



dapat diakses melalui <http://ejournal.unsrat.ac.id/index.php/jmuo>



Kinetika Fotodegradasi *Remazol Yellow* Menggunakan Zeolit A Terimpregnasi TiO_2

Suhardi Titdoy ^a, Audy D. Wuntu ^{a*}, Vanda S. Kamu ^a

^aJurusan Kimia, FMIPA, Unsrat, Manado

KATA KUNCI

fotodegradasi
remazol yellow
zeolit A
 TiO_2

ABSTRAK

Telah dilakukan penelitian tentang kinetika fotodegradasi *remazol yellow* dengan menggunakan zeolit A terimpregnasi TiO_2 . Jumlah TiO_2 divariasikan dalam perbandingan berat zeolit A : TiO_2 sebesar 1:0.4, 1:0.6, 1:0.8, 1:1, 1:1.2, dan 1:1.4 g/g. Eksperimen kinetika dilakukan melalui penentuan konsentrasi *remazol yellow* yang tersisa setelah interaksi zeolit A : TiO_2 dengan larutan *remazol yellow* yang disinari UV pada waktu 10, 20, 30, 40, 50, 60, dan 90 menit. Selanjutnya data dianalisis mengikuti model kinetika reaksi orde-1. Hasil penelitian menunjukkan bahwa semakin tinggi jumlah TiO_2 dalam material zeolit A : TiO_2 maka semakin kecil laju fotodegradasi. Perbandingan berat 1:0,4 menghasilkan laju fotodegradasi paling besar dengan konstanta laju sebesar 0,0184 menit⁻¹.

KEYWORDS

photodegradation
remazol yellow
A-type zeolite
 TiO_2

ABSTRACT

A research on photodegradation kinetics of *remazol yellow* using TiO_2 -impregnated A-type zeolite has been done. The amount of TiO_2 was varied in weight ratio of zeolite A : TiO_2 which were 1:0.4, 1:0.6, 1:0.8, 1:1, 1:1.2, and 1:1.4 g/g. Kinetics experiment was performed by determining the concentration of *remazol yellow* remained after the interaction of zeolite A : TiO_2 with *remazol yellow* solution that is illuminated by UV-light at 10, 20, 30, 40, 50, 60 and 90 minutes. Data obtained was analyzed using first-order reaction kinetics model. The results showed that the higher the amount of TiO_2 in the mixture of zeolite A : TiO_2 material, the smaller the rate of photodegradation. The weight ratio of 1:0.4 produced the greatest rate of photodegradation with rate constant of 0.0184 min⁻¹.

TERSEDIA ONLINE

27 Januari 2016

1. Pendahuluan

Industri tekstil dan produk tekstil merupakan salah satu bidang yang sangat berkembang pesat di Indonesia. Seiring dengan berkembangnya industri tekstil, terdapat masalah serius yang sering membawa dampak buruk terhadap lingkungan, khususnya masalah yang diakibatkan oleh limbah cair yang dihasilkan, seperti halnya limbah cair zat warna yang hanya dibuang tanpa adanya proses pengolahan lebih lanjut yang dapat berdampak mencemari lingkungan perairan.

Limbah cair dapat berasal dari proses-proses industri seperti industri metalurgi, industri penyamakan kulit, industri cat dan zat warna tekstil

(Redhana, 1994). Limbah zat warna yang dihasilkan dari industri tekstil biasanya merupakan senyawa organik yang tidak mengalami biodegradasi dan dapat menyebabkan pencemaran lingkungan terutama lingkungan perairan (Wijaya *et al.*, 2006).

Zat warna juga merupakan senyawa organik yang mengandung gugus kromofor terkonjugasi. Zat warna reaktif merupakan zat warna yang banyak digunakan untuk pewarnaan tekstil, contohnya *remazol brilliant orange 3R*, *remazol yellow*, *remazol red*, dan *remazol black B*. Zat-zat warna tersebut sering digunakan untuk proses pewarnaan batik baik dalam skala industri besar maupun industri rumahan (Nugroho *et al.*, 2013). *Remazol yellow* mewakili salah satu zat warna pilihan dalam

*Corresponding author: Jurusan Kimia FMIPA UNSRAT, Jl. Kampus Unsrat, Manado, Indonesia 95115; Email address: wuntudenny@yahoo.com

pewarnaan batik karena memberikan warna yang cerah dan tidak mudah luntur (Qodri, 2011).

Salah satu metode yang relatif murah dan mudah diterapkan adalah fotodegradasi. Metode fotodegradasi merupakan metode yang efektif karena diketahui dapat menguraikan senyawa zat warna menjadi senyawa yang tidak berbahaya seperti H₂O dan CO₂ (Slamet *et al.*, 2006). Metode fotodegradasi dapat dilakukan dengan menggunakan katalis berupa semikonduktor. Katalis semikonduktor yang sering digunakan adalah TiO₂, ZnO, CdS dan Fe₂O₃. TiO₂ adalah katalis semikonduktor yang paling efektif karena mempunyai celah energi relatif besar (3,2 eV) yang cocok digunakan sebagai fotokatalis, tidak beracun, harganya terjangkau dan melimpah di alam (Joshi dan Shirivasta, 2010). Fotokatalisis TiO₂ kurang maksimal jika digunakan dalam keadaan murni karena mempunyai luas permukaan yang relatif rendah. Dengan demikian maka TiO₂ perlu diimpregnasi pada suatu adsorben (Slamet *et al.*, 2008).

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan Andarini (2012) dan Ramadhana (2013), aktivitas fotokatalis TiO₂ dapat ditingkatkan melalui impregnasi pada material pendukung seperti adsorben. Salah satu adsorben yang sering digunakan adalah zeolit alam dengan material TiO₂ terimpregnasi pada zeolit alam yang menghasilkan adsorben yang dapat menyerap sekaligus mampu menguraikan zat warna seperti *methyl orange*. Penelitian yang dilakukan oleh Damayanti (2014) menunjukkan bahwa konsentrasi TiO₂ terimpregnasi dalam zeolit berpengaruh terhadap laju degradasi zat warna *methylene blue* dan efektif digunakan kembali untuk beberapa kali pemakaian dalam proses fotodegradasi.

Pada penelitian ini digunakan zeolit A sintetik yang diimpregnasi dengan TiO₂. (Poluakan, *et al.*, 2015) sebelumnya telah menggunakan arang aktif yang di impregnasi dengan TiO₂ sedangkan (Tumbel, *et al.*, 2015) telah menggunakan zeolit A terimpregnasi TiO₂ untuk mendegradasi *remazol yellow*. Meskipun demikian, pada penelitian tersebut belum diuji laju fotodegradasi *remazol yellow* dengan menggunakan zeolit A terimpregnasi TiO₂. Pada penelitian ini ditentukan pengaruh perbandingan berat zeolit A / TiO₂ pada laju fotodegradasi *remazol yellow* oleh zeolit A terimpregnasi TiO₂.

2. Material dan Metode

2.1. Bahan dan Alat

Peralatan yang digunakan adalah spektrofotometer UV-Vis (Shimadzu UV-1800), lampu UV - A (Himawari T8 - 20 W), sentrifus (Gemmy PLC- 025), timbangan analitik (Adam PW 254), alat-alat gelas (Iwaki Pyrex). Bahan-bahan

yang digunakan adalah zat warna *remazol yellow*, titanium dioksida, zeolit A dan akuades.

2.2. Prosedur

Material zeolit A dipreparasi mengikuti prosedur yang dikemukakan oleh Wuntu (2002) dan impregnasi TiO₂ pada zeolit dikerjakan mengikuti prosedur yang dikemukakan oleh Andari dan Wardhani (2014). Zat warna dalam medium berukuran 500 mL dibuat dalam konsentrasi 40 ppm, kemudian larutan zat warna tersebut di ambil 20 mL dan dimasukkan ke dalam beberapa botol serum yang telah disiapkan. Selanjutnya material dengan perbandingan zeolit A - TiO₂ (1:0,4) ditimbang sebanyak 0,05 gram lalu dimasukkan ke dalam masing-masing medium, dan diletakkan ke dalam reaktor dan diberi sumber sinar dari lampu UV dengan variasi waktu lama penyinaran yaitu 10, 20, 30, 40, 50, 60, 90 menit. Setelah itu dilakukan penyaringan dan filtrat disentrifugasi selama 30 menit dengan kecepatan putaran 3200 rpm. Konsentrasi zat warna dalam larutan setelah sentrifugasi selanjutnya dianalisis dengan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang 414 nm (panjang gelombang di mana zat warna *remazol yellow* menghasilkan adsorbans paling besar). Prosedur yang sama dilakukan untuk zeolit A : TiO₂ dengan perbandingan 1:0,6; 1:0,8; 1:1; 1:1,2; dan 1:1,4. Data yang diperoleh selanjutnya dianalisis menggunakan model kinetika reaksi order ke-satu untuk menentukan konstanta laju :

$$C_t = C_0 e^{-kt} \text{ atau } \ln(C_t/C_0) = -kt$$

dengan C_t adalah konsentrasi zat warna yang tersisa pada waktu t , C_0 adalah konsentrasi awal zat warna, dan k adalah konstanta laju reaksi. Dengan membuat kurva $-\ln(C_t/C_0)$ vs. t maka dapat ditentukan kemiringan kurva yang merepresentasikan konstanta laju reaksi, k .

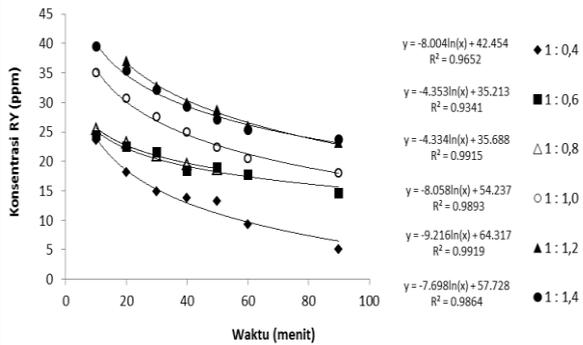
3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Pengaruh material zeolit A - TiO₂ pada konsentrasi *remazol yellow*

Penggunaan material zeolit A - TiO₂ dengan berbagai perbandingan zeolit A / TiO₂ pada larutan zat warna *remazol yellow* yang diradiasi ultraviolet menyebabkan terjadinya penurunan konsentrasi zat warna (Gambar 1). Data penurunan konsentrasi *remazol yellow* menunjukkan kesesuaian paling tinggi dengan kecenderungan penurunan konsentrasi yang mengikuti regresi logaritmik. Regresi logaritmik merupakan bentuk regresi yang menggambarkan laju perubahan data yang tidak konstan tapi mengalami kenaikan atau penurunan dengan cepat dan kemudian melambat yang ditandai dengan bentuk kurva mendekati datar.

Pada Gambar 1 terlihat bahwa pada setiap waktu pengukuran tertentu, material zeolit A - TiO₂ dengan perbandingan berat zeolit A / TiO₂ 1:0,4 memberikan penurunan konsentrasi *remazol yellow* paling besar. Material yang mengandung TiO₂ dalam

jumlah paling banyak, yaitu pada perbandingan berat 1:1,2 dan 1:1,4 menghasilkan penurunan konsentrasi *remazol yellow* paling kecil. Berkurangnya kemampuan fotodegradasi dengan bertambahnya jumlah TiO₂ dalam material zeolit A – TiO₂ berkaitan dengan luas permukaan spesifik dan volume total pori zeolit. Luas permukaan spesifik adalah total luas permukaan per satuan massa atau volume material adsorben zeolit. Dalam penelitiannya, Fatimah dan Wijaya (2005) mengemukakan bahwa luas permukaan spesifik material merupakan salah satu faktor yang mempengaruhi fotoaktivitas material zeolit-TiO₂ terkait dengan distribusi TiO₂ dalam material tersebut. Fatimah et al. (2006) kemudian menunjukkan bahwa penambahan TiO₂ ke dalam struktur zeolit alam menyebabkan terjadinya penurunan luas permukaan spesifik dan volume total pori zeolit. Selanjutnya dikemukakan bahwa hal tersebut dapat disebabkan oleh terjadinya penggumpalan atau penggabungan partikel-partikel TiO₂ dan terjadinya penutupan pori zeolit oleh partikel TiO₂. Semakin banyak jumlah TiO₂ maka semakin besar kemungkinan terjadinya penggumpalan dan penutupan pori zeolit oleh TiO₂.



Gambar 1. Penurunan konsentrasi zat warna *remazol yellow* oleh zeolit A terimpregnasi TiO₂ dengan perbandingan berat zeolit A / TiO₂ antara 1:0,4 hingga 1:1,4 selama periode waktu 10 hingga 90 menit

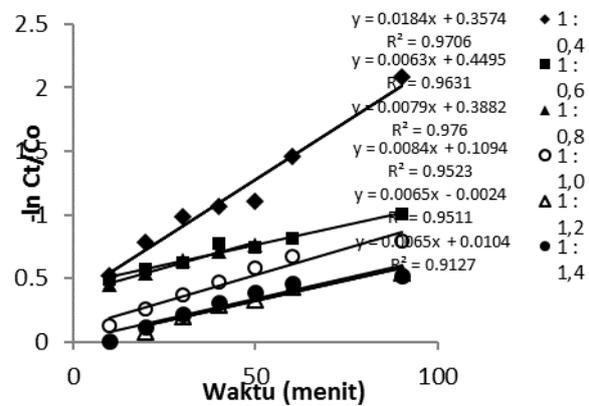
Pada material zeolit A – TiO₂ terjadi dua proses utama, yaitu adsorpsi yang menyebabkan terikatnya zat warna pada permukaan zeolit dan kemudian diikuti dengan degradasi zat warna pada permukaan zeolit oleh TiO₂ yang diimpregnasi pada zeolit. Berkurangnya luas permukaan spesifik pada zeolit dapat menyebabkan berkurangnya jumlah zat warna yang dapat diadsorpsi pada permukaan zeolit dan pada gilirannya menurunkan jumlah zat warna yang dapat didegradasi oleh TiO₂.

3.2. Kinetika fotodegradasi *remazol yellow*

Data yang diperoleh selanjutnya dianalisis menggunakan model kinetika reaksi order ke-satu dengan membuat regresi linear $-\ln(C_t/C_0)$ vs. t (Gambar 2) di mana C_t adalah konsentrasi zat warna pada waktu t, C₀ adalah konsentrasi zat warna

sebelum fotodegradasi, sedangkan nilai konstanta laju reaksi, k, dapat diperoleh dari nilai kemiringan (*slope*) pada persamaan linear tersebut.

Gambar 2 menunjukkan bahwa konstanta laju fotodegradasi semakin kecil dengan naiknya jumlah TiO₂ dalam material zeolit A – TiO₂. Laju fotodegradasi paling cepat terjadi pada penggunaan material zeolit A – TiO₂ dengan perbandingan berat zeolit A / TiO₂ 1:0,4 yang memberikan nilai konstanta laju, k, paling besar (0,0184 menit⁻¹). Material dengan perbandingan berat zeolit A / TiO₂ 1:1,2 dan 1:1,4 menghasilkan laju fotodegradasi paling lambat dengan nilai konstanta laju, k, yang sama yaitu 0,0065 menit⁻¹.

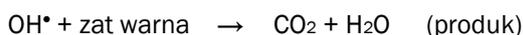


Gambar 1. Plot $-\ln(C_t/C_0)$ vs. t untuk fotodegradasi *remazol yellow* menggunakan beberapa perbandingan berat zeolit A / TiO₂

Penelitian Chen dan Ray (1998) mengenai fotodegradasi 4-nitrofenol dalam suspensi TiO₂ menunjukkan bahwa nilai konstanta laju reaksi semakin besar dengan naiknya konsentrasi TiO₂ sampai pada nilai tertentu, namun pada konsentrasi TiO₂ yang tinggi terjadi penurunan konstanta laju reaksi. Penurunan laju reaksi pada kasus ini juga dapat terjadi karena pada konsentrasi tinggi terbentuk agregat TiO₂ yang menghambat fotodegradasi.

Telah diketahui bahwa saat TiO₂ disinari radiasi dengan panjang gelombang $\lambda < 380$ nm dalam medium air yang mengandung oksigen terlarut dan senyawa organik, maka senyawa organik akan mengalami fotodegradasi. Tahap pertama dalam proses fotodegradasi adalah pelepasan elektron (e⁻) dari pita valensi yang berpindah ke pita konduksi sehingga meninggalkan "lubang" bermuatan positif (h⁺). Dengan adanya oksigen terlarut dan suatu donor elektron, maka terbentuk radikal OH[•] melalui reaksi antara h⁺ dengan gugus OH⁻ atau molekul air di permukaan TiO₂. Di lain pihak, e⁻ yang ada di pita konduksi dapat bereaksi dengan O₂ terlarut membentuk ion superoksida O₂⁻. Radikal OH[•] yang terbentuk selanjutnya akan mengoksidasi zat warna.





Selama TiO_2 menerima radiasi tersebut, elektron akan terus tereksitasi dan fotodegradasi akan terus berlangsung. Dengan terjadinya agregasi atau penggumpalan TiO_2 maka jumlah TiO_2 yang menerima radiasi menjadi lebih sedikit sehingga lebih sedikit elektron terlepas dan lebih sedikit "lubang" positif yang terbentuk. Faktor ini, dikombinasikan dengan terjadinya penurunan luas permukaan dan total pori zeolit akibat agregasi TiO_2 dapat menyebabkan penurunan laju fotodegradasi zat warna.

4. Kesimpulan

Material zeolit A - TiO_2 dapat digunakan sebagai agen fotodegradasi untuk menurunkan konsentrasi zat warna *remazol yellow* dalam larutan dengan pelarut air. Konsentrasi *remazol yellow* yang tersisa dalam larutan setelah radiasi ultraviolet sebagai fungsi waktu fotodegradasi memperlihatkan kecenderungan penurunan secara logaritmik di mana fotodegradasi pada awalnya terjadi secara cepat kemudian diikuti penurunan laju fotodegradasi. Pada kisaran perbandingan berat zeolit A / TiO_2 antara 1:0,4 hingga 1:1,4, semakin besar jumlah TiO_2 dalam material semakin lambat laju fotodegradasi *remazol yellow*. Perbandingan berat zeolit A / TiO_2 1:0,4 menghasilkan laju fotodegradasi paling besar.

Daftar Pustaka

- Andari, D.N., dan S. Wardhani. 2014. Fotokatalis TiO_2 - Zeolit Untuk Degradasi Metilen Biru. *Chem.Prog.* **1**:9-14.
- Chen D., Ray A. K. 1998. *Photodegradation Kinetics of 4-Nitrofenol in TiO_2 Suspension*. Departement of Chemical Engineering. National University of Singapore. Vol.32. No.11. pp. 3223-3234.
- Damayanti, C., A., Wardhani, S., dan Purwonugroho, D. 2014. *Pengaruh Konsentrasi TiO_2 Dalam Zeolit Terhadap Degradasi Methylene Blue Secara Fotokatalitik*. *Kimia Student Jurnal* **1** (1) : 8-14
- Fatimah, I. dan Huda, T., *Sintesis Dan Aplikasi Montmorillonit Termodifikasi TiO_2 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.
- Nugroho, S., A.T. Prasetya, dan S. Wahyuni. 2013. Elektrodegradasi Indigosol Golden Yellow IRK Dalam Limbah Batik Dengan Elektoda Grafit. *Indonesian Journal of Chemical Science.* **3**:248-252.
- Qodri, A.A. 2011. Fotodegradasi Zat Warna Remazol Yellow Dengan Fotokatalis Komposit TiO_2/SiO_2 [skripsi]. FMIPA UNS, Surakarta.
- Redhana, I.W. 1994. *Penentuan Isoterm Adsorpsi Amonia dalam Larutan Air oleh Karbon Aktif pada Suhu Kamar*. Laporan Penelitian. Program Pra-S2 Kimia, Pasca Sarjana, ITB, Bandung .
- Slamet, Ellyana, M., Bismo, S. 2008. *Modifikasi Zeolit Alam Lapung dengan Fotokatalis TiO_2 Melalui Metode Sol Gel dan Aplikasinya untuk Penyisihan Fenol*. Departemen Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia.
- Wijaya, K. 2006. Utilisasi TiO_2 dan Sinar UV untuk Fotodegradasi Zat Warna Congo Red. *TEKNOIN.* **11**(3) :199-209.
- Wuntu, A.D. 2002. Sintesis dan Karakterisasi Aluminosilikat Serupa Zeolit. *Jurnal Ilmiah Sains.* **2**:4-7.