

SINTESIS TiO_2 /ZEOLIT SEBAGAI FOTOKATALIS PADA PENGOLAHAN LIMBAH CAIR INDUSTRI TAPIOKA SECARA ADSORPSI-FOTODEGRADASI

Is Fatimah¹⁾, Karna Wijaya²⁾

¹⁾ Lab. Kimia, Jurusan Ilmu Kimia FMIPA UII, Yogyakarta

²⁾ Lab. Kimia Fisika, Jurusan Kimia FMIPA Univ. Gadjah mada Yogyakarta

ABSTRACT

Research on synthesis of TiO_2 /Zeolite and Its application as photocatalyst in Tapioca Starch Wastewater Treatment has been investigated. Research conducted by synthesis of TiO_2 /zeolite by ion exchange process to exchangeable cations in natural zeolite by Ti^{4+} solution at varied concentration of 0,12 M, 0, 24 M and 0,48 M followed by oxidation and calcination process, followed characterization by analysis of Ti content, XRD measurement, specific surface area measurement and photoactivity toward methylene blue photodegradation. TiO_2 /zeolite photoactivity toward photodegradation of tapioca starch wastewater was tested by exposing photocatalyst-wastewater suspension with UV light in varied time and ratio of photocatalyst weight: volume of wastewater.

Result of research showed that TiO_2 /zeolite has a photoactivity to decrease COD and cyanide content of tapioca starch wastewater. The photoactivity related to specific surface area and photoactivity toward methylene blue photodegradation physical character and also photodegradation time. The highest photoactivity reached by TiO_2 /zeolite-1 which is resulted by Ti^{4+} concentration of 0,12 M in the ion exchange process to natural zeolite.

Keywords : zeolite, photocatalyst, wastewater quality

1. PENDAHULUAN

Peningkatan kebutuhan bahan pangan masyarakat serta kemajuan teknologi mendorong sejumlah industri bahan pangan salah satunya industri tapioka. Dalam mengembangkan teknologi pangannya dengan skala besar, industri tapioka terdiri dari beberapa unit, salahsatunya unit pengolahan limbah cair. Dampak negatif yang dimaksud antara lain intrusi senyawa sianida pada lingkungan sekitar kawasan industri yang bersifat toksik yang berasal dari ketela pohon sebagai bahan baku industri. Disamping memperhatikan faktor efisiensi dan optimalisasi proses pengolahan limbah industri, pertimbangan ekonomis juga perlu dipertimbangkan. Beberapa metode pengolahan limbah cair industri tapioka telah diusulkan, antara lain metode biologis dengan lumpur aktif dan metode kimia yang meliputi metode adsorpsi. Kedua metode tersebut masih dirasa kurang efektif.

Pada penelitian terdahulu, telah dilakukan penelitian pengolahan limbah cair industri tapioka dengan metode adsorpsi menggunakan zeolit alam teraktivasi. Metode diterapkan untuk menyempurnakan proses koagulasi-flokulasi pada tahap awal pengolahan limbah. Namun demikian, kelemahan metode adsorpsi adalah selektifitasnya yang rendah terutama untuk limbah cair yang

bersifat sangat kompleks seperti limbah cair industri tapioka, selain proses regenerasi yang cukup sulit[2]. Kelemahan metode tersebut dapat diperbaiki melalui gabungan metode adsorpsi-fotodegradasi. Metode adsorpsi-fotodegradasi didasarkan pada proses adsorpsi senyawa organik oleh permukaan padatan yang sekaligus mampu mendegradasi senyawa organik. Degradasi sempurna menghasilkan CO₂ dan H₂O yang aman bagi lingkungan sehingga mengurangi faktor regenerasi.

Oksida logam titanium (TiO₂) banyak dilaporkan sebagai material semikonduktor yang aktif sebagai fotokatalis. Aktivitas fotokatalis (fotoaktivitas) TiO₂ dapat ditingkatkan melalui pengembanan pada material pendukung. Salah satu yang dapat digunakan untuk kepentingan tersebut adalah zeolit alam. Beberapa keuntungan diharapkan dari pengembanan TiO₂ pada zeolit alam antara lain potensi zeolit alam yang melimpah di Indonesia serta stabilitas yang tinggi pada kondisi asam. Material TiO₂ teremban pada zeolit alam (selanjutnya disebut TiO₂/zeolit) memiliki fungsi ganda yaitu sebagai adsorben (dari sifat zeolit yang berpori dan memiliki kation yang dapat dipertukarkan) serta sebagai fotokatalis. Peranan fotokatalis akan terlihat dari peningkatan kualitas hasil olehan berdasar penurunan angka COD, angka total suspended solid (TSS) serta kadar ion sianida dari limbah hasil olahan. Untuk dapat selanjutnya diterapkan pada skala industri, perlu dilakukan pengujian efektivitas fotokatalis TiO₂/zeolit. Untuk kepentingan tersebut, perlu diamati beberapa faktor yang berpengaruh pada efektivitas adsorpsi-fotokatalis meliputi karakter fisika TiO₂/zeolit yang digunakan berkaitan dengan kadar Ti yang teremban, waktu kontak adsorpsi-fotodegradasi, serta rasio TiO₂/zeolit: volume limbah.

Berdasar latar belakang tersebut, penelitian ini bertujuan mempelajari karakter fisika TiO₂/zeolit berkaitan dengan kadar Ti yang teremban, serta mempelajari pengaruh waktu kontak adsorpsi-fotodegradasi, serta rasio TiO₂/zeolit: volume limbah terhadap peningkatan kualitas hasil olahan limbah cair industri tapioka.

2. TINJAUAN PUSTAKA

Fotodegradasi adalah proses peruraian suatu senyawa (biasanya senyawa organik) dengan bantuan energi foton. Proses fotodegradasi memerlukan suatu fotokatalis, yang umumnya merupakan bahan semikonduktor. Prinsip fotodegradasi adalah adanya loncatan elektron dari pita valensi ke pita konduksi pada logam semikonduktor jika dikenai suatu energi foton. Loncatan elektron ini menyebabkan timbulnya *hole*(lubang elektron) yang dapat berinteraksi dengan pelarut (air) membentuk radikal [•]OH. Radikal bersifat aktif dan dapat berlanjut untuk menguraikan senyawa organik target[5,7].

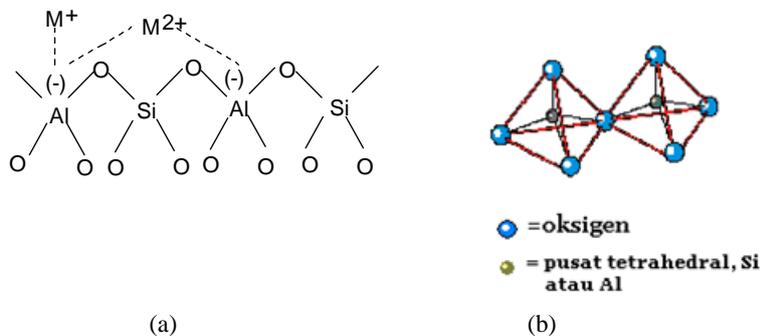
Diantara beberapa logam fotokatalis, oksida Ti dilaporkan memiliki aktivitas yang cukup besar dan efektif selain murah dan non toksik. Dalam reaksi fotokatalis dengan TiO₂ dalam bentuk kristal anatase TiO₂ dilaporkan sebagai komponen aktif sedangkan dalam bentuk rutile kurang menunjukkan aktifitasnya. TiO₂ dengan bentuk kristal anatase dan rutile jika dikenai suatu sinar UV dengan $\lambda < 385$ nm untuk anatase dan $\lambda = 405$ nm untuk rutile, akan menghasilkan spesies

oksidator pada permukaannya. TiO_2 merupakan spesies oksidator kuat yang ditunjukkan H^+ pada permukaannya. Oleh karenanya TiO_2 mampu mengoksidasi spesies kimia yang mempunyai potensi redoks yang lebih kecil. Pengurangan ukuran kristal berguna untuk menekan rekombinasi fotoeksitasi electron (e^-) dan lubang (H^+) [2,5,7].

Penelitian fotokatalisis oleh TiO_2 berkembang pesat sejak publikasi Fujisima & Honda mengenai fotoelektro katalisis pemecahan air pada elektroda lapisan tipis TiO_2 . Dari sisi aplikasi telah dirancang berbagai bentuk reaktor fotokatalisis untuk degradasi zat organik dalam fase cair maupun gas. Aktivitas TiO_2 murni dalam mendegradasi zat warna (metilen biru) dengan sinar matahari sebagai sumber foton [6]. Penurunan konsentrasi metilen biru mencapai 98% dalam waktu ekspos 1 jam. Kemampuan fotodegradasi oleh TiO_2 sehingga menghasilkan mineralisasi senyawa menjadi CO_2 , SO_4^{2-} , NH_4^+ dan NO_3^- [3]. Pada perkembangan selanjutnya fotoaktivitas TiO_2 meluas untuk digunakan sebagai antibakteri pada pasta gigi dan kosmetika serta desinfeksi bakteri [3,4,6].

Beberapa faktor akan mempengaruhi aktivitas fotokatalis TiO_2 , salah satu yang terpenting adalah bentuk kristalnya. Untuk kepentingan pengolahan limbah, dispersi TiO_2 pada pengemban berpori (mesoporous material) memberikan keuntungan lebih khususnya secara ekonomis. Aktivitas TiO_2 -montmorillonit dapat dimanfaatkan untuk fotodegradasi zat warna dan pada fotodegradasi senyawa organik dari limbah cair industri tekstil [1].

Struktur kimia zeolit yang terdiri dari silika alumina terhidrat yang mengandung kation dapat dipertukarkan, pada Gambar 1. Jika kation tersebut digantikan oleh Ti^{4+} , dilanjutkan dengan oksidasi dan kalsinasi, diharapkan dibentuk oksida Ti terdispersi pada permukaan padatan secara merata sesuai posisi ion tertukar.



Gambar 1 (a) Struktur Dasar Zeolit

(b) Struktur tiga dimensi zeolit

3. METODE PENELITIAN

Sintesis TiO_2 /zeolit dilakukan dengan metode pertukaran kation yang ada pada zeolit alam dengan larutan Ti^{4+} dari TiCl_4 dilanjutkan dengan netralisasi dan oksidasi. Oksidasi bertujuan mengubah Ti^{4+} menjadi TiO_2 yang akan terdistribusi

pada rongga zeolit. Pertukaran kation dilakukan dengan perbandingan volume larutan Ti^{4+} : berat zeolit alam (g) = 100 : 25, variasi konsentrasi Ti^{4+} dilakukan pada 0,12 M, 0,24M dan 0,48M. Karakter fisika TiO_2 /zeolit ditentukan melalui pengukuran X-ray Diffraction (XRD), pengukuran luas permukaan spesifik dan porositas padatan dengan metode serapan gas N_2 (alat: surface area analyzer) serta analisis kandungan Ti dengan metode Analisis Pengaktifan Neutron (APN). Fotoaktivitas TiO_2 /zeolit yang dihasilkan diuji dengan pengukuran prosentase aktivitas fotodegradasi metilen biru. TiO_2 /zeolit yang dihasilkan dari variasi konsentrasi Ti^{4+} 0,12M, 0,24 M dan 0,48M masing-masing diberi kode TiO_2 /zeolit-1, TiO_2 /zeolit-2, TiO_2 /zeolit-3.

TiO_2 /zeolit yang diperoleh kemudian dibuat suspensi dengan limbah cair industri tapioka yang telah terolah dengan proses koagulasi-flokulasi optimal menggunakan $Al_2(SO_4)_3 \cdot 8H_2O$ - poli aluminium klorida (PAC). Suspensi diekspos dengan sinar UV pada panjang gelombang 366 nm sebagai sumber foton dalam reaktor tertutup. Dilakukan variasi rasio berat: volume limbah dan waktu ekspos. Setiap selesai perlakuan ini dilakukan filtrasi dan selanjutnya diukur angka COD, kadar sianida serta padatan tersuspensi total (TSS). COD ditentukan secara spektrofotometri UV-Visible dengan metode refluks tertutup dan standard kalium hidrogen ftalat dan kalium bikromat, sianida ditentukan secara spektrofotometri UV-Visible dengan metode pembentukan kompleks piridin barbiturat dan TSS ditentukan secara gravimetri.

4. HASIL PENELITIAN

Sifat fisika TiO_2 /zeolit yang digunakan dikarakterisasi melalui pengukuran luas permukaan spesifik kadar Ti, dan kristalinitas. Data luas permukaan spesifik dan kadar Ti disajikan pada Tabel 1 dan hasil analisis XRD disajikan pada Gambar 2.

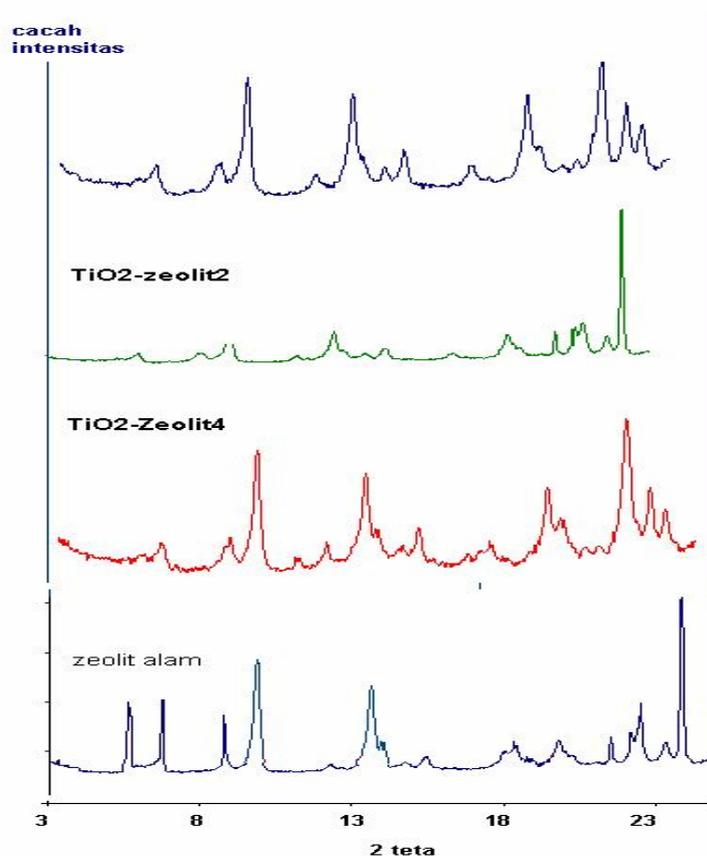
Tabel 1. Hasil analisis luas permukaan zeolit

Katalis	Luas Permukaan Spesifik (m^2/g)	Rerata Jejari Pori (\AA)	Kandungan Ti (%b/b)	Aktivitas Fotodegradasi metilen biru (%)
Zeolit alam	110,67	12,21	Ttd*	27,0
TiO_2 /Zeolit-1	109,43	12,03	2,692	91,4
TiO_2 /Zeolit-2	30,48	14,07	2,805	62,5
TiO_2 /Zeolit-4	27,13	14,93	2,562	98,6

**tidak terdeteksi*

Pengembangan TiO_2 pada zeolit menyebabkan penurunan luas permukaan spesifik padatan dimungkinkan terjadi karena agregasi oksida Ti pada permukaan padatan sehingga menutupi pori-pori zeolit alam. Agregasi yang terjadi menyebabkan pembentukan rongga oksida Ti sendiri ditunjukkan dengan peningkatan rerata jejari pori dari TiO_2 /zeolit. Berdasar variasi konsentrasi ion

logam Ti^{4+} yang diimbangkan, tidak terlihat keselarasan hubungan antara konsentrasi ion Ti^{4+} dengan kadar Ti teremban. Peningkatan konsentrasi Ti^{4+} tidak menyebabkan semakin tingginya kadar Ti teremban. Dari ketiga variasi, kandungan Ti teremban ternilai relatif sama. Hal ini dimungkinkan karena kapasitas pertukaran kation zeolit alam hanya memungkinkan terjadi pengembanan Ti pada kadar sekitar 2,5 hingga 2,8 % b/b. Namun demikian, dilihat dari karakter fisika secara keseluruhan TiO_2 /Zeolit-1 memiliki luas permukaan spesifik paling besar .



Gambar 2. Hasil Analisis XRD Zeolit Alam dan TiO_2 /zeolit

Dari difraktogram terlihat bahwa sampel mempunyai puncak pada $2\theta = 6,51^\circ$ ($d = 13,58 \text{ \AA}$) dan $2\theta = 25,63$ ($d = 3,976 \text{ \AA}$) yang merupakan daerah karakteristik mineral mordenit alam dengan intensitas yang cukup berarti. Pada $2\theta = 19,5^\circ$ menunjukkan intensitas yang paling besar merupakan mineral penyusun

utama mordenit. Hal ini menunjukkan bahwa zeolit alam yang diteliti sebagian besar tersusun atas mineral mordenit.

Puncak-puncak lain yang menunjukkan kandungan mordenit adalah $2\theta = 9,77^\circ$; $26,25^\circ$; $27,68^\circ$. Selain adanya puncak karakteristik dari mineral mordenit, beberapa puncak menunjukkan kandungan mineral lain yaitu adanya puncak spesifik klinoptilolit pada $2\theta = 9,88^\circ$ ($d = 8,96\text{\AA}$) $2\theta = 11,19^\circ$ ($d = 7,91\text{\AA}$) ; $2\theta = 22,36^\circ$ ($d = 3,98\text{\AA}$) dan $2\theta = 22,50^\circ$ ($d = 3,95\text{\AA}$). Berdasar puncak spesifik zeolit alam yang digunakan selanjutnya dilakukan identifikasi puncak pada $\text{TiO}_2/\text{zeolit}$ yang disintesis. Secara umum, karakter mordenit dan klinoptilolit masih terlihat pada $\text{TiO}_2/\text{zeolit}$ (data disajikan dalam Tabel 2).

Tabel 2. Harga 2θ , d , intensitas difraksi dan jenis mineral sampel zeolit

Sampel	2θ ($^\circ$)	d (\AA)	I	Jenis
$\text{TiO}_2/\text{zeolit-1}$	6,510	13,566	4404	mordenit
	9,784	9,032	17580	mordenit
	22,33	3,978	23592	klinoptilolit
$\text{TiO}_2/\text{zeolit-2}$	6,500	13,587	5097	mordenit
	9,807	9,011	13527	mordenit
	22,283	3,986	25901	klinoptilolit
$\text{TiO}_2/\text{zeolit-4}$	6,417	13,763	4997	mordenit
	9,698	9,113	14612	mordenit
	22,25	3,992	12405	klinoptilolit

Namun, turunnya puncak karakteristik mordenit pada keseluruhan $\text{TiO}_2/\text{zeolit}$ hasil sintesis menunjukkan adanya penurunan kristalinitas. Kristalinitas relatif dari variasi konsentrasi disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3. Tabel Kristalinitas Sampel

Sampel	2θ	I	Kristalinitas relatif * (%)
Zeolit alam	6,50	4021	100
$\text{TiO}_2/\text{zeolit-1}$	6,50	2478	61,63
$\text{TiO}_2/\text{zeolit-2}$	6,50	2486	61,83
$\text{TiO}_2/\text{zeolit-4}$	6,50	2578	64,11

*) Relatif terhadap zeolit alam

Pola difraksi sinar-X tidak hanya memberikan keterangan jenis mineral, akan tetapi juga tentang bentuk kristal TiO_2 yang terdapat didalam zeolit. Berdasarkan data XRD pada lampiran 2, 3 dan 4 disesuaikan dengan intensitas relatif standar terlihat bahwa bentuk TiO_2 yang terdapat dalam zeolit aktivasi adalah campuran antara bentuk anatase yang ditunjukkan adanya puncak pada $d = 3,517$; $3,538$ dan $3,531$ dan rutil pada $d = 3,252$; $3,2699$; $2,488$; dan $2,484$. Munculnya luas puncak mengidentifikasi bahwa TiO_2 terbanyak berada dalam

bentuk amorphous dengan jumlah kecil anatase dan rutile terdapat dalam campuran tersebut.

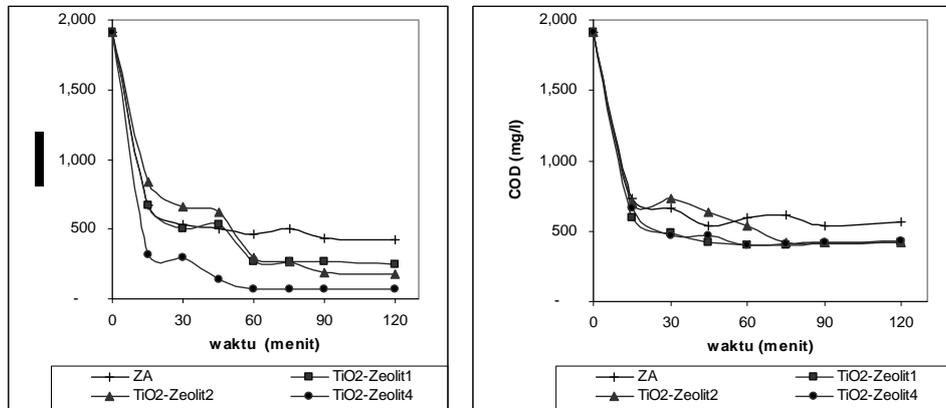
Pada tahap awal uji aktivitas fotokatalis, dipersiapkan limbah cair industri tapioka yang telah diolah dengan cara koagulasi flokulasi (Parameter hasil olehan optimal disajikan pada Tabel 4). Berdasar Tabel 4, terlihat bahwa parameter angka COD dan kadar sianida hasil olahan masih melebihi ambang batas baku mutu lingkungan yang diperbolehkan, sedangkan angka padatan tersuspensi total/ *total suspended solid* (TSS) telah terpenuhi atau sesuai dengan baku mutu lingkungan. Tingginya kadar COD dan kadar ion sianida menunjukkan bahwa proses koagulasi-flokulasi saja belum cukup digunakan pada pengolahan limbah cair.

Tabel 4. hasil pengukuran parameter kualitas air hasil olahan secara koagulasi-flokulasi

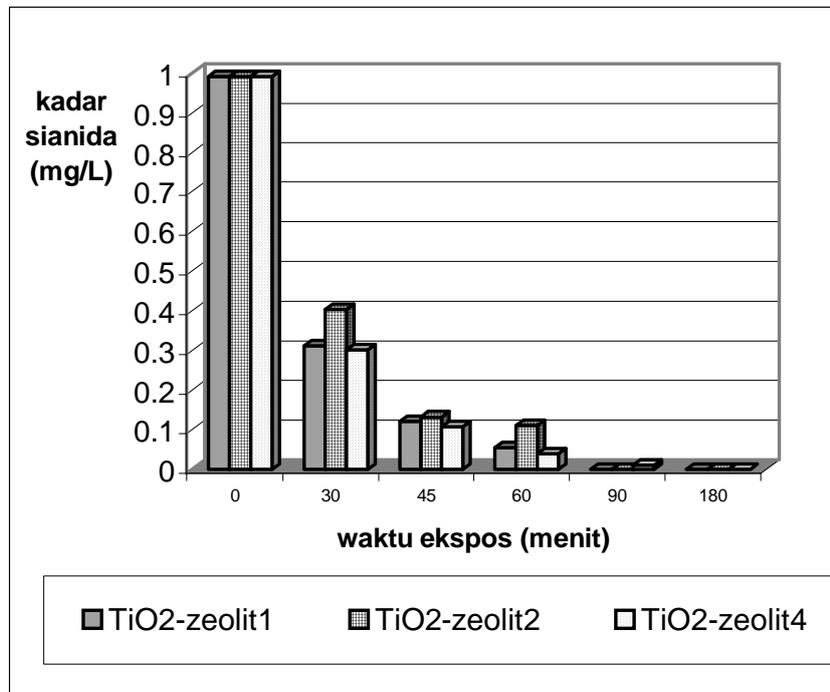
Parameter Kualitas Air	Kadar Terukur	Baku Mutu Lingkungan*
pH	6,0-8,8	6,0-9,0
Angka COD	1.913,33 ± 230,00 mg/L	400 mg/l
Total suspended Solid (TSS)	15 - 100 mg/L	200 mg/l
Kadar sianida (CN ⁻)	0, 913 mg/L	0,5 mg/L

Fotokatalis TiO₂/zeolit hasil sintesis digunakan sebagai fotokatalis pada fotodegradasi limbah cair industri tapioka hasil olahan proses koagulasi-flokulasi dengan cara membuat suspensi TiO₂/zeolit dengan hasil olehan limbah, diaduk dalam keadaan gelap selama 15 menit kemudian dilanjutkan dengan penyinaran UV pada panjang gelombang 366 nm. Sinar UV berperan sebagai sumber foton. Selama selang waktu tertentu, supernatan suspensi diambil untuk diuji angka COD dan kadar sianidanya. Kemampuan fotokatalis dalam menurunkan angka COD dan ion sianida dari limbah cair industri tekstil ini selanjutnya disebut sebagai fotoaktivitas. Untuk mempelajari adanya efek adsorpsi yang mungkin ditimbulkan dilakukan perbandingan perlakuan fotodegradasi dengan adsorpsi. Prosedur awal perlakuan adsorpsi sama dengan perlakuan fotodegradasi, tetapi selanjutnya suspensi tidak diekspos dengan sinar, melainkan dibiarkan dalam keadaan gelap. Perubahan angka COD pada variasi waktu ekspos untuk ketiga fotokatalis disajikan pada Gambar 3.

Analisis COD pada variasi waktu perlakuan menunjukkan bahwa TiO₂/zeolit berperan aktif sebagai fotokatalis ditunjukkan dengan perubahan angka COD yang bermakna dibandingkan dengan penurunan COD secara adsorpsi. Analisis terhadap kadar sianida oleh TiO₂/zeolit disajikan pada Gambar 4.



Gambar 3. Pola perubahan angka COD secara (a) adsorpsi (b) fotodegradasi



Gambar 4. Pola penurunan kadar ion sianida pada variasi waktu ekspos sinar UV

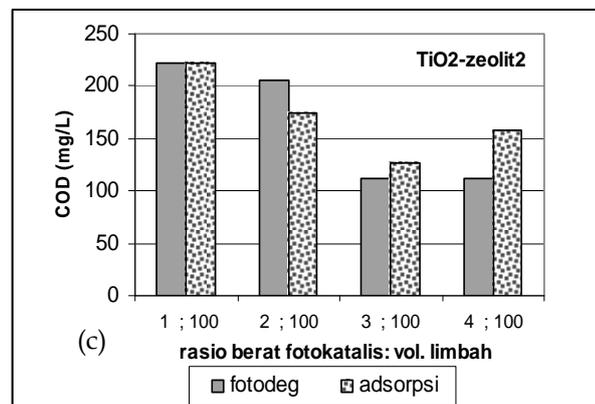
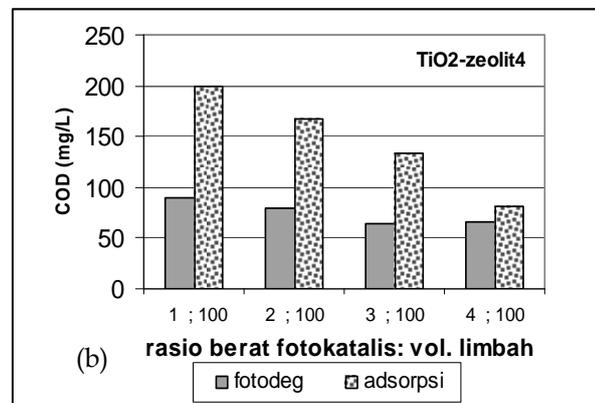
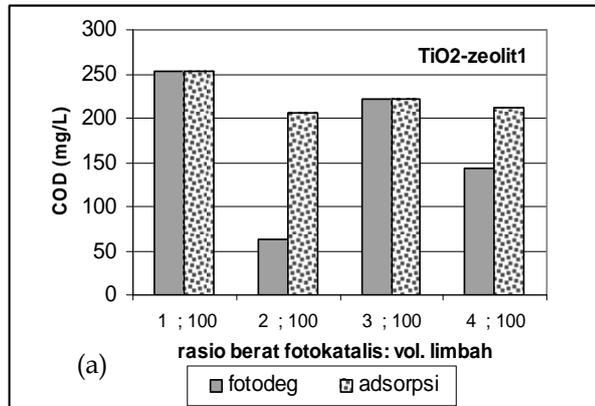
Menggunakan TiO_2 /zeolit hasil sintesis, sianida dalam hasil olahan mengalami penurunan seiring dengan waktu fotodegradasi. Secara keseluruhan, ketiga fotokatalis mampu menurunkan kadar sianida hingga tidak terdeteksi setelah waktu ekspos 90 menit. Fotoaktivitas katalis untuk penurunan sianida terbesar dicapai oleh penggunaan TiO_2 /zeolit-1.

Selanjutnya, untuk mengetahui pengaruh rasio berat fotokatalis : volume limbah terhadap peningkatan kualitas air, dilakukan variasi rasio berat fotokatalis dengan waktu ekspos selama 90 menit, karena pada kisaran waktu tersebut, pengendali kualitas air hasil olahan ada pada angka COD. Variasi dilakukan pada perbandingan berat (g) terhadap volume limbah (ml) 1 :100, 2:100, 3:100 dan 4:100. Data disajikan pada Gambar 5.

Secara umum, menggunakan ketiga fotokatalis penurunan angka COD secara fotodegradasi lebih baik dibandingkan menggunakan sistem adsorpsi. Penggunaan fotokatalis TiO_2 /zeolit-1 secara umum lebih baik dibandingkan dengan dua fotokatalis yang lainnya pada berbagai perbandingan berat fotokatalis: volume limbah. Kondisi terbaik menggunakan TiO_2 /zeolit-1 dicapai pada rasio 3:100 yaitu angka COD sebesar 66,67 mg/L, meskipun pada perbandingan yang lain, berat fotokatalis: volume limbah tidak berpengaruh secara signifikan terhadap angka COD yang dihasilkan. Namun demikian, fotokatalis yang lain terlihat nilai fluktuatif pada perbandingan yang divariasikan. Dari penggunaan fotokatalis TiO_2 /zeolit-2 terlihat pola semakin rendah angka COD yang dihasilkan seiring dengan peningkatan rasio berat fotokatalis:volume limbah. Sementara itu, menggunakan fotokatalis TiO_2 /zeolit-4, Kondisi minimal diperoleh pada perbandingan 2:100 dan angka COD dari proses fotodegradasi cenderung tidak berbeda secara signifikan dengan proses adsorpsi. Kedua data ini kemungkinan berkaitan dengan fotoaktivitas TiO_2 /zeolit yang berbeda.

Fotoaktivitas TiO_2 /zeolit-1 kemungkinan berkaitan dengan luas permukaan spesifik yang besar yang dimilikinya selain oleh fotoaktivitas TiO_2 tersembunyi. Hal ini berakibat perbedaan angka COD hasil fotodegradasi terlihat jelas dibandingkan dengan COD hasil adsorpsi. Sementara itu, menggunakan TiO_2 /zeolit yang lain penurunan COD oleh proses adsorpsi berpengaruh dominan mengakibatkan penurunan yang fluktuatif pada variasi rasio yang dilakukan. Asumsi ini diperkuat perbandingan data penurunan kadar sianida pada variasi fotokatalis yang disajikan pada Gambar 4.

Data karakter fisika meliputi luas permukaan spesifik, kristalinitas relatif serta fotoaktivitas terhadap metilen biru mendukung data fotoaktivitas TiO_2 /zeolit-1 pada uji aktivitasnya dalam menurunkan angka COD dan kadar sianida pada limbah cair industri tapioka ini. Secara keseluruhan, dari penelitian ini diperoleh kualitas hasil olahan limbah terbaik menggunakan proses fotodegradasi dengan fotokatalis TiO_2 /zeolit-1 dengan waktu ekspos 2 jam dan perbandingan berat: volume limbah = 3:100. Kondisi terbaik yang dicapai adalah pH antara 6,0 hingga 8,0, angka COD sebesar 66,67 mg/L, kadar sianida tidak terdeteksi dan angka TSS \pm 15 mg/L dan kondisi ini sesuai dengan baku mutu lingkungan.



Gambar 5. penurunan angka COD pada variasi perbandingan berat fotokatalis: volume limbah menggunakan (a) TiO₂/zeolit-1 (b) TiO₂-zeolit- 2 (c) TiO₂/zeolit-4.

5. SIMPULAN

Berdasar data tersebut, dapat disimpulkan bahwa karakter fisika luas permukaan spesifik, kristalinitas relatif serta fotoaktivitas terhadap metilen biru dari TiO₂/zeolit berpengaruh terhadap fotoaktivitas TiO₂/zeolit berkaitan dengan distribusi oksida logam Ti dalam menurunkan angka COD dan kadar sianida pada limbah cair industri tapioka. Sementara itu, kadar Ti tidak berperan secara nyata pada fotoaktivitas TiO₂/zeolit. Waktu ekspos fotodegradasi yang dibutuhkan untuk penurunan angka COD dan sianida optimal adalah 90 menit, sedangkan rasio berat fotokatalis:volume limbah optimal tergantung pada karakter TiO₂/zeolit yang digunakan.

PUSTAKA

- [1] Fatimah, I dan Huda, T., *Sintesis Dan Aplikasi Montmorillonit Termodifikasi TiO₂ Sebagai Fotokatalis Pada Pengolahan Limbah Cair Industri Tekstil*, Prosiding Seminar Nasional Kimia II, diselenggarakan oleh Jurusan Ilmu Kimia FMIPA UII, ISBN: ISBN No : 979-96595-1-5, hal 337-346.
- [2] Fatimah, I. dan Setiaji, B. (2001) *Zeolit Alam sebagai Adsorben Limbah Cair Industri Tapioka*, Prosiding The 1st Indonesian Seminar on Zeolite ISSN : 1411-6723, Hal 64-70
- [3] Houas, A., Lachheb, H., Ksibi, M., Elaloui, E., Guillard, C., Herrman, J. M. (2000) *Photocatalytic Degradation Pathway of Metylen Blue in Water*, J. Appl. Cat., 31, 145-157
- [4] Illisz, I., Dombi, A., Mogyorosi, K., Farkas, A., Dekany, I. (2002) *Removal of 2-chlorophenol from water by adsorption combines with TiO₂ photocatalysis*, Applied Catalysis B., 39, 247-256.
- [5] Malldotti, A., Andrenalli, L., Mollinari, A., Varani, G., Cerichelli, G., Chiarini, M. (2000) *Photocatalytic properties of Iron-Phorpyrin revisited in aqueous micellar environment*, Green Chemistry, 3, 42-46.
- [6] Nogueira, R. F. P., and Jordim, W. F. (1993) *Photodegradation of Methylene Blue using Solar Light and Semiconductor (TiO₂)*, J. Chem-Educ., 10, 70, 861-862.
- [7] Ranjit, K., Willner, I., Bossmann, S., Braun, A. (1998) *Iron (III) Phtalocyanine-Modified Titanium Dioxide: A Novel Photocatalyst for Enhanced Photodegradation of Organic Pollutans*, J. Phys.Chem. B., 102, 9397-9403
- [8] Ekimav, A.I., Effros, AIL., Anuchenko, A.A. (1985) *Quantum Size Effect in Semicondutor Microcrystals*, Solid State Communicaion, 5611, 921-1524
- [9] Sumerta, I.K. dan Wijaya, K. (2002) *Fotodegradasi Metilen Biru menggunakan katalis TiO₂-Montmorillonit dan Sinar UV.*, Skripsi, Jurusan Kimia FMIPA UGM, Jogjakarta