karena seluruh fraksi organik yang membentuk matriks fiber menguap selama proses kalsinasi dan hanya menyisakan kristal nanofiber TiO₂. Komposisi senyawa oksida utama pembentuk nanofiber TiO₂ setelah kalsinasi adalah TiO₂ (76,1%) dan SiO₂ (14,9%) yang ditentukan dengan analisis EDXS (data tidak ditampilkan). Kandungan katalis per satuan luas media immobilisasi pada nanofiber

TiO₂ berdasarkan perhitungan stoikiometrik dapat ditentukan sebesar 2,06 mg TiO₂/cm².



Gambar 3. Citra SEM (pembesaran 5000x): (a) nanofiber TiO₂ sebelum kalsinasi; (b) nanofiber TiO₂ setelah kalsinasi; (c) komposit nanofiber TiO₂ setelah kalsinasi

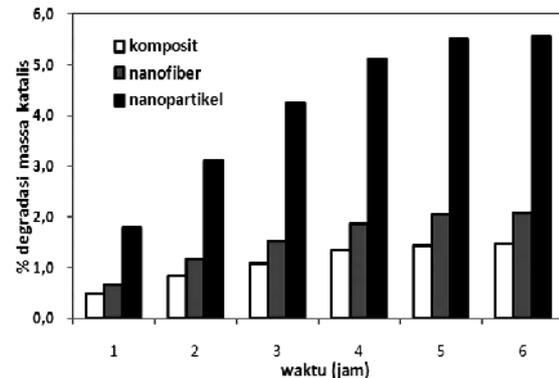
Citra SEM katalis komposit nanofiber – nanopartikel ditunjukkan pada Gambar 3c. Pada katalis komposit tampak permukaan nanofiber dilekati oleh lapisan nanopartikel TiO₂ yang cukup rapat disebabkan pengulangan coating nanopartikel sebanyak 5 kali. Berdasarkan perhitungan gravimetri, massa TiO₂ yang melekat di atas media dalam setiap pengulangan coating nanopartikel sebesar 0,43 mg TiO₂/cm². Konsentrasi katalis per satuan luas media immobilisasi pada katalis komposit merupakan akumulasi massa TiO₂ terhadap massa TiO₂ pada katalis nanofiber, sehingga katalis komposit TiO₂ mengandung 4,26 mg TiO₂/cm².

Ketahanan katalis terhadap aliran fluida

Dalam penggunaan di lapangan, fotokatalis terimmobilisasi dapat terpengaruh oleh gaya geser air (*shearing stress*) yang berpotensi mengganggu perlekatan katalis terimmobilisasi dan mengurangi efisiensi pengolahan. Dalam studi ini pengaruh gaya

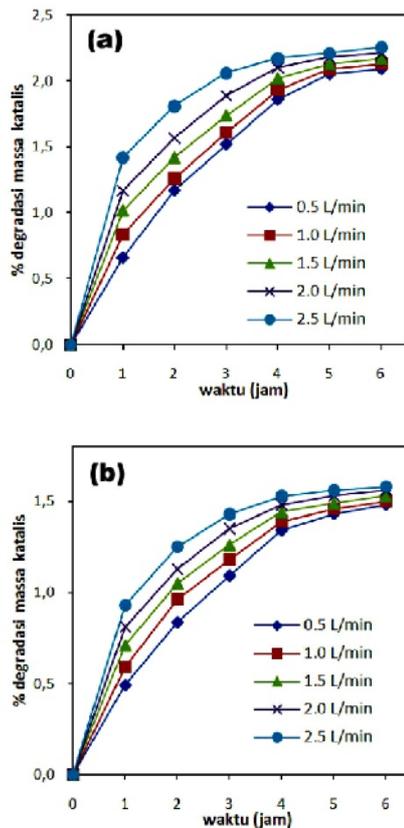
geser air terhadap perlekatan katalis pada media pelat gelas dipelajari melalui kontak lapisan katalis dengan aliran fluida air dalam reaktor vertikal pada berbagai variasi laju alir dan ketahanannya terhadap sonikasi. Hasil evaluasi perlekatan tiga jenis fotokatalis terimmobilisasi terhadap fluida air mengalir dengan laju alir 0,5 L/menit dalam waktu kontak selama 6 jam diperlihatkan pada Gambar 4.

Hasil percobaan menunjukkan bahwa lapisan nanopartikel lebih banyak mengalami degradasi massa katalis (5,6%) dibandingkan dengan lapisan nanofiber (2,1%) dan komposit (1,5%). Hal ini dimungkinkan oleh adanya dua faktor, pertama struktur lapisan yang terbentuk dari fiber memungkinkan kekuatan secara keseluruhan lebih baik tidak seperti halnya lapisan yang tersusun dari partikel. Kedua, perlekatan nanofiber dengan pelat gelas lebih baik disebabkan penambahan *silicon rubber* pada proses sintesisnya menyebabkan ikatan antara kristal TiO₂ dan SiO₂ menjadi lebih kuat. Susunan fiber yang membentuk lapisan katalis selanjutnya menyediakan makropori yang dapat menyediakan ruang bagi nanopartikel untuk melekat dan mengisi pori tersebut. Terbentuknya mikropori disamping makropori pada katalis komposit nanofiber – nanopartikel menyebabkan perlekatan katalis nanopartikel pada lapisan komposit menjadi semakin kuat terhadap pengaruh gaya geser air dibandingkan perlekatan langsung pada media pelat gelas.⁸



Gambar 4. Degradasi massa tiga jenis katalis oleh pengaruh aliran fluida (fluida: air suling, laju alir: 0,5 L/menit)

Gambar 5a dan 5b memperlihatkan perubahan persentase degradasi massa katalis (nanofiber dan komposit) pada berbagai laju alir air sebagai fungsi waktu. Secara keseluruhan terlihat bahwa degradasi massa katalis lebih dominan terjadi pada waktu kontak awal selama 3 jam. Tampak juga bahwa peningkatan laju alir air hanya berpengaruh signifikan terhadap degradasi massa katalis pada waktu kontak awal (3 jam pertama), sedangkan setelah waktu kontak 5 jam tidak terjadi degradasi massa katalis yang berarti. Hal ini mengisyaratkan bahwa metoda immobilisasi katalis pada pelat gelas cukup dapat diandalkan pada penggunaan jangka panjang.



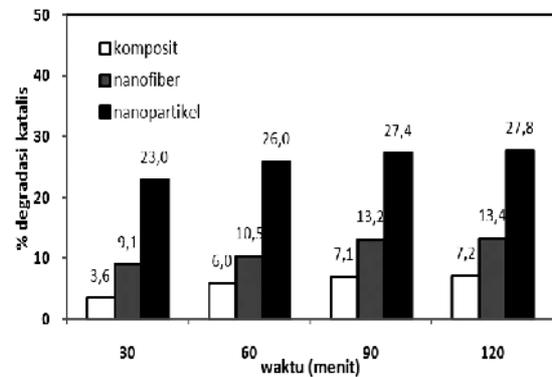
Gambar 5. Degradasi massa katalis pada berbagai variasi laju alir fluida: (a) katalis nanofiber; (b) katalis komposit

Hasil pengamatan terhadap pengaruh sonikasi terhadap degradasi massa katalis (Gambar 6) sejalan dengan hasil percobaan terhadap pengaruh laju alir fluida. Sonikasi selama 30 menit mendegradasi massa katalis sebesar 23,0% pada lapisan nanopartikel dan hanya sebanyak 9,1% dan 3,6% pada lapisan nanofiber dan komposit. Sejalan dengan hasil percobaan ketahanan lapisan katalis terhadap laju alir fluida, pada kondisi lebih ekstrim lapisan nanofiber dan komposit dapat mempertahankan perlekatan katalis lebih baik dibanding lapisan nanopartikel. Demikian pula degradasi massa katalis dominan terjadi pada 60 menit awal percobaan sonikasi. Pengamatan pada 2 x 30 menit selanjutnya memperlihatkan bahwa persentase degradasi massa katalis tidak banyak mengalami peningkatan.

Aktivitas fotokatalitik pada air limbah simulasi

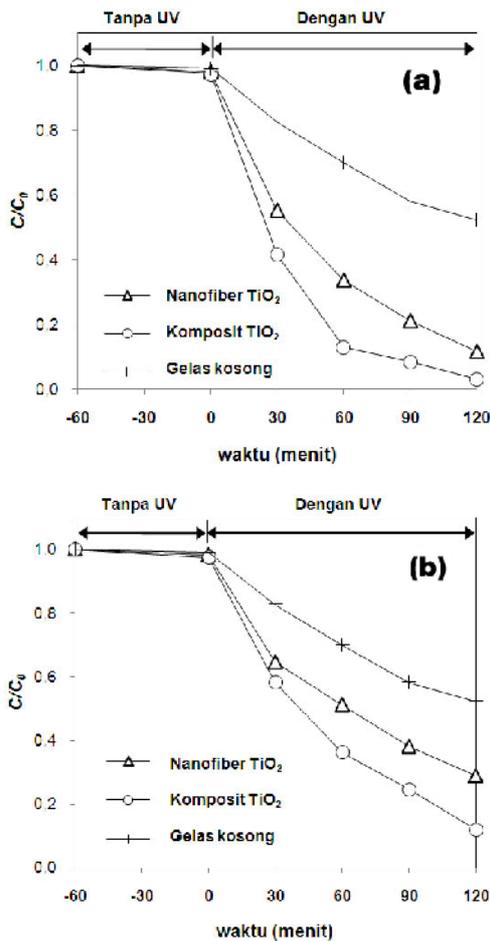
Aktivitas dekolorisasi fotokatalitik material katalis nanofiber dan komposit dievaluasi dengan percobaan menggunakan air limbah simulasi RB5 dan AR4. Grafik pada Gambar 7 memperlihatkan proses dekolorisasi dipengaruhi oleh adsorpsi (1 jam), fotolisis (2 jam) dan fotokatalisis (2 jam). Pengaruh adsorpsi pada proses dekolorisasi RB5 dan AR4 (tanpa irradiasi UV) dengan menggunakan katalis nanofiber maupun komposit relatif kecil (< 2,6%). Namun demikian adsorpsi pada komposit

menyebabkan dekolorisasi sedikit lebih tinggi (2,6%) dibanding pada nanofiber (1,8%). Proses fotolisis UV (tanpa katalis) pada RB5 dan AR4 memperlihatkan dekolorisasi dengan laju hampir sama ($k' = 0,005 \text{ menit}^{-1}$), hingga mencapai persen penyisihan warna sekitar 48 % dalam waktu irradiasi 2 jam. Pada percobaan limbah simulasi RB5, aplikasi katalis komposit memperlihatkan peningkatan laju fotokatalitik ($k' = 0,039 \text{ menit}^{-1}$) dibandingkan katalis nanofiber ($k' = 0,026 \text{ menit}^{-1}$). Pada limbah simulasi AR4, katalis komposit juga memperlihatkan aktivitas lebih baik ($k' = 0,018 \text{ menit}^{-1}$) dibandingkan katalis nanofiber ($k' = 0,011 \text{ menit}^{-1}$). Aplikasi katalis komposit dalam proses fotokatalitik selama 2 jam berhasil mencapai penyisihan akhir warna untuk RB5 dan AR4 masing – masing sebesar 96,9% dan 87,7%.



Gambar 6. Degradasi massa tiga jenis katalis oleh pengaruh sonikasi (fluida: air suling, frekuensi sonikator: 40 kHz, volume sonikator: 4 L)

Performa dekolorisasi dari katalis pada proses fotokatalitik berhubungan dengan luas permukaan efektif dan perbedaan pada struktur pori lapisan katalis pada permukaan gelas.^{8,12} Berdasarkan citra SEM tampak bahwa struktur pori pada lapisan nanofiber berstruktur mikropori, sedangkan lapisan nanopartikel berstruktur nanopori. Struktur mikropori memungkinkan adsorpsi molekul zat warna lebih cepat dibanding struktur nanopori yang memerlukan waktu untuk berdifusi lebih lama. Namun struktur nanopori mampu menyediakan luas permukaan lebih besar yang memungkinkan reaksi fotokatalitik berlangsung lebih efektif. Luas permukaan semikonduktor yang lebih besar menyebabkan proses fotoeksitasi elektron lebih aktif, yang ditandai dengan pembentukan pasangan lubang elektron (*electron hole pairs*) pada permukaan katalis. Reaksi lanjutan pasangan lubang elektron akan membentuk radikal – radikal hidroksil yang selanjutnya memegang peran utama dalam degradasi zat warna organik.¹³ Komposit nanofiber – nanopartikel TiO₂ memiliki kedua jenis struktur pori tersebut sehingga menghasilkan efek gabungan, yaitu proses fotokatalitik yang efektif disebabkan luas permukaan kontak yang lebih besar didukung oleh proses adsorpsi molekul organik yang cepat pada struktur lapisan katalis komposit.



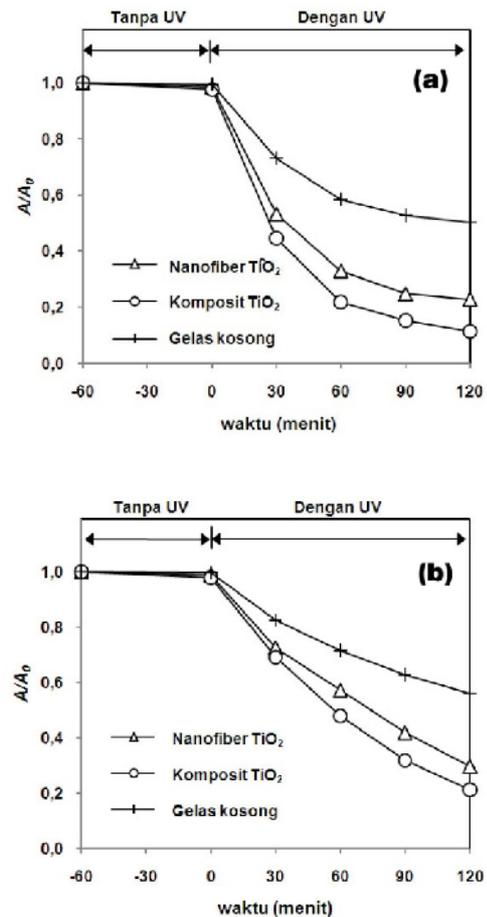
Gambar 7. Dekolorisasi warna oleh adsorpsi dan proses fotokatalitik oleh berbagai variasi fotokatalis terhadap air limbah simulasi: (a) RB5; (b) AR4 (kons. zw.: 10 mg/L, pH 11, kons. katalis: 2 g/L)

Aktivitas fotokatalitik pada efluen IPAL tekstil

Proses dekolorisasi fotokatalitik dengan menggunakan katalis nanofiber dan komposit juga dilakukan pada air limbah riil efluen IPAL tekstil (Gambar 8). Pengolahan fotokatalitik pada efluen IPAL tekstil selama 2 jam dengan menggunakan katalis komposit berbasis nanofiber memperlihatkan hasil lebih baik dibandingkan katalis nanofiber. Persentase dekolorisasi maksimum yang dicapai katalis komposit untuk efluen IPAL A dan IPAL B masing – masing adalah sebesar 89,3% dan 78,3%. Sedangkan persentase dekolorisasi maksimum yang dicapai katalis nanofiber untuk efluen IPAL A dan IPAL B masing – masing adalah sebesar 76,9% dan 70,9%. Namun demikian, efisiensi dekolorisasi fotokatalitik yang dicapai oleh katalis komposit terhadap efluen IPAL tekstil lebih rendah dibandingkan dengan efisiensi pengolahan dengan menggunakan limbah simulasi berwarna.

Penurunan aktivitas dekolorisasi fotokatalitik pada eksperimen dengan efluen IPAL dipengaruhi oleh karakteristik efluen IPAL yang lebih kompleks dibandingkan air limbah simulasi. Beberapa komponen lain yang berada pada efluen

IPAL seperti garam, soda alkali, surfaktan, minyak dan partikel merupakan bahan yang menambah kompleksitas efluen IPAL sehingga memperlambat proses degradasi fotokatalitik. Keberadaan anion garam juga diketahui dapat menimbulkan pengaruh inhibisi terhadap reaksi fotokatalitik karena menimbulkan kompetisi dalam reaksi terhadap radikal yang terdapat dalam larutan limbah.¹⁴

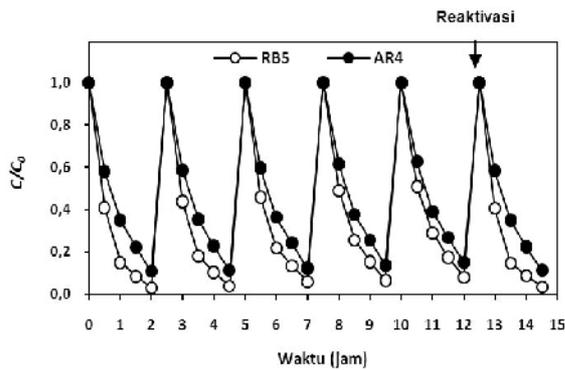


Gambar 8. Dekolorisasi warna oleh adsorpsi dan proses fotokatalitik oleh berbagai variasi fotokatalis terhadap efluen IPAL tekstil: (a) IPAL A; (b) IPAL B (kons. katalis: 2,0 g/L)

Penggunaan ulang katalis dalam pengolahan fotokatalitik

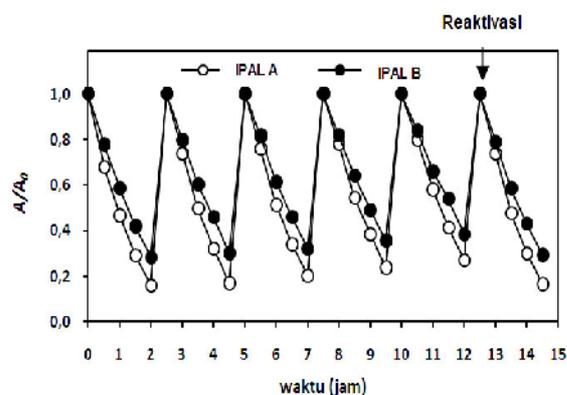
Penggunaan ulang katalis TiO_2 bertujuan untuk mengevaluasi potensi penggunaan katalis di lapangan. Evaluasi terhadap kemampuan katalis komposit dalam 5 kali pengulangan proses dekolorisasi fotokatalitik (durasi 2 jam) menggunakan air limbah simulasi diperlihatkan pada grafik dalam Gambar 9. Pada percobaan dengan limbah simulasi RB5, efisiensi dekolorisasi mengalami penurunan dengan perubahan k' dari 0,029 menit^{-1} menjadi 0,021 menit^{-1} pada penggunaan ulang katalis ke-5, atau penurunan efisiensi dekolorisasi rata-rata 1,2% pada setiap pengulangan proses. Pada limbah simulasi AR4 juga terjadi perubahan k' dari 0,018 menit^{-1} menjadi 0,015

menit⁻¹ pada penggunaan ulang katalis ke-5, atau penurunan efisiensi dekolonisasi rata-rata 1,0% pada setiap pengulangan proses. Pada penggunaan ulang katalis dalam pengolahan efluen IPAL tekstil (Gambar 10), tampak bahwa performa katalis menurun lebih tajam dibandingkan dengan penggunaan pada air limbah simulasi. Pada sampel efluen IPAL-A dan IPAL-B terjadi penurunan efisiensi dekolonisasi sebesar 2,7% dan 2,5% pada setiap pengulangan proses.



Gambar 9. Penggunaan ulang katalis terhadap air limbah simulasi (a) RB5; (b) AR4 (kons. zw.: 30 mg/L, kons. katalis: 2,0 g/L, pH 11)

Penurunan performa katalis dimungkinkan dengan adanya tertutupnya sebagian permukaan katalis yang disebabkan proses destruksi organik yang tidak sempurna. Tertutupnya sebagian permukaan katalis menyebabkan produksi spesies aktif dari reaksi fotokatalitik berkurang akibat terhambatnya laju foton sehingga performa degradasi menurun secara bertahap, terlebih pada katalis nanofiber. Proses re-kalsinasi dengan pemanasan 500°C selama 60 menit terhadap katalis tampak berhasil menghilangkan sisa organik pada matriks katalis sehingga mampu mereaktivasi katalis dan mengembalikan performa fotokatalitik hingga mendekati performa awal.



Gambar 10. Penggunaan ulang terhadap efluen IPAL tekstil: (a) IPAL A; (b) IPAL B (kons. katalis: 2,0 g/L).

KESIMPULAN

Lapisan komposit nanofiber TiO₂ – nanopartikel TiO₂ dengan kristal fiber berdiameter 200 – 500 nm, telah berhasil diimmobilisasi dengan baik pada pelat gelas dan efektif sebagai katalis dalam proses fotokatalitik. Perlekatan lapisan katalis komposit pada pelat gelas mampu bertahan terhadap pengaruh aliran fluida air dan sonikasi, dengan daya lekat lebih baik dibandingkan dengan lapisan katalis nanofiber dan nanopartikel. Katalis komposit TiO₂ memberikan aktivitas dekolonisasi lebih tinggi dibanding katalis nanofiber TiO₂ dalam pengolahan air limbah simulasi maupun efluen IPAL tekstil. Katalis terimmobilisasi berbasis nanofiber dapat digunakan secara berulang dalam pengolahan limbah berwarna tekstil. Reaktivasi dengan pemanasan ulang dapat mengembalikan penurunan efisiensi degradasi selama pengolahan hingga mendekati performa awal.

DAFTAR PUSTAKA

- Azbar, N., Yonar, T., & Kestioglu, K., (2004), Comparison of various advanced oxidation processes and chemical treatment methods for COD and color removal from a polyester and acetate fiber dyeing effluent, *Chemosphere* 55, pp. 35 – 43.
- Notodarmojo, S. & Deniva, A., (2004), Removal of organic substances and turbidity by using ultra/nanofilter membrane: Saguling Reservoir case study, *Proceedings ITB Sains & Technology*.
- Choi, H., Stathatos, E., & Dionysiou, D.D., (2007), Photocatalytic TiO₂ films and membranes for the development of efficient wastewater treatment and reuse systems, *Desalination* 202, pp. 199 – 206.
- Akpan, U.G., & Hameed, B.H., (2009), Parameters affecting the photocatalytic degradation of dyes using TiO₂ – based photocatalysts: A review, *Journal of Hazardous Materials*.
- Doh, S.J., Kim, C., Lee, S.G., Lee, S.J., & Kim H., (2008), Development of photocatalytic TiO₂ nanofibers by electrospinning and its application to degradation of dye pollutants, *Journal of Hazardous Materials* 154 pp. 118–127.
- Rozenberg, B.A. & Tenne, R., (2008), Polymer-assisted fabrication of nanoparticles and nanocomposites, *Prog. Polym. Sci.* 33 pp. 40–112.
- Foo, K.Y. & Hameed, B.H., (2010), Decontamination of textile wastewater via TiO₂/activated carbon composite materials, *Advances in Colloid and Interface Science* 159 pp. 130–143.
- Huang, M., Xu, C., Wu Z., Huang, Y., Lin, J., & Wu, J., (2008), Photocatalytic discolorization of methyl orange solution by Pt modified TiO₂ loaded on natural zeolite, *Dyes and Pigments* 77 pp. 327–334.
- Frenot, A. & Chronakis, I., (2003), Polymer nanofibers assembled by electrospinning, *Current Opinion in Colloid and Interface Science* 8 pp. 64–75.
- He, T., Zhou, Z., Xu, W., Cao, Y., Shi, Z., & Pan, W., (2010), Visible-light photocatalytic activity of semiconductor composites supported by electrospun fiber, *Composites Science and Technology* 70 pp. 1469–1475.

- ¹¹ Sugiyana, D., Handajani, M., & Notodarmojo, S., (2010), "Development of TiO₂ nanofibers for photocatalytic treatment of textile dye pollutants", *Proceeding in 5th AOTULE International Postgraduate Students Conference on Engineering*.
- ¹² Muruganandham, M. & Swaminathan M., (2006), Photocatalytic decolourisation and degradation of Reactive Orange 4 by TiO₂-UV process, *Dyes and Pigments* 68 pp. 133-142.
- ¹³ Khataee, A.R., Pons, M.N. & Zahraa, O., (2009), Photocatalytic degradation of three azo dyes using immobilized TiO₂ nanoparticles on glass plates activated by UV light irradiation: Influence of dye molecular structure, *Journal of Hazardous Materials* 168, pp. 451–457
- ¹⁴ Mahvi, A.H., Ghanbarian, M., Nasseri, S., & Khairi, A., (2009), Mineralization and discoloration of textile wastewater by TiO₂ nanoparticles, *Desalination* 239, pp. 309–316.
-