

UTILISASI TiO₂-ZEOLIT DAN SINAR UV UNTUK FOTODEGRADASI ZAT WARNA CONGO RED

¹Karna Wijaya, ²Eko Sugiharto, ³Is Fatimah, ⁴Sri Sudiono, ⁵Diyan Kurniaysih

^{1,4}Laboratorium Kimia Fisika FMIPA UGM, Sekip Utara, Yogyakarta

²Pusat Studi Lingkungan Hidup, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta

³Jurusan Kimia FMIPA Universitas Islam Indonesia

ABSTRACT

An investigation of Congo Red photodegradation using TiO₂-Zeolite and UV radiation was performed. TiO₂-Zeolite was prepared by dispersing of pillaring solution (in form 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 fluorecence and gas sorption analysis to determine their physicochemical properties.

Photocatalytic activity of TiO₂-Zeolite was tested on Congo Red using following method: 50 mg of Zeolite was dispersed into 25 mL of 10⁻⁴ M Congo Red. 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 fluorecence 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 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). Photocatalytic activity test result conducted on that dye showed that ca 99 % of Congo Red was degraded by the system TiO₂-Zeolite after UV irradiation for 60 minutes.

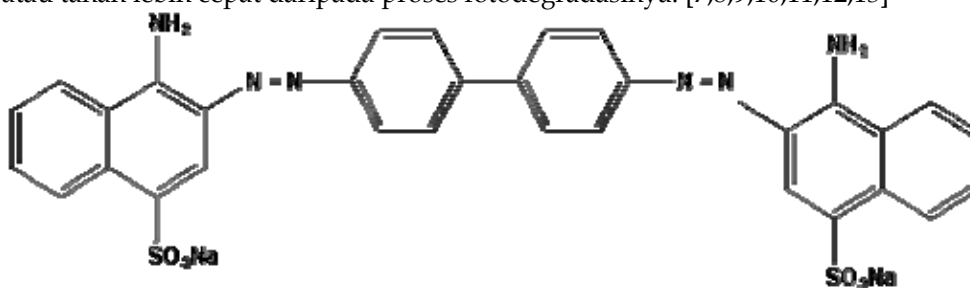
Keywords: TiO₂-Zeolite, photocatalytic, UV-irradiation, Congo Red

1. PENDAHULUAN

Limbah zat warna yang dihasilkan dari industri tekstil umumnya merupakan senyawa organik *non-biodegradable*, yang dapat menyebabkan pencemaran lingkungan terutama lingkungan perairan. Dewasa ini jenis bahan pewarna yang digunakan di dalam industri tekstil 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

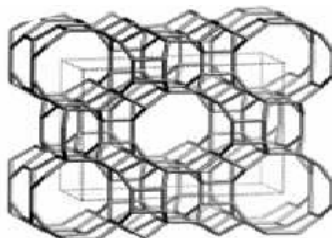
tersebut benar-benar aman untuk di lepas ke lingkungan perairan. Saat ini berbagai teknik atau metode penanggulangan limbah tekstil telah dikembangkan, di antaranya adalah metode adsorpsi. Namun metode ini ternyata kurang begitu efektif karena zat warna tekstil yang diadsorpsi tersebut masih terakumulasi 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. [1,2,3,4,5,6]

Dalam tulisan ini akan dipaparkan penggunaan metode fotodegradasi untuk mendegradasi zat warna *Congo Red* dengan menggunakan bahan baku Zeolit dan TiO_2 . Zat warna ini dipilih karena dipandang cukup mewakili zat warna industri tekstil. Di lingkungan senyawa *Congo Red* sebenarnya dapat mengalami fotodegradasi secara alami oleh adanya cahaya matahari, namun reaksi ini berlangsung relatif lambat, karena intensitas cahaya UV yang sampai ke permukaan bumi relatif rendah sehingga akumulasi *Congo Red* ke dasar perairan atau tanah lebih cepat daripada proses fotodegradasinya. [7,8,9,10,11,12,13]



Gambar 1. Struktur Congo Red

Fotodegradasi terkatalisis TiO_2 dengan metode dispersi padat-padat (DPP) sebenarnya telah banyak dilakukan, dan menunjukkan hasil yang cukup efektif, namun metode DPP memiliki kelemahan, yaitu TiO_2 kurang kuat terikat pada matriks. Inklusi oligokation titan ke dalam pori-pori Zeolit alam yang diikuti dengan proses kalsinasi.



Gambar 2. Struktur Zeolit Mordenit

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 *Congo Red* secara fotokatalitik dengan bantuan sinar ultraviolet. [14,15,16,17]

2. PROSEDUR PENELITIAN

2.1 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 (Long dan Yang, 1999). Larutan akhir memiliki pH disekitar 1,1.

Untuk membuat TiO_2 -Zeolit maka sebanyak 18 g Zeolit Asal 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 Zeolit Asal. 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. Zeolit Asal yang telah terinterkalasi kompleks Ti dikeringkan dalam *oven* pada temperatur 110-130°C. Setelah kering, TiO_2 -Zeolit Asal (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 metode difraktometri sinar-X, spektrofotometri FT-infra merah, analisis luas permukaan, dan metode analisis *X-Ray Fluoresence*.

2.2 Fotodegradasi Congo Red 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 *Congo Red* (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 diradiasi dengan sinar UV ($\lambda = 365$ nm) 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 *Congo Red* yang dibuat kemudian diukur panjang gelombangnya untuk mengetahui panjang gelombang maksimum. Filtrat

kemudian dianalisis absorbansinya dengan Spektrofotometer UV-vis pada panjang gelombang maksimum (501 nm) dan pH 4,5. Hasil pembacaan absorbansi dikonversi ke konsentrasi dengan bantuan larutan standar *Congo Red*. Sebagai pembanding dibuat juga larutan *Congo Red* yang ditambahkan dengan Zeolit Asal dan diberi perlakuan yang sama, serta dengan TiO₂-Zeolit tanpa radiasi sinar UV.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

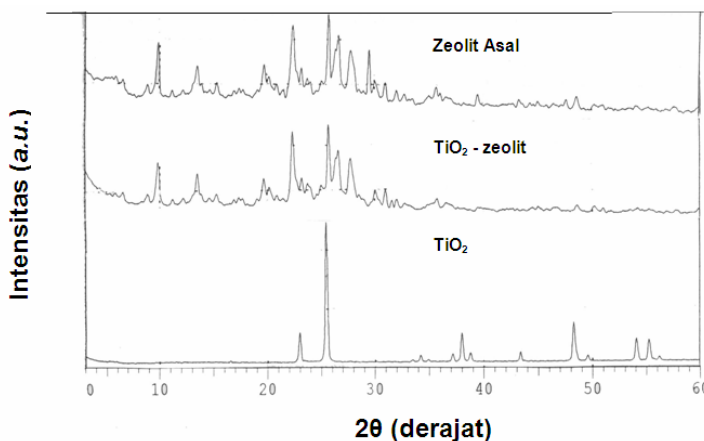
3.1 Preparasi TiO₂-Zeolit

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 TiO₂-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.

3.2 Karakterisasi TiO₂-Zeolit

Pada difraktogram Zeolit Asal 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 diidentifikasi bahwa Zeolit yang digunakan pada penelitian ini adalah jenis mordenit.



Gambar 3. Difraktogram Zeolit Asal, TiO₂-Zeolit, dan kristal TiO₂ (anatase)

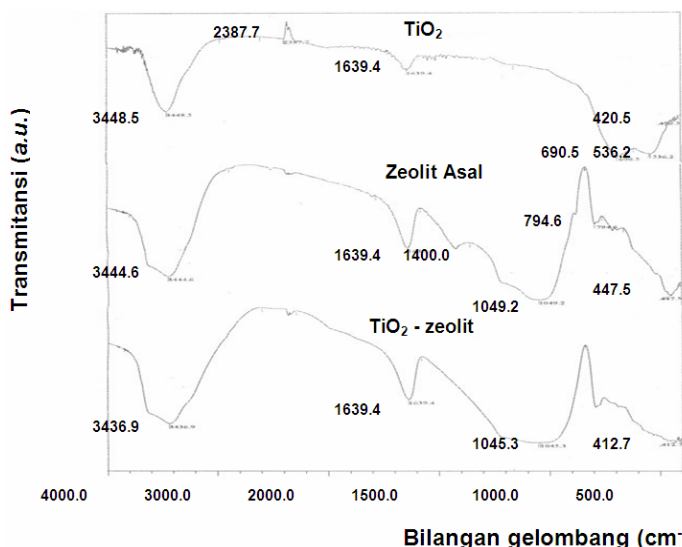
Dari difraktogram TiO₂-Zeolit terlihat adanya penurunan intensitas serapan yang menunjukkan berkurangnya tingkat kekristalan, karena rusaknya struktur Zeolit akibat adanya kalsinasi yang telah dilakukan dengan menggunakan

microwave oven 800 watt selama 5 menit, namun dari difraktogram itu belum dapat diketahui secara pasti apakah TiO₂ telah terbentuk di dalam permukaan internal dan eksternal Zeolit.

Hasil analisis dengan spektroskopi inframerah hanya memberikan informasi mengenai serapan gugus fungsional sehingga secara umum spektra Zeolit Asal dan TiO₂-Zeolit hampir sama. Karakteristik serapan gugus fungsional dari Zeolit Asal, kristal TiO₂ (anatase), dan TiO₂-Zeolit dapat dilihat pada tabel 2.

Tabel 1. Perbandingan serapan gugus fungsional dari Zeolit Asal, Kristal TiO₂ (anatase) dan TiO₂-Zeolit

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



Gambar 4. Spektra IR Zeolit Asal, kristal TiO₂ (anatase), dan TiO₂-Zeolit

Perbandingan serapan karakteristik tersebut disajikan dalam tabel 1. Dari hasil analisis FTIR terlihat bahwa ada penurunan serapan O-H regang pada TiO₂-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 TiO₂-Zeolit menunjukkan adanya serapan bahan organik yang hilang selama proses kalsinasi. 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 pengembunan 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 dari analisis tersebut disajikan pada tabel 2.

Tabel 2. Perbandingan kandungan TiO₂ dalam Zeolit Asal dan dalam TiO₂-Zeolit hasil analisis dengan XRF

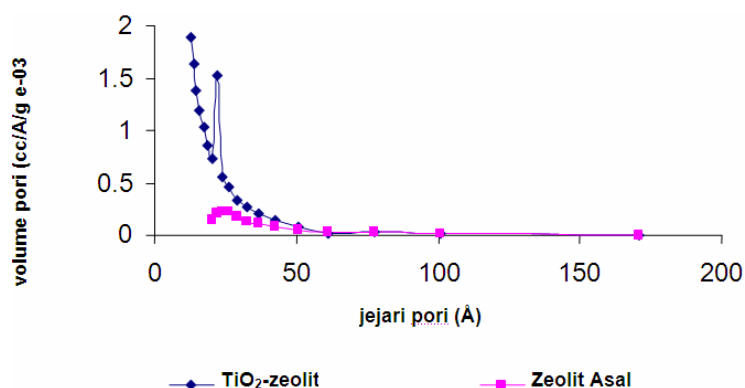
Sampel	Parameter	% (b/b)
Zeolit Asal	TiO ₂	0,22
TiO ₂ -Zeolit	TiO ₂	12,08

Dari tersebut 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.

Tabel 3. Hasil pengukuran luas permukaan spesifik dan volume pori dari Zeolit Asal dan TiO₂-Zeolit

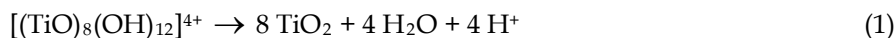
Sampel	Luas permukaan spesifik (m ² /g)	Volume total pori (cc/Å/g)
Zeolit Asal	16,31	13,34
TiO ₂ -Zeolit	100,96	57,54

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 Angstrom) pada TiO₂-Zeolit (gambar 5).

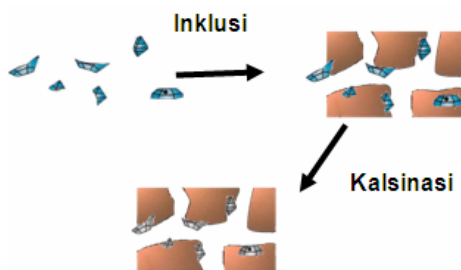


Gambar 5. Grafik distribusi ukuran pori TiO₂-Zeolit dan Zeolit Asal

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 Angstrom) 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 di atas 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.*, 1999³, 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.

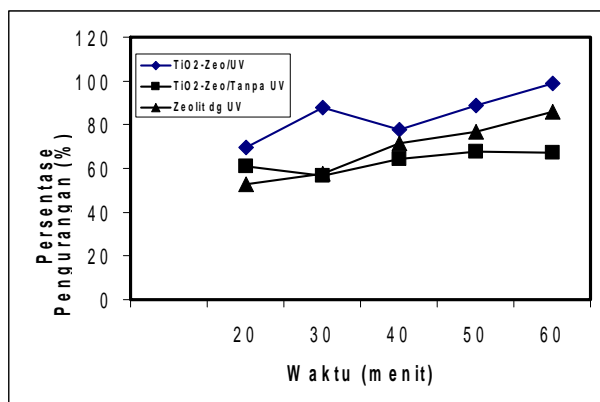


Gambar 6. Ilustrasi visual pembentukan TiO₂ pada Zeolit Asal

3.3 Fotodegradasi Congo Red menggunakan TiO₂-Zeolit sebagai fotokatalis

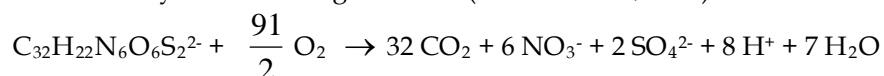
Reaksi fotodegradasi terkatalisis memerlukan empat komponen utama, yaitu: sumber cahaya (foton), senyawa target, oksigen dan fotokatalis. Dalam penelitian ini, sumber cahaya berasal dari lampu sinar UV dengan panjang gelombang 365 nm, senyawa target adalah zat warna *Congo Red* dalam larutan berair,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

Fotodegradasi *Congo Red* 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 *Congo Red*. Penyinaran dilakukan dengan variasi waktu 10, 20, 30, 40, 50, 60 menit untuk mempelajari aktivitas fotokatalitiknya sebagai fungsi waktu. Campuran di saring lalu filtratnya dianalisis dengan spektrofotometer UV pada panjang gelombang maksimumnya. Sebagai komparator dilakukan pencampuran *Congo Red* 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 *Congo Red* teradsorpsi atau kombinasi terdegradasi dan teradsorpsi oleh katalis. Dari pengukuran panjang gelombang (λ) didapatkan bahwa panjang gelombang maksimum untuk larutan *Congo Red* yang sesuai adalah 501 nm.

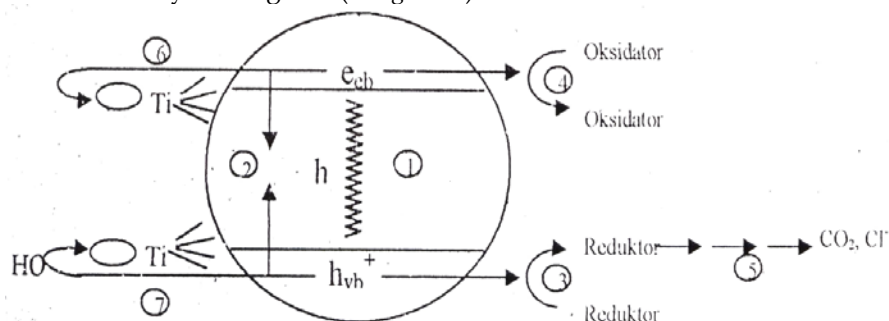
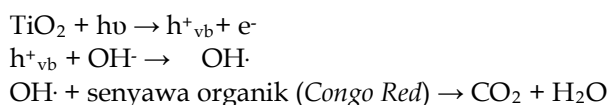


Gambar 7. Grafik persentase pengurangan *Congo Red* lawan t (menit) pada fotodegradasi dengan TiO₂-Zeolit dengan radiasi UV serta adsorpsi dengan TiO₂-Zeolit tanpa UV dan Zeolit Asal dengan radiasi UV.

Degradasi *Congo Red* menggunakan fotokatalis TiO₂-Zeolit terjadi melalui proses adsorpsi *Congo Red* ke permukaan partikel fotokatalis yang secara simultan disertai dengan proses oksidasi fotokatalitik terhadap *Congo Red*. Adapun persamaan reaksinya adalah sebagai berikut (Lachheb *et al.*, 2002):



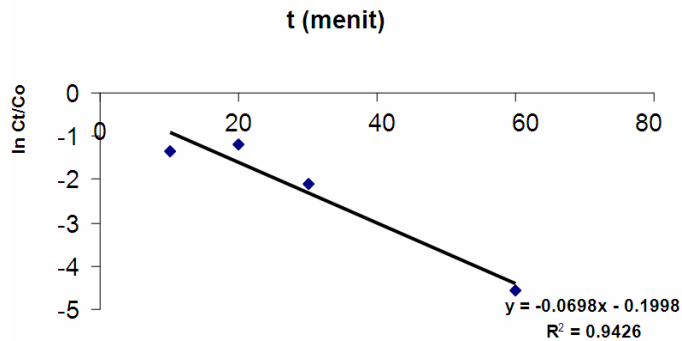
Mekanisme reaksinya dapat dijelaskan sebagai berikut:



Gambar 8. Mekanisme fotokatalis dari TiO₂ (Hoffmann *et al.*, 1995)

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 Lancheb, 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 *Congo Red*. 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 *Congo Red* dalam larutan. Radikal-radikal ini akan terbentuk terus-menerus selama TiO₂-Zeolit masih dikenai radiasi sinar UV dan akan menyerang *Congo Red* yang ada di permukaan katalis sehingga *Congo Red* mengalami degradasi. Jadi dengan bertambahnya radiasi sinar UV maka foton yang mengenai TiO₂-Zeolit akan semakin banyak sehingga *Congo Red* yang terdegradasi akan semakin banyak. Untuk mengetahui orde dan konstanta laju reaksi, dibuat grafik ln Ct/Co lawan waktu radiasi UV.

Konstanta laju reaksi (**k**) dapat ditentukan dari perhitungan *slope* grafik yang disajikan dalam gambar 9, yaitu sebesar 0,0698 menit⁻¹. Nilai laju ini relatif cukup besar sehingga dapat diindikasikan bahwa reaksi fotodegradasi *Congo Red* dengan katalisator TiO₂-Zeolit cukup efektif. Dari penelitian ini sebenarnya belum dapat diketahui produk fotodegradasi, namun dari kajian gambar 5 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, kemungkinan *Congo Red* hanya teradsorpsi saja. Perlu dicatat pula bahwa bagian yang teradsorpsi dari zat warna *Congo Red* adalah bagian negatifnya (anion) sehingga adsorpsi oleh Zeolit berlangsung kurang efektif.



Gambar 9. Grafik $\ln C_t/C_o$ lawan t pada fotodegradasi *Congo Red* Dengan sistem katalis TiO_2 -Zeolit dan radiasi sinar UV.

4. SIMPULAN

Modifikasi Zeolit alam dengan TiO_2 melalui inklusi oligokation titan yang diikuti dengan kalsinasi dapat meningkatkan kandungan Ti sebesar 11,87 % (b/b), luas permukaan spesifik menjadi $100,96 \text{ m}^2/\text{g}$, dan volume pori total menjadi $57,54 \text{ cc}^3/\text{Å}/\text{g}$.

Sistem fotokatalis TiO_2 -Zeolit/ radiasi UV pada panjang gelombang 365 nm cukup efektif digunakan untuk mendegradasi *Congo Red* dengan pengurangan konsentrasi *Congo Red* mencapai sekitar 99% dalam waktu 60 menit dengan konsentrasi TiO_2 -Zeolit sebanyak 50 mg TiO_2 -Zeolit untuk setiap 25 mL *Congo Red* 10^{-4} M .

SARAN

Perlu dilakukan investigasi terhadap produk fotodegradasi sehingga mekanisme reaksi fotodegradasi dan adsorpsi *Congo Red* menggunakan sistem TiO_2 -Zeolit/sinar UV benar-benar diketahui.

Ucapan Terimakasih

Penelitian ini dibiayai oleh Proyek Riset Unggulan Terpadu XIII dengan Nomor Kontrak :08/Perj/Dep III/RUT/PPKI/II/2005 Tanggal 1 Februari 2005.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Corrent, S., Cosa, G., Scaiano, J.C., Galletero, M.S., Alvaro, M., Garcia, H., (1999) *Intrazeolite Photochemistry* .26. *Photophysical Properties of Nanosized TiO_2 Clusters Included in Zeolite Y, B, and Mordenite*, Chem. Mater., 13, 715-722.
- [2] Cotton, F.A., Wilkinson, G., and Gaus, P.L., (1999) *Basic Inorganic Chemistry*, John Wiley and Sons, Inc., New York.
- [3] Ekimov, A.I., Efros, A.I.L. dan Anuchenko, A.A., (1985) *Quantum Size Effect in Semiconductor Microcrystals*, Solid State Communication, 5611,921-1524.

- [4] Fox, M.A., and Dulay, M.T., (1993) *Heterogenous Photocatalysis*, Chem. Rev., 93, 341-357.
- [5] Guisnet, M. and Gilson, J.P., (2002) *Zeolites for Cleaner Technologies*, Imperial College Press, London, 5-8
- [6] Gunlazuardi, J., (2000) *Fotoelektrokatalisis untuk Detoksifikasi Air*, Prosiding, Seminar Nasional Elektrokimia, 1-21.
- [7] Gunlazuardi, J., (2001) *Fotokatalisis Pada Permukaan TiO₂: Aspek Fundamental dan Aplikasinya*, Seminar Nasional Kimia Fisika II, Jakarta, 14-15 Juni.
- [8] Hamdan, H., (1992) *Introduction to Zeolites, Synthesis, Characterization and Modification*, Universiti Teknologi Malaysia, Kuala Lumpur.
- [9] Hariyatun, (2004) *Fotodegradasi Bahan Pewarna Congo Red Menggunakan Oksida Besi Montmorillonit dan Sinar UV*, Skripsi FMIPA Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- [10] Lachheb, H., Puzenat, E., Houas, A., Khisbi, M., Elaloui, E., Guillard, C., and Hermann, J.M., (2002) *Photocatalytic Degradation of Various Types of Dyes (Congo Red, Crocein Orange G, Methyl Red, Congo Red, Methylene Blue) in Water by UV - Irradiated Titania*, Appl.Catal.B.Environ., 39, 75-90.
- [11] Lee, G.D. and Falconer, J.L., (2000) *Transient Measurements of Lattice Oxygen in Photocatalytic Decomposition of Formic Acid on TiO₂*, Catal. Letters, 70, 145-148.
- [12] Long, R.A. and Yang, R.T., (2000) *Catalytic Performance and Characterization of VO₂⁺-Exchange Titania Pillared Clays for Selective Catalytic Reduction of Nitric Oxide with Ammonia*, J. Catal., 196, 73-85.
- [13] Lowell, S., dan Shields, J.E., (1984) *Powder Surface Area and Porosity*, 2nd ed., Chapman and Hall Ltd, London.
- [14] Nogueira, R.F.P., and Jardim, W.F., (1993) *Photodegradation of Methylene Blue Using Solar Light and Semiconductor (TiO₂)*, J.Chem.Ed., 79, 10, 861-862.
- [15] Purnaningrum, Y., (2004) *Preparasi TiO₂/Zeolit dan Aplikasinya untuk Degradasi Fenol*, Skripsi FMIPA Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- [16] Rao, K.V.S., Srivinas, B., Prasad, A.R., and Subrahmanyam, M., (2000) *A Novel One Step Photocatalytic Synthesis of Dihydropyrazine from Ethylenediamine and Propylene Glycol*, Chem.Comm., 1553-1534.
- [17] Takeda, N., Torimoto, T., Yonegama, H., (1999) *Effect of Mordenite Support on Photodegradation of Gaseous Organic Compound over TiO₂ Photocatalyst*, Bull.Chem.Soc.Jpn., 72, 1615-1621.