

PHOTODEGRADATION OF ALIZARIN S DYE USING TiO₂-ZEOLITE AND UV RADIATIONFotodegradasi Zat Warna Alizarin S Menggunakan TiO₂-Zeolit dan Sinar UVKarna Wijaya^{a,*}, Eko Sugiharto^b, Is Fatimah^c, Iqmal Tahir^a and Rudatiningsih^a^aDepartment of Chemistry, Faculty of Mathematics and Natural Sciences,
Gadjah Mada University, Sekip Utara Yogyakarta, Indonesia 55281^bCentre for Environmental Studies, Gadjah Mada University, Sekip Utara Yogyakarta, Indonesia 55281^cDepartment of Chemistry, Faculty of Mathematics and Natural Sciences,
Universitas Islam Indonesia, Jl. Kaliurang km 14, Sleman, Indonesia

Received 23 December 2005; Accepted 27 January 2006

ABSTRACT

An investigation of Alizarin S photodegradation using TiO₂-zeolite and UV radiation was performed. TiO₂-zeolite was prepared by dispersing oligocations of titanium into suspension of zeolite. The suspension was stirred and then filtered to separate the solid phase from the filtrate. The solid phase was calcined by microwave oven at 800 Watt for 5 minutes to convert the oligocations into its oxide forms. The calcined product and unmodified zeolite were characterized using x-ray diffractometry, FT-IR spectrophotometry, X-ray fluorescence and gas sorption analysis methods to determine their physicochemical properties. Photocatalytic activity of TiO₂-zeolite was tested on Alizarin S solution using following method: 50 mg of zeolite was dispersed into 25 mL of 10⁻⁴ M Alizarin S. The dispersion was irradiated using 365 nm UV light at room temperature on various irradiation times, i.e. 10, 20, 30, 40 and 60 minutes. At certain irradiation time, the dispersion was filtered and the filtrate was then analyzed its concentration using UV-Vis spectrophotometry method. Characterization results exhibited that the formation of TiO₂ on internal as well as external surfaces of zeolite could not be detected with x-ray diffractometry and FT-IR spectrophotometry, however determination of titanium using x-ray fluorescence analysis on the calcined product showed that the concentration of titanium was much higher than zeolite (0.22% on zeolite and 12.08% on TiO₂-zeolite). Gas sorption analysis result indicated that the calcination resulted in the increase of specific surface area (16,31 m²/g on zeolite and 100,96 m²/g on TiO₂-zeolite) as well as total pore volume of calcined product (13,34 mL/Å/g on zeolite and 57,54 mL/Å/g on TiO₂-zeolite). The result of photocatalytic activity study showed that ca 99 % of Alizarin S was degraded by TiO₂-zeolite after UV irradiation for 60 min.

Keywords: TiO₂-zeolite, photocatalytic, Alizarin S.

PENDAHULUAN

Limbah zat warna yang dihasilkan dari industri tekstil umumnya merupakan senyawa organik *non-biodegradable*, yang dapat menyebabkan pencemaran lingkungan terutama lingkungan perairan. Jenis bahan pewarna yang digunakan di dalam industri tekstil dewasa ini sangat beraneka ragam, dan biasanya tidak terdiri dari satu jenis zat warna, oleh karena itu penanganan limbah tekstil menjadi sangat rumit dan memerlukan beberapa langkah sampai limbah tersebut benar-benar aman untuk di lepas ke lingkungan perairan [1]. Saat ini berbagai teknik atau metode penanganan limbah tekstil telah dikembangkan, di antaranya adalah metode adsorpsi [2]. Namun metode ini ternyata kurang begitu efektif karena zat warna tekstil yang diadsorpsi tersebut masih terakumulasi di dalam adsorben yang pada suatu saat nanti akan menimbulkan persoalan baru. Sebagai alternatif dikembangkan metode fotodegradasi dengan menggunakan bahan fotokatalis dan radiasi sinar ultraviolet yang energinya sesuai atau lebih besar dari energi *band gap* fotokatalis

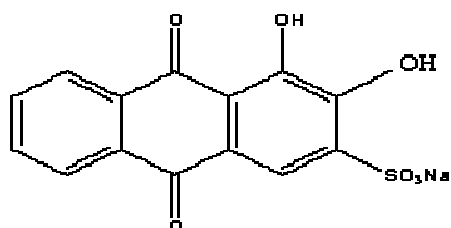
tersebut. Dengan metode fotodegradasi ini, zat warna akan diurai menjadi komponen-komponen yang lebih sederhana yang lebih aman untuk lingkungan [3-6].

Dalam tulisan ini akan dipaparkan penggunaan metode fotodegradasi untuk mendegradasi zat warna Alizarin S (Gambar 1) dengan menggunakan bahan baku zeolit dan TiO₂. Zat warna ini dipilih karena dipandang cukup mewakili zat warna industri tekstil. Di lingkungan senyawa Alizarin S sebenarnya dapat mengalami fotodegradasi secara alami oleh adanya cahaya matahari, namun reaksi ini berlangsung relatif lambat. Hal ini terjadi karena intensitas cahaya UV yang sampai ke permukaan bumi relatif rendah sehingga akumulasi Alizarin S ke dasar perairan atau tanah lebih cepat daripada proses fotodegradasinya [7-9].

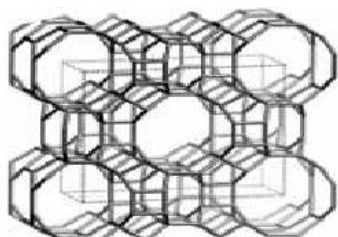
Fotodegradasi terkatalisis TiO₂ dengan metode dispersi padat-padat (DPP) sebenarnya telah banyak dilakukan, dan menunjukkan hasil yang cukup efektif, namun metode DPP memiliki kelemahan, yaitu TiO₂ kurang kuat terikat pada matriks [10-11].

* Corresponding author.

Email address : karnaugm@yahoo.com (K. Wijaya)



Gambar 1 Struktur Alizarin S



Gambar 2 Struktur zeolit mordenit [12]

Inklusi oligokation titan ke dalam pori-pori zeolit alam yang diikuti dengan proses kalsinasi untuk mengubah oligokation menjadi bentuk oksida TiO_2 di permukaan internal dan eksternal zeolit seperti yang dipaparkan dalam tulisan ini diyakini memiliki keuntungan yaitu titan dioksida akan terikat lebih kuat ke permukaan zeolit. TiO_2 -zeolit yang terbentuk tersebut selanjutnya digunakan untuk mendegradasi zat warna Alizarin S secara fotokatalitik dengan bantuan sinar ultraviolet. Pada penelitian ini digunakan zeolit alam dari daerah Gunungkidul DIY yang mengandung komponen utama berupa mordenit dengan struktur kimia seperti ditunjukkan pada Gambar 2.

METODE PENELITIAN

Bahan

Zeolit alam dari daerah Gunungkidul DIY digunakan sebagai bahan baku pembuatan fotokatalis. Air bebas mineral, $TiCl_4$ (Merck), HCl (Merck), $AgNO_3$ (Merck), berturut-turut digunakan untuk bahan pendispersi, larutan pembentuk oligokation titan dengan bantuan HCl dan $AgNO_3$ sebagai larutan penguji filtrat.

Peralatan

Difraktogram bahan diambil dengan menggunakan XRD merk Shimadzu X-Ray Diffractometer-6000. Luas permukaan spesifik, volume total pori dan distribusi ukuran pori ditentukan dengan menggunakan instrumentasi Gas Sorption Analyzer NOVA 1000. Untuk mengetahui konsentrasi titan di dalam bahan digunakan X-ray Fluorescence EG & G OTEG 7001. Kalsinasi bahan menggunakan *microwave oven* SHARP. Untuk penentuan konsentrasi zat warna Alizarin S digunakan Spectrophotometer UV-Vis Hitachi 130-20 sedangkan spektra inframerah diambil dengan menggunakan FTIR-8201 PC Shimadzu.

Prosedur Kerja

Preparasi zeolit

Seratus gram zeolit alam digerus sampai halus sehingga lolos saringan berukuran 250 *mesh*. Zeolit halus tersebut kemudian didispersikan dalam 2 L air bebas ion dan diaduk selama 24 jam. Selanjutnya, zeolit disaring dan dikeringkan dalam *oven* pada temperatur 120 °C. Setelah kering, zeolit digerus dan diayak menggunakan saringan berukuran 250 *mesh* dan hasil ayakan kemudian disebut dengan zeolit asal (ZA). ZA dianalisis dengan metode difraktometri sinar-X, spektrofotometri FT-infra merah, analisis luas permukaan, dan analisis X-Ray Fluorescence.

Sintesis TiO_2 -zeolit

Sebelum TiO_2 -zeolit disintesis, maka terlebih dahulu dibuat larutan kompleks titan. Larutan ini dibuat dengan menambahkan 20 mL $TiCl_4$ 9,01 M sedikit demi sedikit ke dalam 4 mL HCl 6,0 M. Hasil pencampuran diencerkan dengan air bebas ion sehingga terbentuk larutan kompleks Ti berwarna bening dengan volume 220 mL, selanjutnya larutan diperam (*aging*) pada temperatur kamar selama 8 jam sebelum digunakan [13]. Larutan akhir memiliki pH di sekitar 1,1.

Untuk membuat TiO_2 -zeolit maka sebanyak 18 g ZA didispersikan ke dalam 1320 mL air bebas ion sambil diaduk dengan pengaduk magnet selama 5 jam. Selanjutnya, larutan kompleks Ti yang telah diperam dicampurkan sedikit demi sedikit sehingga diperoleh perbandingan 10 mmol Ti per g ZA. Campuran yang terbentuk diaduk dengan kuat selama 18 jam. Hasil yang diperoleh kemudian dipisahkan dengan menggunakan *centrifuge* dan dicuci beberapa kali dengan air bebas ion sampai terbebas dari ion klorida. Pencucian dihentikan jika filtrat diuji dengan larutan $AgNO_3$ tidak membentuk endapan putih dari $AgCl$. ZA yang telah terinterkalasi kompleks Ti dikeringkan dalam *oven* pada temperatur 110-130 °C. Setelah kering, TiO_2 -ZA (TiO_2 -zeolit) digerus sampai halus dan diayak menggunakan saringan 250 *mesh*. Selanjutnya TiO_2 -zeolit dikalsinasi menggunakan *microwave oven* 800 *watt* selama 5 menit. Hasilnya dianalisis dengan menggunakan metode XRD, spektrofotometri FT-infra merah, analisis luas permukaan, dan metode analisis XRF

Fotodegradasi Alizarin S menggunakan TiO_2 -zeolit sebagai fotokatalis

Eksperimen fotodegradasi dilakukan dengan cara sebagai berikut: Delapan belas buah gelas beaker 50 mL masing-masing diisi dengan 25 mL larutan Alizarin S (AS) dengan konsentrasi 10^{-4} M. Ke dalam dua belas gelas tersebut ditambahkan 50 mg TiO_2 -zeolit, sedangkan ke dalam enam gelas beaker sisa masing-masing dimasukkan 50 mg zeolit asal sehingga terbentuk suspensi. Semua gelas tersebut dibungkus

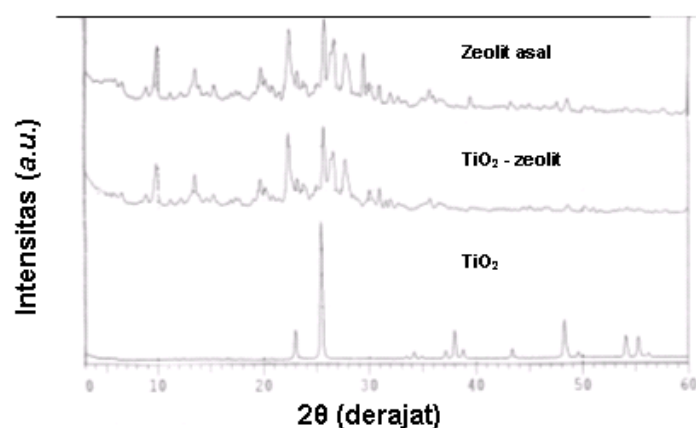
dengan plastik hitam sebelum diradiasi dengan sinar UV. Enam gelas beaker berisi TiO_2 -zeolit dan enam gelas beaker berisi zeolit asal, masing-masing diradiasi dengan sinar UV masing-masing selama 10, 20, 30, 40, 50, dan 60 menit. Enam gelas beaker sisa berisi TiO_2 -zeolit dibiarkan di tempat gelap selama 10, 20, 30, 40, 50, dan 60 menit.

Suspensi disaring dengan penyaring vakum menggunakan kertas saring *Whatman 42*. Larutan *Alizarin S* yang dibuat kemudian diukur panjang gelombangnya untuk mengetahui panjang gelombang maksimum. Filtrat kemudian dianalisis absorbansinya dengan Spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang maksimum dan pH 4,8. Hasil pembacaan absorbansi dikonversi ke konsentrasi dengan bantuan larutan standar *Alizarin S*. Sebagai pembanding dibuat juga larutan *Alizarin S* yang ditambahkan dengan zeolit asal dan diberi perlakuan yang sama, serta dengan TiO_2 -zeolit tanpa radiasi sinar UV.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Preparasi TiO_2 -zeolit

Pada preparasi ini dilakukan pencucian zeolit alam dengan menggunakan air bebas ion untuk menghilangkan pengotor-pengotor larut air yang ada pada permukaan zeolit. Selanjutnya dilakukan preparasi TiO_2 -zeolit. Untuk menghilangkan pengotor-pengotor organik yang masih ada di zeolit asal dan untuk memperbesar struktur permukaan zeolit, maka dilakukan kalsinasi dengan menggunakan *microwave oven 800 watt* selama 5 menit, sedangkan kalsinasi terhadap senyawa oligokation titan-zeolit asal bertujuan untuk mentransformasikan oligokation menjadi bentuk oksidanya. Metode kalsinasi dengan menggunakan *microwave oven* ini mempunyai keunggulan dibandingkan dengan metode konvensional dengan *furnace*, karena di samping penggunaannya yang praktis juga memerlukan waktu yang lebih singkat.



Gambar 3 Difraktogram zeolit asal, TiO_2 -zeolit, dan kristal TiO_2 (*anatase*)

Karakterisasi TiO_2 -zeolit

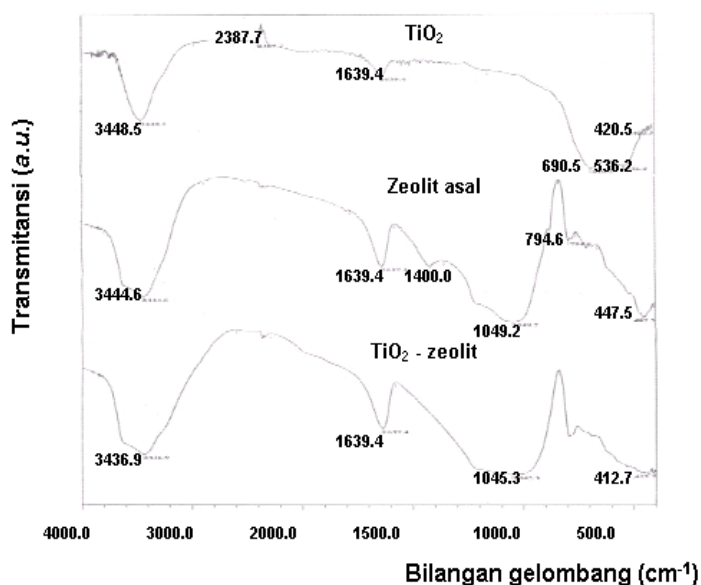
Pada difraktogram zeolit asal pada Gambar 3 terdapat refleksi dengan intensitas yang tajam pada daerah $2\theta = 9,82^\circ; 13,46^\circ; 19,69^\circ; 22,35^\circ; 23,15^\circ; 25,68^\circ; 26,34^\circ; \text{ dan } 27,74^\circ$. Refleksi ini merupakan karakteristik refleksi mordenit. Dengan demikian dapat diketahui bahwa zeolit yang digunakan pada penelitian ini dapat digolongkan jenis mordenit. Dari difraktogram TiO_2 -zeolit terlihat adanya penurunan intensitas serapan yang menunjukkan berkurangnya tingkat kekristalan, karena rusaknya struktur zeolit akibat adanya kalsinasi yang telah dilakukan dengan menggunakan *microwave oven 800 watt* selama 5 menit, namun dari difraktogram itu belum dapat diketahui secara pasti apakah TiO_2 telah terbentuk di dalam permukaan internal dan eksternal zeolit. Jumlah refleksi TiO_2 yang berimpit dengan refleksi zeolit menimbulkan kesulitan dalam identifikasi, sehingga dari difraktogram ini tidak dapat disimpulkan apakah TiO_2 telah terbentuk pada permukaan internal dan eksternal zeolit.

Hasil analisis dengan spektroskopi inframerah (Tabel 1 dan Gambar 4) hanya memberikan informasi mengenai serapan gugus fungsional sehingga secara umum spektra zeolit asal dan TiO_2 -zeolit hampir sama. Karakteristik serapan gugus fungsional dari zeolit asal, kristal TiO_2 (*anatase*), dan TiO_2 -zeolit dapat dilihat pada data tersebut.

Perbandingan serapan karakteristik tersebut disajikan dalam tabel 1. Dari hasil analisis FTIR terlihat bahwa ada penurunan serapan O-H regang pada TiO_2 -zeolit yang menunjukkan terjadinya dehidrasi akibat proses kalsinasi. Pada serapan vibrasi Al-O dan Si-O tidak ada perubahan bilangan gelombang yang signifikan. Hal ini mengindikasikan bahwa proses kalsinasi tidak merusak ikatan Al-O dan Si-O. Munculnya pita serapan pada daerah sekitar 1400 cm^{-1} pada spektra zeolit yang tidak terlihat pada spektra TiO_2 -zeolit menunjukkan adanya serapan bahan organik yang hilang selama proses kalsinasi.

Tabel 1. Perbandingan serapan gugus fungsional dari zeolit asal, kristal TiO_2 (*anatase*) dan TiO_2 -zeolit

Zeolit asal	Bilangan gelombang (cm^{-1})		Serapan gugus fungsional
	TiO_2	TiO_2 -zeolit	
3444,6	3448,5	3436,9	OH regang dari OH
-	2307,7	-	oktahedral dan atau H_2O
1639,4	1639,4	1639,4	Serapan Ti-O [9,16]
1400,0	-	-	O-H tekuk dari H_2O [9,16]
1049,2	-	1045,3	Bahan organik [9,16]
794,6	-	-	Regangan asimetris internal
-	690,5-	-	O-T-O, (T= Si dan Al) [5,16]
-	420,5	-	Regangan simetri eksternal
447,5	-	412,7	O-T-O, (T= Si dan Al) [5,16]
			Karakter vibrasi Ti-O [16]
			Si-O-Si tekuk [5,16]



Gambar 4 Spektra IR zeolit asal, kristal TiO₂ (anatase), dan TiO₂-zeolit

Tabel 2 Perbandingan kandungan TiO₂ dalam zeolit asal dan dalam TiO₂-hasil analisis dengan XRF

Sampel	% (b/b)
Zeolit asal	0,22
TiO ₂ -zeolit	12,08

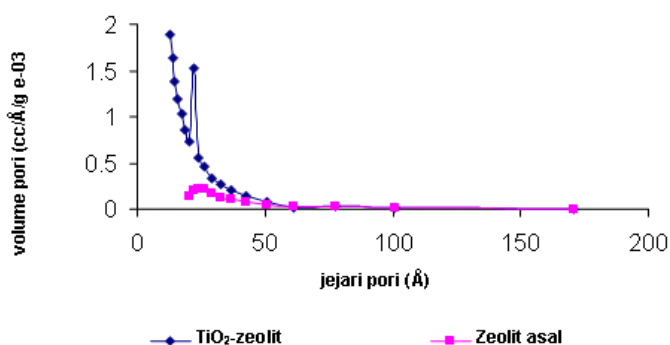
Tabel 3 Hasil pengukuran luas permukaan spesifik dan volume pori dari zeolit asal TiO₂-zeolit

Sampel	Luas permukaan spesifik (m ² /g)	Volume total pori (cc ³ /Å/g)
Zeolit	16,31	13,34
TiO ₂ -zeolit	100,96	57,54

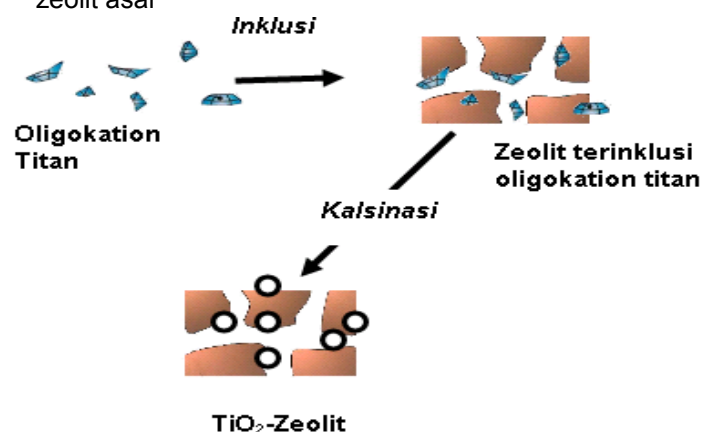
Dari spektra IR ini belum dapat dibuktikan bahwa TiO₂ telah terbentuk pada permukaan dalam atau luar zeolit, yaitu dengan tidak munculnya serapan pada daerah sekitar 2300 cm⁻¹, 690 cm⁻¹, dan 420 cm⁻¹ pada spektra TiO₂-zeolit yang merupakan karakteristik serapan TiO₂.

Keberhasilan pengembangan TiO₂ pada zeolit dapat dibuktikan dengan pengukuran kandungan Ti pada zeolit tersebut, yaitu dengan menggunakan analisis XRF. Pada penelitian ini TiO₂-zeolit dibuat dengan mendispersikan zeolit asal pada oligokation Ti yang berasal dari hidrolisis larutan TiCl₄ yang diikuti dengan proses kalsinasi. Hasil analisis XRF disajikan pada Tabel 2.

Dari Tabel 2 terlihat bahwa terjadi kenaikan kandungan TiO₂ yang cukup signifikan yaitu dari 0,22% pada zeolit asal menjadi 12,08% pada TiO₂-zeolit. Peningkatan kandungan TiO₂ sebesar 11,86% menunjukkan bahwa proses sintesis TiO₂-zeolit relatif berhasil. Kandungan TiO₂ tersebut merupakan jumlah total TiO₂ yang ada dalam zeolit.



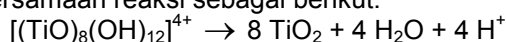
Gambar 5 Grafik distribusi ukuran pori TiO₂-zeolit dan zeolit asal



Gambar 6 Ilustrasi visual pembentukan TiO₂ pada zeolit

Hasil analisis luas permukaan dan volume total pori terhadap TiO₂-zeolit dan zeolit asal yang ditampilkan dalam Tabel 3 menunjukkan bahwa formasi TiO₂ di permukaan dalam dan luar zeolit mengakibatkan peningkatan luas permukaan spesifik dan volume pori total yang cukup signifikan pada TiO₂-zeolit. Peningkatan luas permukaan dan volume total pori diperkirakan berasal dari TiO₂ yang terdistribusi di permukaan eksternal zeolit.

Pembentukan TiO₂ juga meningkatkan jumlah mesopori (diameter sekitar 50 Å) pada TiO₂-zeolit (gambar 5). Peningkatan sifat-sifat fisikokimia zeolit akibat pembentukan TiO₂ diharapkan dapat menaikkan performa fotokatalitik bahan tersebut. Dari hasil karakterisasi yang telah dikemukakan dapat diyakini bahwa TiO₂ telah terbentuk dipermukaan eksternal maupun internal zeolit asal. Dengan mengacu pada reaksi pembuatan titan dioksida dari oligokation dalam Cotton *et al.*, [14], maka pembentukan TiO₂ pada permukaan zeolit dari oligokation titan mengikuti persamaan reaksi sebagai berikut:



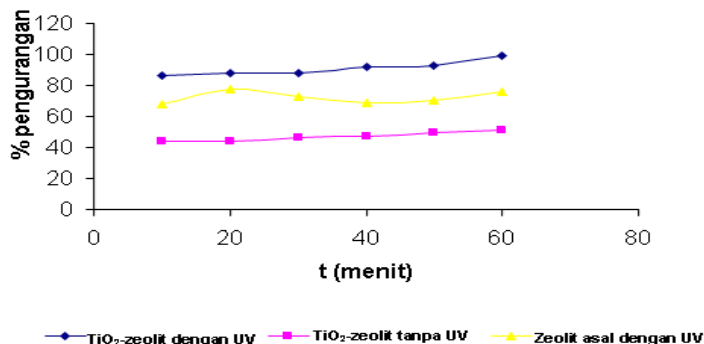
Muatan negatif zeolit akan dikompensasikan oleh proton yang terbentuk dari hasil reaksi tersebut sehingga muatan bahan secara keseluruhan tetap netral. Ilustrasi visual pembentukan titan dioksida pada zeolit ditunjukkan pada Gambar 6.

Fotodegradasi Alizarin S menggunakan TiO₂-zeolit sebagai fotokatalis

Reaksi fotodegradasi terkatalisis memerlukan empat komponen utama, yaitu: sumber cahaya (foton), senyawa target, oksigen dan fotokatalis. Dalam penelitian ini, sumber cahaya berasal dari lampu sinar UV dengan panjang gelombang 365 nm, senyawa target adalah zat warna *Alizarin S* dalam larutan berair, oksigen dari gas O₂ sebagai penangkap elektron, dan fotokatalis TiO₂-zeolit.

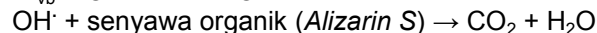
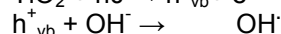
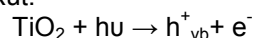
Fotodegradasi *Alizarin S* dengan TiO₂-zeolit ini dilakukan dalam ruang gelap. Selama proses penyinaran, dilakukan pengadukan dengan *magnetic stirrer* agar reaksi fotodegradasi berlangsung secara lebih merata. Untuk fotodegradasi ini, digunakan 50 mg TiO₂-zeolit yang didispersikan dalam 25 mL *Alizarin S*. Penyinaran dilakukan dengan variasi waktu 10, 20, 30, 40, 50, 60 menit untuk mempelajari aktivitas fotokatalitiknya sebagai fungsi waktu. Campuran disaring lalu filtratnya dianalisis dengan spektrofotometer UV pada panjang gelombang maksimumnya. Sebagai pembandingan dilakukan pencampuran *Alizarin S* dengan sistem TiO₂-zeolit dalam gelap tanpa radiasi sinar UV dan juga sistem zeolit asal dengan radiasi sinar UV sebagai fungsi waktu. Dari ketiga perlakuan yang berbeda ini akan dapat diprediksi apakah *Alizarin S* teradsorpsi atau kombinasi terdegradasi dan teradsorpsi oleh katalis. Dari pengukuran panjang gelombang (λ) didapatkan bahwa panjang gelombang maksimum untuk larutan *Alizarin S* yang sesuai adalah 220 nm. Panjang gelombang ini sebenarnya terdapat pada daerah UV, karena pengukuran di daerah visibel memberikan hasil yang tidak memuaskan. Oleh karena itu pengukuran absorbansi untuk setiap variasi sampel, selanjutnya dilakukan pada panjang gelombang 220 nm ini.

Degradasi *Alizarin S* menggunakan fotokatalis TiO₂-zeolit terjadi melalui proses adsorpsi *Alizarin S* ke permukaan partikel fotokatalis yang secara simultan disertai dengan proses oksidasi fotokatalitik terhadap *Alizarin S*. Adapun persamaan reaksinya adalah sebagai berikut [15]:

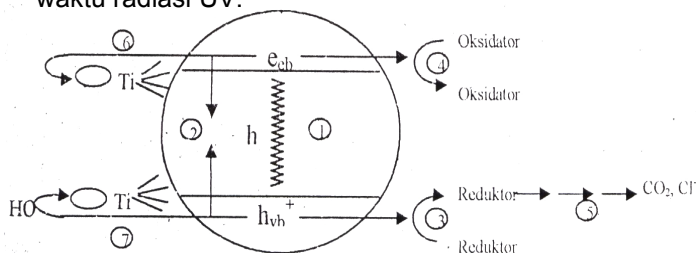


Gambar 7 Grafik persentase pengurangan *Alizarin S* lawan t (menit)

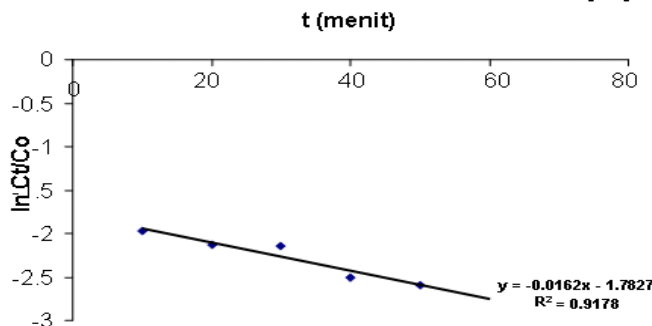
Mekanisme reaksinya dapat dijelaskan sebagai berikut:



Pada saat TiO₂-zeolit terkena radiasi sinar UV yang memiliki energi yang bersesuaian atau bahkan melebihi energi celah pita dalam oksida titan tersebut, maka dengan mengacu pendapat Lacheb [15], di dalam fotokatalis akan terjadi eksitasi elektron dari pita valensi ke pita konduksi yang akan menghasilkan e⁻, dan menyebabkan adanya kekosongan atau *hole* (h⁺_{vb}) yang dapat berperan sebagai muatan positif. Selanjutnya *hole* (h⁺_{vb}) akan bereaksi dengan hidroksida logam yaitu hidroksida oksida titan yang terdapat dalam larutan membentuk radikal hidroksida logam yang merupakan oksidator kuat untuk mengoksidasi *Alizarin S*. Untuk elektron yang ada pada permukaan semikonduktor akan terjebak dalam hidroksida logam dan dapat bereaksi dengan penangkap elektron yang ada dalam larutan misalnya H₂O atau O₂, membentuk radikal hidroksil ([·]OH) atau superoksida ([·]O₂⁻) yang akan mengoksidasi *Alizarin S* dalam larutan. Radikal-radikal ini akan terbentuk terus-menerus selama TiO₂-zeolit masih dikenai radiasi sinar UV dan akan menyerang *Alizarin S* yang ada di permukaan katalis sehingga *Alizarin S* mengalami degradasi. Jadi dengan bertambahnya radiasi sinar UV maka foton yang mengenai TiO₂-zeolit akan semakin banyak sehingga *Alizarin S* yang terdegradasi akan semakin banyak. Untuk mengetahui orde dan konstanta laju reaksi, dibuat grafik ln Ct/Co lawan waktu radiasi UV.



Gambar 8 Mekanisme fotokatalis dari TiO₂ [10]



Gambar 9 Grafik ln Ct/Co lawan t pada fotodegradasi *Alizarin S* dengan sistem katalis TiO₂-Zeolit dan radiasi sinar UV

Konstanta laju reaksi (**k**) dapat ditentukan dari perhitungan *slope* grafik yang disajikan dalam Gambar 9, yaitu sebesar 0,0162 menit⁻¹. Nilai laju ini relatif cukup besar sehingga dapat diindikasikan bahwa reaksi fotodegradasi *Alizarin S* dengan katalisator TiO₂-Zeolit cukup efektif. Dari penelitian ini sebenarnya belum dapat diketahui produk fotodegradasi, namun dari kajian Gambar 9 dapat diduga bahwa jika sistem TiO₂-Zeolit/ radiasi sinar UV yang digunakan, persentase pengurangan sebagai fungsi waktu radiasi relatif lebih besar dari pada sistem lainnya. Pada dua sistem lainnya, dapat difikirkan bahwa *Alizarin S* hanya teradsorpsi saja. Perlu dicatat pula bahwa bagian yang diadsorpsi dari zat warna *Alizarin S* adalah bagian negatifnya (anion) sehingga adsorpsi berlangsung kurang efektif.

KESIMPULAN

Modifikasi zeolit alam dengan TiO₂ melalui inklusi oligokation titan yang diikuti dengan kalsinasi dapat meningkatkan kandungan Ti sebesar 11,87 % (b/b), luas permukaan spesifik menjadi 100,96 m²/g, dan volume pori total menjadi 57,54 cc³/g.

Sistem fotokatalis TiO₂-zeolit/ radiasi UV pada panjang gelombang 365 nm cukup efektif digunakan untuk mendegradasi *Alizarin S* dengan pengurangan konsentrasi *Alizarin S* mencapai sekitar 99% dalam waktu 60 menit dengan konsentrasi TiO₂-zeolit sebanyak 50 mg TiO₂-zeolit untuk 25 mL dengan konsentrasi awal *Alizarin S* 10⁻⁴ M.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Kementerian Negara Riset dan Teknologi – RI yang telah membiayai penelitian ini melalui Proyek Riset Unggulan Terpadu XIII tahun 2005.

DAFTAR PUSTAKA

- Guisnet, M. and Gilson, J.P., 2002, *Zeolites for Cleaner Technologies*, Imperial College Press, London, 5-8
- Fox, M.A., and Dulay, M.T., 1993, *Chem. Rev.*, 93, 341-357
- Gunlazuardi, J., 2001, *Fotokatalisis Pada Permukaan TiO₂: Aspek Fundamental dan Aplikasinya*, Seminar Nasional Kimia Fisika II, Jakarta, 14-15 Juni
- Lee, G.D. and Falconer, J.L., 2000, *Catal. Letters*, 70, 145-148
- Long, R.A. and Yang, R.T., 2000, *J. Catal.*, 196, 73-85
- Nogueria, R.F.P., and Jardim, W.F., 1993, *J. Chem. Ed.*, 79, 10, 861-862
- Takeda, N., Torimoto, T., Yonegama, H., 1999, *Bull. Chem. Soc. Jpn.*, 72, 1615-1621
- Rao, K.V.S., Srivinas, B., Prasad, A.R., and Subrahmanyam, M., 2000, *Chem. Commun*, 1553-1534
- Corrent, S., Cosa, G., Scaiano, J.C., Galletero, M.S., Alvaro, M., Garcia, H., 1999, *Chem. Mater.*, 13, 715-722
- Lowell, S., dan Shields, J.E., 1984, *Powder Surface Area and Porosity*, 2nd ed., Chapman and Hall Ltd, London
- Ekimov, A.I., Efros, A.I.L. dan Anuchenko, A.A., 1985, *Solid State Comm.* 5611, 921-1524
- Hamdan, H., 1992, *Introduction to Zeolites, Synthesis, Characterization and Modification*, Universiti Teknologi Malaysia, Kuala Lumpur
- Hariyatun, 2004, *Fotodegradasi Bahan Pewarna Alizarin S Menggunakan Oksida Besi Montmorillonit dan Sinar UV*, Skripsi FMIPA Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta
- Cotton, F.A., Wilkinson, G., and Gaus, P.L., 1999, *Basic Inorganic Chemistry*, John Wiley and Sons, Inc., New York.
- Lachheb, H., Puzenat, E., Houas, A., Khisbi, M., Elaloui, E., Guillard, C., and Hermann, J.M., 2002, *Appl. Catal. B. Environ.*, 39, 75-90
- Hoffman, M.R., Martin, S.T., Choi, W dan Bahnemann, D.W., 1995, *Chem. Rev.*, 95, 69-96