

PREPARASI Fe^{3+}/TiO_2 - MONTMORILLONIT SEBAGAI KATALIS PADA DEGRADASI ZAT WARNA AZO

Is Fatimah^{*)}, Tuty Alawiyah, dan Iwan Sumarlan

Program Studi Ilmu Kimia, Universitas Islam Indonesia
Kampus Terpadu UII, Jl. Kaliurang Km 14, Besi, Yogyakarta 55581

^{*)}Penulis korespondensi: isfatimah@fmipa.uui.ac.id

Abstract

PREPARATION OF Fe^{3+}/TiO_2 - MONTMORILLONITE AS CATALYST IN AZO DYE DEGRADATION. Preparation of Fe^{3+}/TiO_2 -Montmorillonite and its activity test on azo dyes degradation has been performed. The success of material preparation was examined by physicochemical characterization by using X-ray Diffraction, BET surface area analyzer and Diffuse Reflectance UV-Visible. The role of physicochemical character to catalytic activity was evaluated in the degradation reaction of two azo dyes: metil jingga and metilena biru by examination of its kinetics study in the Photo-Fenton like mechanism. Result of research showed the success of Fe^{3+}/TiO_2 -Montmorillonit preparation and its fulfillment of goals as a catalyst in dye degradation via photo-Fenton mechanism. Kinetics data simulation demonstrates that degradation reaction for both dyes obey the Langmuir-Hinshelwood kinetics model with the values of k and K for MO are 8.83×10^{-7} M/sec dan 328.29 and for MB are 4.56×10^{-5} M and 555.60 respectively. The values of rate constant and adsorption-desorption constant from both dyes describe the role of surface interaction in catalysis.

Keywords: azo dye; degradation; montmorillonite; pilarization

Abstrak

Dalam penelitian ini dilakukan preparasi material Fe^{3+}/TiO_2 -Montmorillonit dan uji aktivitasnya sebagai katalis pada degradasi senyawa azo. Keberhasilan preparasi material dipelajari melalui karakterisasi menggunakan X-ray Diffraction, BET surface area analyzer dan Diffuse Reflectance UV-Visible. Peranan katalitik material hasil preparasi pada degradasi senyawa azo: metil jingga(MO) dan metilena biru(MB) dipelajari melalui studi kinetika reaksi dengan mekanisme mirip foto-Fenton (Photo-Fenton like mechanism). Hasil penelitian menunjukkan keberhasilan preparasi material Fe^{3+}/TiO_2 -Montmorillonit serta tercapainya tujuan penggunaannya sebagai katalis untuk degradasi zat warna azo melalui mekanisme Photo-Fenton like. Simulasi terhadap data kinetika menunjukkan bahwa degradasi kedua zat warna azo dengan katalis hasil preparasi mengikuti model kinetika Langmuir-Hinshelwood dengan nilai k dan K untuk MO berturut-turut adalah sebesar $8,83 \times 10^{-7}$ M/detik dan 328,29 dan untuk MB sebesar $4,56 \times 10^{-5}$ M dan 555,60. Nilai konstanta laju reaksi dan konstanta adsorpsi-desorpsi reaksi degradasi kedua zat warna menjelaskan peranan mekanisme interaksi permukaan dalam proses katalisis.

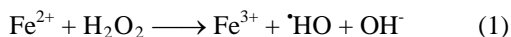
Kata kunci: zat warna azo; degradasi; montmorillonit; pilarisasi

PENDAHULUAN

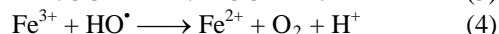
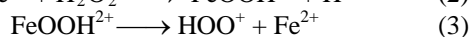
Kontaminasi air oleh molekul organik adalah persoalan serius di dalam pengolahan limbah industri. Di beberapa industri seperti industri tekstil dan pewarnaan, pengolahan air limbah zat organik sintetis merupakan salah satu hal penting dalam perancangan instalasi pengolahan limbah. Zat warna azo merupakan jenis zat warna yang dominan digunakan dan didegradasi. Dibandingkan dengan pengolahan limbah dengan proses fisik dan biologis, proses pengolahan limbah zat warna secara kimiawi relatif

lebih efektif. Dalam hal ini, metode oksidasi lanjut (*advance oxidation process*) menggunakan H_2O_2 sebagai oksidator banyak dikembangkan berkaitan dengan daya oksidasinya yang tinggi dan sifat yang ramah lingkungan. Meskipun demikian, peningkatan efektifitas dan efisiensi proses oksidasi lanjut berkembang saat ini, salah satunya dengan bantuan katalis dan energi foton sehingga konsumsi H_2O_2 dapat diminimalisasi (Rajeshwar dkk., 2008; Bauer dan Fallman, 1997). Proses oksidasi tersebut secara spesifik disebut sebagai teknik foto-Fenton. Prinsip

reaksi didasarkan pada oksidasi-reduksi ion Fe²⁺ dan Fe³⁺ dalam sistem membentuk peroksida dan superoksida yang selanjutnya berperan dalam tahap oksidasi molekul organik. Dalam reaksi Fenton, radikal hidroksil [•]OH dihasilkan oleh interaksi antara H₂O₂ dengan ion Fe²⁺ menurut persamaan (1).



Ion Fe³⁺ dapat bereaksi dengan H₂O₂ dalam reaksi Fenton-like sesuai persamaan (2-4) menghasilkan regenerasi Fe²⁺ dan mendukung reaksi Fenton (1).

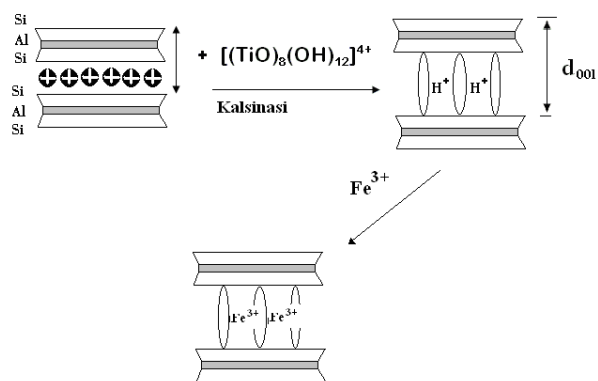


Jika sistem diradiasi dengan sinar UV, laju degradasi senyawa organik dapat dipercepat dan proses disebut sebagai Foto-Fenton. Jika ion Fe³⁺ digunakan bersama dengan radiasi sinar UV, mekanisme disebut mekanisme mirip Foto-Fenton (*Photo-Fenton Like-mechanism*).

Di sisi lain, kombinasi Fe³⁺/Fe²⁺ dengan fotokatalis TiO₂ pada degradasi molekul organik juga banyak dipelajari. Kedua teknik, Fenton dan fotodegradasi mempercepat reaksi secara signifikan. Hal penting lain yang perlu dipertimbangkan adalah stabilitas dan sifat dapat digunakan kembali katalis (Perez dkk., 2002a; Perez dkk., 2002b). Untuk tujuan ini, imobilisasi ion Fe²⁺ atau Fe³⁺ serta TiO₂ ke dalam suatu matriks yang stabil merupakan salah satu fokus menarik. Penggunaan ion Fe²⁺ atau Fe³⁺ dalam sistem homogen menyebabkannya terlepas ke lingkungan dan di sisi lain TiO₂ murni bersifat tidak stabil secara kimiawi dalam sistem pengolahan limbah yang heterogen (Sonawane dkk., 2004; Zhu dkk., 2007).

Berlatar belakang pertimbangan-pertimbangan tersebut, dalam penelitian ini dilakukan preparasi katalis mirip Foto-Fenton berupa Fe³⁺ terimobilisasi dalam matriks TiO₂-Montmorillonit yang selanjutnya disebut Fe³⁺/TiO₂-Montmorillonit. TiO₂-Montmorillonit sendiri merupakan hasil pengembunan TiO₂ ke dalam lempung montmorillonit melalui teknik pilarisasi. Beberapa penelitian melaporkan adanya aktivitas fotokatalis TiO₂-Montmorillonit (Houari dkk., 2005; Jingy dkk., 2002; Rezala dkk., 2009). TiO₂-Montmorillonit bersifat memiliki luas permukaan dan stabilitas kimiawi yang lebih tinggi dibandingkan dengan TiO₂ murni serta yang terpenting adalah memiliki situs kationik yang dapat dipertukarkan. Berdasar kation-kation terkandung dalam material ini, Fe³⁺ dapat diimobilisasikan melalui mekanisme pertukaran kation. Representasi skematik dari sintesis Fe³⁺ terimobilisasi pada TiO₂-Montmorillonit disajikan pada Gambar 1. Struktur montmorillonit terdiri dari lapisan tetrahedral silika dan oktahedral alumina pada perbandingan 2:1. Pada antar lapisan struktur silika terdapat kation-kation yang dapat dipertukarkan. Pilarisasi titanium dioksida dilakukan dengan cara pertukaran ion-ion tersebut

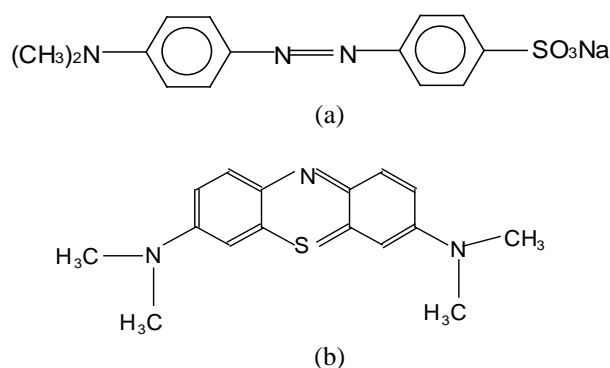
dengan polioksokation titanium sehingga jarak antar lapisan silika meningkat (Mogyoro'si dkk., 2003). Selanjutnya, proses kalsinasi terhadap montmorillonit terinterkalasi tersebut akan mengubah polioksokation pada antar lapisan membentuk pilar oksida titanium yang ditandai dengan kenaikan *basal spacing* d₀₀₁ (Gambar 1). Kalsinasi meninggalkan ion-ion H⁺ yang selanjutnya dapat dipertukarkan oleh Fe³⁺.



Gambar 1. Representasi skematik preparasi Fe³⁺/TiO₂-Montmorillonit

Dalam penelitian ini dikaji aktivitas Fe(III)/TiO₂-Montmorillonit pada degradasi zat warna azo secara *Photo-Fenton like mechanism*. Metyl orange (MO) dan metilena biru (MB) masing-masing digunakan sebagai model senyawa azo anionik dan kationik. Struktur MO dan MB disajikan pada Gambar 2.

Keberhasilan preparasi katalis dipelajari melalui analisis hubungan karakter material dengan aktivitasnya dalam reaksi fotodegradasi senyawa azo.



Gambar 2. Struktur kimia (a) Metil jingga (b) Metilena biru

METODE PENELITIAN

Bahan-bahan kimia yang digunakan dalam penelitian ini meliputi bahan dalam sintesis katalis terdiri dari montmorillonit alam diperoleh dari PT. Tunas Inti Makmur, Semarang dan bahan-bahan kimia berkualitas analisis dari E.Merck terdiri dari TiOCl₂, H₂O₂, H₂SO₄, ammonium besi (III) sulfat, metil jingga (MO) dan metilena biru (MB).

Untuk mempelajari kinetika fotodegradasi zat warna azo digunakan reaktor terdiri dari gelas beaker di atas pengaduk magnet yang diletakkan dalam ruang lampu. Lampu sebagai sumber foton terdiri dari lampu pembangkit sinar UVB dan UVC berkekuatan daya 20 watt. Kadar zat warna hasil fotodegradasi ditentukan menggunakan spektrofotometer *UV-Visible* HITACHI U 2010.

Preparasi katalis dilakukan dengan dua tahap :

- (i) preparasi TiO₂ Montmorillonit dan
- (ii) pengembanan Fe³⁺ pada TiO₂-Montmorillonit

Setelah aktivasi menggunakan H₂SO₄ dan pencucian, lempung montmorillonit alam jenis natrium montmorillonit didispersikan ke dalam akuades untuk diaduk selama 24 jam dalam gelas beaker. Larutan pemilar dibuat dari TiOCl₂ terlarut dalam HCl diteteskan perlahan ke dalam suspensi montmorillonit sehingga diperoleh kondisi Ti=10 mmol/gram lempung. Campuran diaduk selama 24 jam pada temperatur kamar. Suspensi kemudian disaring menggunakan kertas filter Whatman 41, dinetralsasi dengan cara meneteskan akuabides hingga konduktivitas filtrat <0,1μS dan dikeringkan dalam oven pada temperatur 105-120°C. Setelah kering, selanjutnya sampel padatan montmorillonit digerus, diayak dengan ukuran 200 mesh dan dikalsinasi pada laju pemanasan 5°C/menit hingga mencapai 400°C. Setelah temperatur tercapai, temperatur dijaga konstan selama 4 jam. Sampel yang diperoleh dari tahap ini disebut sebagai montmorillonit terpillar titanium dioksida (TiO₂-montmorillonit).

Pengembanan Fe³⁺ pada TiO₂-montmorillonit dilakukan dengan cara pertukaran ion Fe³⁺ dari prekursor ammonium besi (III) sulfat dodekahidrat. Larutan prekursor Fe³⁺ bersama TiO₂-montmorillonit dicampurkan dalam labu alas bulat dengan perbandingan mol ekuivalen Fe³⁺: kapasitas tukar kation = 4:1 kemudian direfluks selama 6 jam. Campuran yang diperoleh disaring dengan pompa vakum dan dinetralkan hingga pH netral. Pertukaran ion dengan sistem refluks ini dilakukan dua kali untuk kemudian padatan yang diperoleh dikeringkan. Padatan kering yang diperoleh selanjutnya disebut sebagai Fe³⁺/TiO₂-montmorillonit.

Karakterisasi material dilakukan dengan menggunakan instrumen *x-ray diffraction* (XRD) Shimadzu X6000, *gas sorption analyzer* NOVA 1200 dan *spektrofotometri diffuse reflectance UV-Visible* (DRUV-Vis) Shimadzu.

Uji aktivitas fotokatalis dilakukan menggunakan reaktor *batch*. Ke dalam larutan uji (MB dan MO) ditambahkan fotokatalis dalam bentuk serbuk dengan konsentrasi 0,5 g/L larutan. Ke dalam larutan ditambahkan larutan H₂O₂ sebagai oksidan dan kemudian diaduk di bawah iluminasi lampu UV dan sampel larutan diambil secara berurutan pada selang waktu tertentu untuk ditentukan kadarnya secara kolorimetri menggunakan spektrofotometer *UV-Visible*. Kajian aktivitas katalitik ditentukan berdasarkan penentuan konstanta laju reaksi degradasi

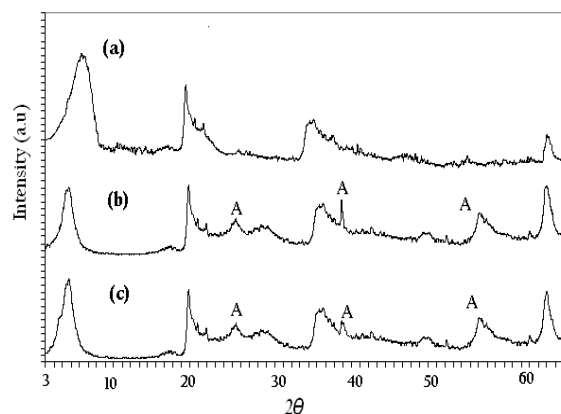
dan kajian mekanisme reaksi katalisis dengan pemodelan Langmuir-Hinshelwood. Pengukuran konsentrasi zat warna ini dilakukan menggunakan metode kolorimetri menggunakan spektrofotometri pada panjang gelombang 635,5 nm dan 436 nm berturut-turut untuk MB dan MO.

Reaksi fotokatalisis berlangsung dalam sistem batch dengan massa katalis konstan sepanjang reaksi dan dari analisis efek adsorpsi diketahui bahwa mekanisme raksi melibatkan mekanisme adsorpsi namun oksidasi zat warna menjadi tahap penting dalam keberhasilan mekanisme fotokatalisis. Oleh karenanya pemodelan Langmuir-Hinshelwood (L-H) dipilih dalam kajian kinetika.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Karakterisasi

Keberhasilan preparasi katalis dipelajari melalui karakterisasi menggunakan XRD. Difraktogram material hasil preparasi dibandingkan dengan montmorillonit alam dan TiO₂-Montmorillonit disajikan pada Gambar 3.

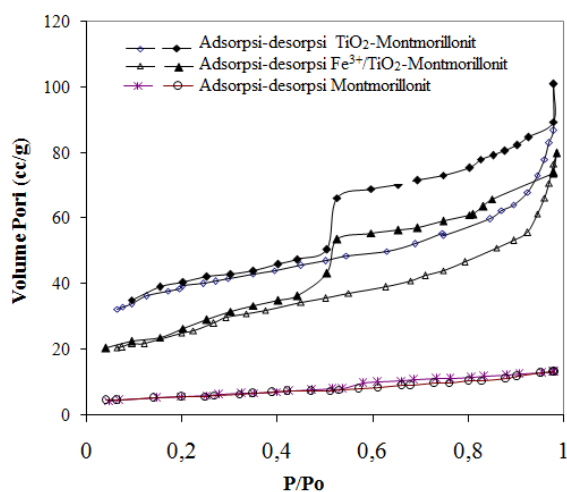


Gambar 3. Difraktogram (a) montmorillonit alam (b) TiO₂-Montmorillonit, dan (c) Fe³⁺/TiO₂-Montmorillonit

Difraktogram montmorillonit alam yang digunakan sebagai bahan baku menunjukkan adanya beberapa puncak refleksi yang bersesuaian dengan keberadaan kristal montmorillonit. Puncak-puncak karakteristik menunjukkan adanya montmorillonit diperlihatkan pada 2θ = 5,93° (d= 14,89 Å) dan 2θ = 19,92° (d= 4,45 Å) dengan intensitas yang cukup berarti. Puncak-puncak lain yang menunjukkan kandungan montmorillonit adalah 2θ=20,18°, 23,57° dan 26,57°. Keberhasilan pilarisasi ditunjukkan oleh adanya pergeseran *basal spacing* d₀₀₁ ke arah kiri. Refleksi bersesuaian dengan *basal spacing* d₀₀₁ dari montmorillonit adalah pada 2θ=5,93° terlihat mengalami pergeseran ke arah kiri sehingga 2θ=5,60°.

Berdasar data-data tersebut, peningkatan *basal spacing* d₀₀₁ adalah sebesar 11,4 nm. Intensitas yang cukup berarti dari refleksi pada 2θ ini menunjukkan bahwa proses pilarisasi tidak menyebabkan terjadinya delaminasi struktur seperti yang terjadi pada penggunaan titanium tetraklorida (TiCl₄) sebagai

prekursor yang telah dilaporkan pada penelitian sebelumnya (Fatimah dan Himmi, 2008). Terbentuknya titanium dioksida di dalam struktur padatan ditandai dengan munculnya refleksi pada $2\theta=25,1^\circ$, $37,7^\circ$, dan $53,8^\circ$ berturut-turut bersesuaian dengan refleksi bidang (101), (004) dan (105) yang menunjukkan bentuk kristal tetragonal. Hal ini berarti bahwa di dalam struktur terbentuk titanium dioksida fasa anatase. Perbandingan difraktogram TiO₂-Montmorillonit dan Fe³⁺/TiO₂-Montmorillonit tidak menunjukkan perbedaan yang bermakna, mengindikasikan bahwa pengembunan Fe³⁺ ke dalam struktur TiO₂-Montmorillonit tidak berpengaruh terhadap stabilitas struktur kristal. Isoterm adsorpsi-desorpsi material disajikan pada Gambar 4.



Gambar 4. Isoterm adsorpsi-desorpsi material

Berdasar pola isoterm dapat disimpulkan bahwa proses pilarisasi secara signifikan mengubah kemampuan dan pola adsorpsi N₂. Terjadi kenaikan volume adsorpsi oleh adanya pilarisasi.

Pengaruh pengembunan ion Fe³⁺ terhadap pola adsorpsi-desorpsi tidak terlihat secara nyata terhadap pola adsorpsi-desorpsi TiO₂-Montmorillonit yakni pola adsorpsi yang mengikuti tipe IV dari klasifikasi Brunauer, Deming, Deming, dan Teller (BDDT).

Berdasar pola ini disimpulkan bahwa pori dengan ukuran mikropori mendominasi struktur montmorillonit alam dan setelah proses pilarisasi terjadi pembentukan mesopori. Hal ini sesuai dengan prinsip dasar pilarisasi yang juga didukung oleh data XRD mengenai kenaikan *basal spacing* d₀₀₁. Kesesuaian ini juga diperlihatkan oleh data-data luas permukaan spesifik dan volume pori pada Tabel 1.

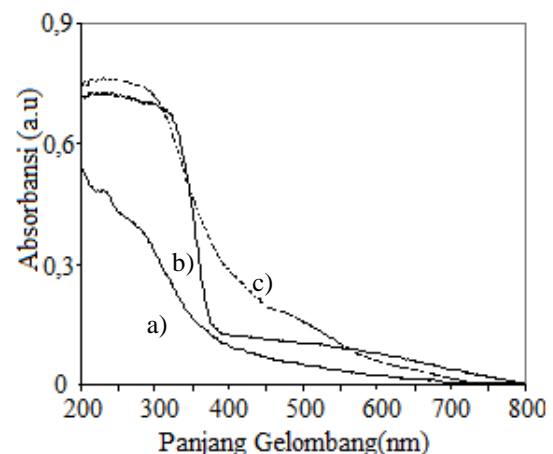
Adanya sedikit penurunan luas permukaan spesifik dan volume pori yang disertai dengan kenaikan rerata pori dimungkinkan oleh adanya dispersi Fe³⁺ yang tidak merata dan membentuk agregat pada permukaan sehingga menutupi pori TiO₂-Montmorillonit. Spektre Diffuse Reflectance UV-Visible disajikan pada Gambar 5.

Spektre DRUV-Visible menunjukkan adanya efek pembentukan nanopartikel titanium dioksida dalam matriks montmorillonit. Selain adanya kenaikan

absorbansi pada seluruh range panjang gelombang pengukuran, terjadi pergeseran panjang gelombang tepi (*edge wavelength*) oleh adanya pilarisasi TiO₂ menuju sekitar 340 nm bersesuaian dengan energi band gap TiO₂ sekitar 3,2-3,4 eV. Selanjutnya dibandingkan dengan spektrum TiO₂-Montmorillonit, imobilisasi Fe(III) ke dalam TiO₂-Montmorillonit menyebabkan adanya pergeseran merah (*red shift*). Pergeseran ini disebabkan oleh adanya interaksi Fe³⁺ dan H₂O yang berkemampuan menyerap foton pada wilayah sinar tampak.

Tabel 1. Data-data parameter fisika material

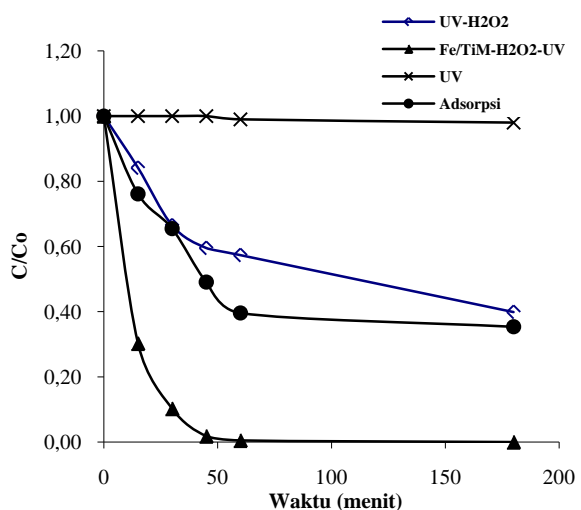
Parameter	Montmorillonit	TiO ₂ -Montmorillonit	Fe ³⁺ /TiO ₂ -Montmorillonit
	Alam		
Luas Permukaan Spesifik (m ² /g)	45,68	127,06	120,09
Volume Pori (10 ⁻³ cc/g)	0,037	156,00	152,00
Jejari pori (Å)	16,44	15,19	15,21
Kandungan Ti (%w/w)	-	10,9	10,9
Kandungan Fe (%w/w)	-	-	1,8



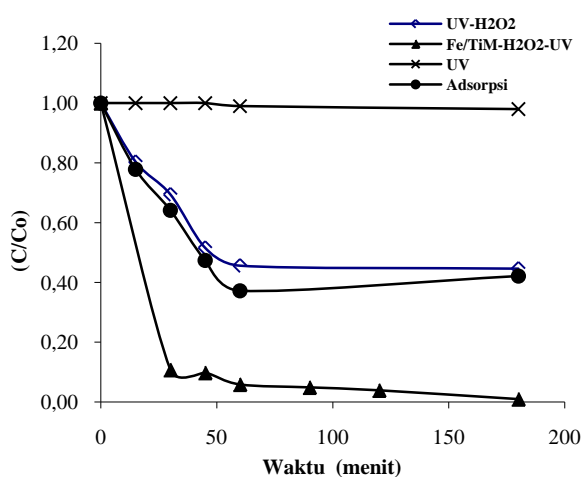
Gambar 5. Spektre DRUV-Visible (a) Montmorillonit (b) TiO₂-Montmorillonit (c) Fe³⁺/TiO₂-Montmorillonit

Aktivitas Fotokatalis

Gambar 6 memperlihatkan pola penurunan konsentrasi MO dan MB pada variasi perlakuan. Berdasar pola penurunan konsentrasi kedua zat warna, terlihat secara jelas adanya peranan material Fe³⁺/TiO₂-Montmorillonit dalam mekanisme degradasi. Degradasi zat warna oleh UV saja tidak menunjukkan penurunan konsentrasi yang berarti. Kombinasi dari keduanya menunjukkan sinergisme positif dan peningkatan laju degradasi secara signifikan ditunjukkan oleh penggunaan katalis Fe³⁺/TiO₂-Montmorillonit dalam sistem reaksi. Pola yang sama diperlihatkan pada degradasi kedua jenis zat warna azo tersebut, meskipun laju reaksi degradasi MB lebih tinggi dibandingkan dengan degradasi MO.



(a)



(b)

Gambar 6. Profil perubahan konsentrasi zat warna azo a) MB dan b) MO pada berbagai perlakuan reaksi mirip Fenton (a) MB (b) MO (konsentrasi = 5×10^{-4} M, $[H_2O_2] = 2 \times 10^{-5}$ M)

Hal ini mengekspresikan efek sinergistik mekanisme reaksi permukaan dan mekanisme ionik yang meliputi reaksi oksidasi-reduksi. Zat warna dioksidasi oleh radikal $\bullet OH$ pada permukaan katalis. Hal ini juga didukung oleh pola penurunan konsentrasi zat warna yang lebih cepat pada MB dibandingkan dengan pada MO.

Adanya mekanisme permukaan dimungkinkan terjadi melalui interaksi kimiawi MB yang bermuatan positif dengan sisi positif katalis. Di samping itu, interaksi kation dengan radikal peroksida bersifat lebih cepat dibandingkan dengan interaksi radikal dengan anion. Hal-hal ini yang mendukung peningkatan laju reaksi.

Selanjutnya, kinetika degradasi dipelajari pada variasi konsentrasi. Dalam beberapa penelitian disimpulkan bahwa laju dari mineralisasi senyawa organik oleh TiO_2 berlangsung mengikuti kinetika

Langmuir-Hinshelwood (L-H). Hal ini meliputi kombinasi dari empat kemungkinan keadaan:

- Reaksi berlangsung dengan dua reaktan yang teradsorpsi pada permukaan katalis
- reaksi berlangsung antara radikal di dalam fasa larutan dan molekul target yang telah teradsorpsi oleh permukaan katalis
- reaksi berlangsung antara radikal yang telah terhubung dengan permukaan katalis dan molekul target dalam fasa larutan
- reaksi berlangsung antara radikal dan molekul target pada fasa larutan.

Model L-H berguna untuk memodelkan mekanisme reaksi yang mungkin terjadi dari kombinasi keempat model mekanisme tersebut meskipun tidak dapat digunakan untuk menentukan model mana yang lebih dominan (Konstantinou dan Albanis, 2004).

Hipotesis ini ditunjukkan dengan pola perubahan konsentrasi melalui mekanisme adsorpsi (tanpa H_2O_2 dan tanpa UV) yang secara keseluruhan menunjukkan adanya penurunan kadar MB dan MO melalui mekanisme adsorpsi oleh fotokatalis. Dibandingkan dengan sistem H_2O_2 -UV serta fotooksidasi, penurunan konsentrasi melalui adsorpsi tidak terlalu jauh berbeda dengan penurunan konsentrasi oleh fotolisis namun penurunan konsentrasi melalui kombinasi adsorpsi dan fotolisis yang terjadi pada fotooksidasi berbeda secara signifikan.

Berdasarkan simulasi beberapa model kinetika reaksi, diperoleh kesesuaian pola kinetika dengan model L-H sesuai dengan persamaan (5)

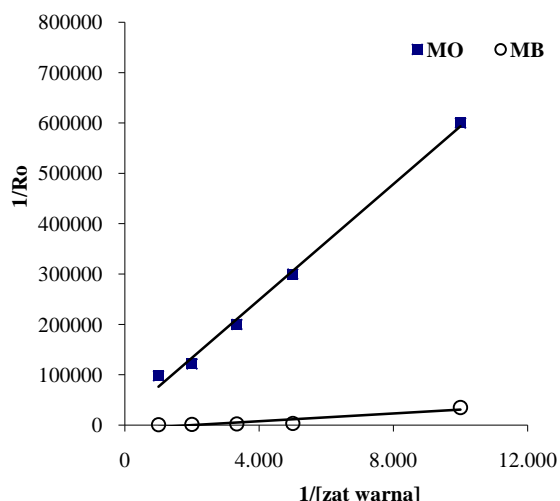
$$R = -\frac{d[\text{zat warna}]}{dt} = \frac{kK[\text{zat warna}]}{1+K[\text{zat warna}]} \quad (5)$$

Dengan R adalah laju degradasi zat warna, k adalah konstanta laju reaksi, $[\text{zat warna}]$ adalah konsentrasi zat warna dan K adalah koefisien adsorpsi-desorpsi. Persamaan (5) berlaku sepanjang waktu reaksi. Dengan membandingkan laju awal setiap reaksi dengan variasi konsentrasi awal, persamaan (5) yang berlaku pada awal reaksi dapat dinyatakan dengan persamaan (6).

$$\frac{1}{R_0} = \frac{1}{k} + \frac{1}{kK[\text{zat warna}]_0} \quad (6)$$

Untuk memenuhi persamaan (6) eksperimen dilakukan dengan mengukur laju awal reaksi fotodegradasi larutan dengan variasi konsentrasi awal. Laju awal reaksi diperoleh dengan menghitung rerata gradien perubahan konsentrasi zat warna pada perubahan waktu reaksi pada rentang waktu 40 menit sebagai waktu sebelum terjadinya kesetimbangan reaksi.

Plot Langmuir-Hinshelwood untuk kedua zat warna disajikan pada Gambar 7.



Gambar 7. Kurva plot Langmuir-Hinshelwood kinetika degradasi MO dan MB

Parameter koefisien determinasi (R^2) dari model regresi linear plot L-H untuk fotodegradasi MB adalah sebesar 0,9938 dan untuk fotodegradasi MO sebesar 0,9951 dan angka-angka ini menunjukkan kecukupan model. Berdasar perhitungan slope dan intersep kedua kurva, diperoleh nilai k dan K untuk MO berturut-turut adalah sebesar $8,83 \times 10^{-7}$ M/detik dan 328,29 dan untuk MB sebesar $4,56 \times 10^{-5}$ M dan 555,60. Berdasar nilai-nilai ini, disimpulkan bahwa konstanta laju reaksi degradasi berkaitan dengan konstanta adsorpsi-desorpsi. Konstanta adsorpsi-desorpsi MB oleh katalis yang lebih tinggi relatif terhadap MO menyebabkan lebih tingginya konstanta laju reaksi.

KESIMPULAN

Katalis Fe³⁺/TiO₂-Montmorillonit telah berhasil dipreparasi dengan karakteristik yang sesuai dengan prinsip dasar modifikasi polarisasi dan pertukaran kation. Material hasil preparasi memiliki aktivitas pada degradasi zat warna azo: MO dan MB melalui *Photo-Fenton Like Mechanism*. Simulasi kinetika degradasi kedua zat warna mengikuti model kinetika Langmuir-Hinshelwood.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terimakasih disampaikan kepada DP2M-DIKTI yang telah membiayai penelitian ini melalui Penelitian Berpotensi Paten 2009.

DAFTAR PUSTAKA

Bauer, R. and Fallman, H., (1997), The photo-Fenton oxidation - a cheap and efficient wastewater treatment method, *Res.Chem.Intermed.*, 23(4), pp. 341-354.

Fatimah, I. dan Himmi, K.S., (2008), Sintesis Montmorillonit Terpillar Oksida Titanium: Efek Prekursor Terhadap Karakter Fisikokimiawi Material.

Prosiding Seminar Nasional Kimia dan Pendidikan Kimia 2008, diselenggarakan oleh Jur. Kimia UPI, ISBN : 978-979-18422-0-4, pp. 208-215.

Houari, M., Saidi, M., Tabet, D., Pichat, P., and Khalaf, H., (2005), The Removal of 4-chlorophenol and Dichloroacetic Acid in Water Using Ti-, Zr- and Ti/Zr-Pillared Bentonites as Photocatalyst, *Am.J. Appl.Sci.*, 2 (7), pp.1136-1140.

Jingy, L., Chuncheng, C., Jincai, Z., Huaiyong, Z., and Zhe., D., (2002), Photodegradation of dye pollutants on TiO₂ pillared bentonites under UV light irradiation, *Science in China*, 45 (4), pp. 445-448.

Konstantinou, I. and Albanis, T., (2004), TiO₂-assisted photocatalytic degradation of azo dyes in aqueous solution: kinetic and mechanistic investigations A review, *App.Catal.B.*, 49, pp. 1-14.

Mogyoro'si, K., De'ka'ny and Fendler, J.H., (2003), Preparation and Characterization of Clay Mineral Intercalated Titanium Dioxide Nanoparticles, *Langmuir*, 19, pp. 2938-2946.

Perez, M., Torradesa, F., Domènech, and Peral, J., (2002a). Fenton and Photo-Fenton oxidation of textile effluents, *Water Res.*, 36, pp. 2703-2710.

Perez, M., Torradesa, F., Gracia, and Domènech. (2002b), Removal of organic contaminants in paper pulp treatment effluents under Fenton and Photo-Fenton conditions, *Appl. Catal. B: Environmental.*, 36, pp. 63-74.

Rajeshwar, K., Osugi, M.E., Chanmanee, W., Chenthamarakshan, C.R., Zanoni, M.V.B., Kajitvichyanuku, P., and Krishnan-Ayer, R., (2008), Review: Heterogeneous photocatalytic treatment of organic dyes in air and aqueous media, *J. Photochem. Photobiol.*, C.9, pp.15-36.

Rezala, H., Khalaf, H., Valverde, J.L., Romero, A., Molinari, A., and Maldotti, A., (2009), Photocatalysis with Ti-pillared clays for the oxofunctionalization of alkylaromatics by O₂, *App.Cat.A: General*, 352, pp. 234-242.

Sonawane, R.S., Kale, B., and Dongare, K., (2004), Preparation and photo-catalytic activity of Fe-TiO₂ thin films prepared by sol-gel dip coating, *Materials Chemistry and Physics*, 85, pp. 52-57.

Zhu, J., Ren, J., Huo, Y., Bian, Z., and Hexing L., (2007), Nanocrystalline Fe/TiO₂ Visible Photocatalyst with a Mesoporous Structure Prepared via a Nonhydrolytic Sol-Gel Route, *J.PhysChem.*, 111 (51), pp. 18965-18969.