

## FOTODEGRADASI METILEN BIRU DENGAN SINAR ULTRAVIOLET DAN KATALIS ZnO

N. P. Diantariani\*, I. A. G. Widihati, dan I G. A. A. Ratih Megasari

*Jurusan Kimia FMIPA Universitas Udayana, Bukit Jimbara*

*\*email : diantariani@kimia.unud.ac.id*

### ABSTRAK

Telah dilakukan penelitian mengenai fotodegradasi metilen biru dengan sinar ultra violet dan katalis ZnO. Penelitian ini meliputi penentuan jumlah ZnO optimum dengan radiasi sinar ultra violet dan tanpa radiasi sinar ultra violet, pH optimum, waktu radiasi optimum, dan penentuan efektivitas fotodegradasi pada kondisi optimum.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa persentase degradasi metilen biru sangat dipengaruhi oleh jumlah katalis ZnO, pH larutan metilen biru dan waktu radiasi sinar UV. Dalam penelitian ini, jumlah ZnO optimum untuk mendegradasi metilen biru dengan diradiasi sinar ultra violet adalah 40 mg, sedangkan degradasi metilen biru tanpa diradiasi sinar ultra violet adalah 50 mg. pH optimum fotodegradasi metilen biru terjadi pada pH 12 dan waktu radiasi sinar UV optimum adalah 5 jam. Efektivitas fotodegradasi metilen biru pada kondisi optimum sebesar  $(94,67 \pm 0,35) \%$ .

Kata kunci: Fotodegradasi, Metilen Biru, Katalis ZnO

### ABSTRACT

Study on photodegradation methylene blue with ultra violet light and catalyst ZnO has been carried out. This study include determination of quantity of catalyst ZnO optimum with radiation and without radiation, the optimum of pH, the optimum UV light radiation time, and the effectivity of photodegradation at optimum condition.

The results of the research showed that percentage of degradation highly influence by the quantity of catalyst, pH of the methylene blue solution, and time of ultra violet radiation. In this study, quantity of catalyst ZnO optimum of degradation methylene blue with UV light radiation was 40 mg, whereas degradation methylene blue without UV light radiation was 50 mg. The optimum pH of fotodegradation methylene blue occurs at pH 12 and the optimum UV light radiation time was 5 hours. The effectivity photodegradation methylene blue at optimum condition was  $(94,67 \pm 0,35) \%$ .

Keywords: Photodegradation, Methylene Blue, Catalyst ZnO

### PENDAHULUAN

Saat ini industri tekstil banyak menggunakan zat warna dasar dalam proses pewarnaan. Di antara berbagai jenis zat warna yang ada, metilen biru merupakan zat warna *thiazine* yang paling banyak digunakan dalam proses pewarnaan pada industri tekstil. Penggunaan zat warna sintesis seperti metilen biru oleh industri tekstil dalam jumlah yang besar menyebabkan limbah zat warna sebagai limbah

industri tekstil sangat potensial mencemari lingkungan perairan. Penanganan limbah tekstil sangat rumit dan memerlukan beberapa langkah sampai limbah tersebut benar-benar aman untuk dilepas ke lingkungan perairan (Wijaya, dkk., 2006).

Salah satu metode yang sedang dikembangkan untuk penanganan limbah zat warna tekstil adalah metode fotodegradasi dengan menggunakan bahan fotokatalis dan radiasi sinar ultraviolet. Zat warna tekstil ditambahkan bahan

fotokatalis dan disinari sinar ultraviolet akan diuraikan menjadi komponen-komponen yang lebih sederhana sehingga aman bagi lingkungan (Wijaya, dkk., 2006).

Bahan fotokatalis yang digunakan dalam metode fotodegradasi merupakan suatu semikonduktor, seperti :  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{ZnO}$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , dan lain-lain. Suatu bahan fotokatalis harus mampu menyerap sinar UV yang lebih banyak, sehingga dihasilkan elektron dan *hole* dalam jumlah yang banyak. *Hole* merupakan lubang positif yang disebabkan oleh perpindahan elektron. Elektron dan *hole* merupakan spesies terpenting yang terlibat dalam proses fotodegradasi. Saat ini penggunaan  $\text{TiO}_2$  sebagai bahan fotokatalis dalam proses fotodegradasi zat warna telah banyak dilakukan. Persentase degradasi yang diperoleh menunjukkan  $\text{TiO}_2$  sangat efektif mendegradasi zat warna. Hasil penelitian Ali and Siew (2008) tentang fotodegradasi zat warna *New Methylene Blue N* yang menggunakan  $\text{ZnO}$  (seng oksida) dan  $\text{TiO}_2$  (titanium dioksida) sebagai fotokatalis dengan perbandingan (17 : 3) dihasilkan persentase degradasi zat warna sebesar 96, 97%. Perbandingan kedua fotokatalis tersebut merupakan perbandingan  $\text{ZnO}$  dan  $\text{TiO}_2$  yang paling optimum. Hussein (2007) dalam Attia, *et al.*, 2007 juga menyatakan bahwa,  $\text{ZnO}$  merupakan fotokatalis yang bagus untuk proses fotodegradasi limbah zat warna.  $\text{ZnO}$  yang juga merupakan salah satu bahan fotokatalis dipandang sebagai alternatif yang tepat untuk menggantikan  $\text{TiO}_2$ , karena memiliki kesamaan mekanisme fotodegradasi ( Ali and Siew, 2008). Fotokatalis  $\text{ZnO}$  juga memiliki berbagai keunggulan antara lain memiliki *band gap* yang lebar yaitu 3,17 eV (Ali and Siew, 2006; Attia, 2008), murah dan memiliki aktivitas fotokatalitik tinggi (Sakthivel, *et al.*, 2003).

Dalam proses fotodegradasi pH memiliki peran penting dalam mengkarakterisasi jenis limbah zat warna tekstil dan menghasilkan radikal hidroksi. Jumlah radikal hidroksi yang semakin meningkat menyebabkan semakin banyak zat warna yang terdegradasi. Oleh karena itu, pengaruh pH dalam proses fotodegradasi limbah tekstil perlu dipelajari ( Ali and Siew, 2008; A.S. Stasinakis, 2008; Abdollahi, 2011; Abdollahi *et al.*, 2011). Jumlah katalis  $\text{ZnO}$  yang digunakan juga mempengaruhi jumlah radikal hidroksi yang

dihasilkan dalam proses fotodegradasi (Abdollahi, 2011; Abdollahi *et al.*, 2011, A.S. Stasinakis, 2008; Ping-feng *et al.*, 2008). Hal lain yang perlu dipelajari pada proses fotodegradasi adalah waktu radiasi oleh sinar UV, karena waktu radiasi juga berpengaruh terhadap hasil degradasi (A.S. Stasinakis, 2008).

Berdasarkan latar belakang di atas, maka dilakukan penelitian tentang fotodegradasi zat warna metilen biru dengan bantuan sinar UV dan katalis  $\text{ZnO}$ . Dalam penelitian ini dipelajari kondisi optimum dari proses fotodegradasi metilen biru seperti jumlah fotokatalis seng oksida ( $\text{ZnO}$ ), pH dan efektivitas fotodegradasi.

## MATERI DAN METODE

### Bahan

Bahan-bahan yang diperlukan dalam pelaksanaan penelitian ini adalah sebagai berikut: zat warna metilen biru, seng oksida ( $\text{ZnO}$ ), natrium hidroksida ( $\text{NaOH}$ ), asam klorida ( $\text{HCl}$ ), akuades dan kertas saring *Whatman 42*.

### Peralatan

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah : alat-alat gelas, timbangan analitik, pH meter, pengaduk magnetik, *hot plate*, kotak radiasi, plastik hitam, lampu UV merk Philips TUV 15W G15 T8, penyaring vakum dan spektrofotometer UV-Vis 1601 Shimadzu.

### Cara Kerja

#### *Penentuan Katalis $\text{ZnO}$ optimum Fotodegradasi Metilen Biru*

Penentuan  $\text{ZnO}$  optimum dilakukan dengan menambahkan  $\text{ZnO}$  dengan jumlah bervariasi 0, 10, 30, 40 dan 50 mg ke dalam 50 mL larutan metilen biru 50 ppm. Suspensi diradiasi dengan lampu ultraviolet (uv) selama 5 jam sambil diaduk dengan pengaduk magnetik. Kontrol diberi perlakuan yang sama, tetapi tanpa diradiasi dengan lampu ultraviolet. Setelah radiasi, suspensi disaring dan filtratnya diukur absorbansinya dengan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang maksimum metilen biru. Selanjutnya dihitung nilai persentase degradasi untuk masing-masing perlakuan.

### ***Penentuan pH Optimum Fotodegradasi Metilen Biru***

Sepuluh buah gelas beker 100 mL masing-masing diisi dengan 50 mL larutan metilen biru 50 ppm dan sejumlah ZnO optimum, dan diatur pHnya dengan nilai yang berbeda yaitu pH 3, 4, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12 dan 13 dengan menambahkan larutan HCl atau NaOH. Suspensi diradiasi dengan sinar ultraviolet selama 5 jam sambil diaduk dengan pengaduk magnetik. Setelah radiasi, suspensi disaring dan filtratnya diukur absorbansinya dengan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang maksimum metilen biru. Selanjutnya dihitung nilai persentase degradasi untuk masing-masing perlakuan.

### ***Penentuan Waktu Optimum Fotodegradasi Metilen Biru***

Tujuh buah gelas beker 100 mL masing-masing diisi dengan 50 mL larutan metilen biru 50 ppm, sejumlah ZnO optimum dan diatur pH pada pH optimum. Suspensi diradiasi dengan sinar ultraviolet masing-masing selama 0,5; 1; 2; 3; 4; 5; dan 6 jam sambil diaduk dengan pengaduk magnetik. Setelah radiasi, suspensi disaring dan filtratnya diukur absorbansinya dengan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang maksimum metilen biru. Selanjutnya dihitung nilai persentase degradasi untuk masing-masing perlakuan.

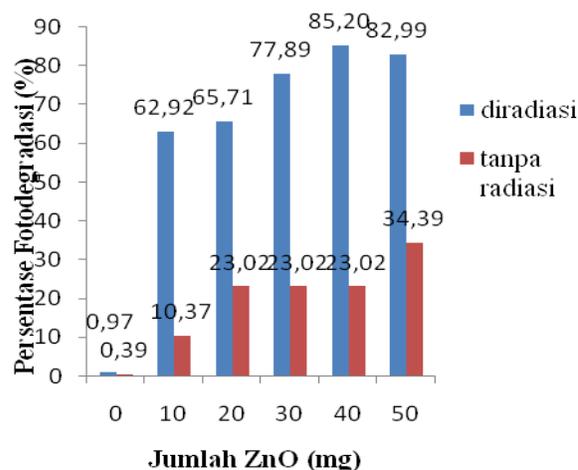
### ***Penentuan Efektivitas Fotodegradasi Metilen Biru***

Tiga buah gelas beker 100 mL masing-masing diisi dengan 50 mL larutan metilen biru 50 ppm, sejumlah ZnO optimum, dan larutan diatur pada pH optimum. Suspensi diradiasi dengan sinar ultraviolet selama waktu optimum sambil diaduk dengan pengaduk magnetik. Setelah radiasi, suspensi disaring dan filtratnya diukur absorbansinya dengan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang maksimum metilen biru. Selanjutnya dihitung nilai persentase degradasi untuk masing-masing perlakuan.

## **HASIL DAN PEMBAHASAN**

### **Jumlah Katalis ZnO Optimum pada Fotodegradasi Metilen Biru**

Jumlah ZnO optimum dalam proses fotodegradasi metilen biru dengan dan tanpa radiasi sinar ultra violet diperlihatkan dalam Gambar 1.



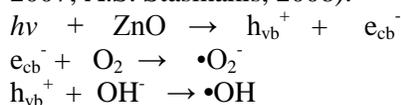
Gambar 1. Grafik jumlah katalis ZnO (mg) terhadap persentase fotodegradasi metilen biru (%) dengan diradiasi sinar ultra violet dan tanpa radiasi sinar ultra violet

Gambar 1 memperlihatkan bahwa persentase fotodegradasi metilen biru yang diradiasi sinar ultraviolet lebih besar dibandingkan dengan yang tidak diradiasi sinar ultraviolet. Metilen biru yang diradiasi sinar ultra violet tanpa penambahan katalis ZnO memiliki persentase fotodegradasi yang kecil yaitu 0,97 %, sedangkan metilen biru tanpa radiasi dan tanpa penambahan ZnO memiliki persentase degradasi yang lebih kecil yaitu 0,39 %. Hal ini membuktikan bahwa radiasi sinar UV berpengaruh terhadap persentase degradasi metilen biru. Sinar UV mampu mendegradasi metilen biru walaupun dalam jumlah yang kecil dikarenakan sifat yang dimiliki sinar UV yang mampu mengubah struktur dari bahan kimia.

Persentase degradasi dari larutan metilen biru semakin naik seiring dengan kenaikan jumlah ZnO hingga jumlah optimumnya yaitu 40 mg. Hal ini menunjukkan bahwa dengan adanya radiasi sinar UV dan semakin bertambahnya jumlah ZnO, proses terbentuknya radikal hidroksida dan ion superoksida semakin cepat dan jumlah yang

terbentuk semakin meningkat (Abdollahi, 2011; Abdollahi *et. al.*, 2011).

Secara umum proses fotodegradasi diawali oleh radiasi sinar UV terhadap ZnO sehingga elektron pada ZnO tereksitasi dari pita valensi ke pita konduksi, dan meninggalkan *hole* pada pita valensi ( $h_{vb}^+$ ). Selanjutnya elektron pada pita konduksi ( $e_{cb}^-$ ) bereaksi dengan oksigen membentuk ion radikal superoksida, sedangkan *hole* pada pita valensi bereaksi dengan ion hidroksi ( $OH^-$ ) membentuk radikal hidroksida ( $\cdot OH$ ). Mekanisme reaksi secara umum yaitu (Attia *et al.*, 2007; A.S. Stasinakis, 2008):



Radikal hidroksida merupakan oksidator yang sangat kuat dengan potensial oksidasi 2,33V yang memberikan kecepatan oksidasi yang lebih cepat daripada  $H_2O_2$  atau  $KMnO_4$  (A.S. Stasinakis, 2008). Radikal hidroksida yang terbentuk dengan mudah menyerang molekul organik yang terserap atau berada di dekat permukaan katalis ZnO dan selanjutnya terdegradasi menjadi molekul dengan ukuran yang lebih kecil (Gonçalves *et. al.*, 2005).

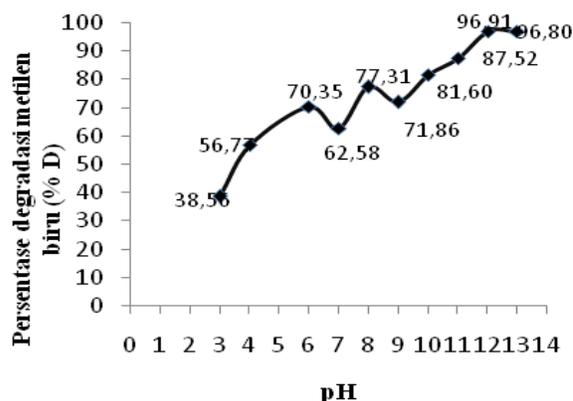
Pada penambahan jumlah ZnO yang lebih besar dari kondisi optimumnya yaitu 40 mg proses fotodegradasi metilen biru menjadi kurang efektif, persentase degradasi tidak mengalami peningkatan bahkan mengalami sedikit penurunan. Keadaan ini menunjukkan bahwa di atas jumlah optimumnya ZnO sebagai fotokatalis mulai tidak efektif membentuk radikal hidroksida yang berperan penting dalam proses fotodegradasi. Hal ini kemungkinan disebabkan oleh terhalangkan radiasi sinar uv mengenai permukaan katalis ZnO akibat dari jumlah katalis yang terlalu banyak.

Sementara persentase degradasi (%D) metilen biru tanpa radiasi sinar UV semakin besar seiring dengan kenaikan jumlah ZnO. Akan tetapi, persentase degradasi yang dihasilkan lebih kecil dibandingkan persentase degradasi dengan radiasi sinar UV. Hal ini disebabkan oleh tidak adanya energi yang berupa foton dari lampu UV yang mengenai ZnO, sehingga ZnO tidak efektif membentuk radikal hidroksida. Hal yang sama ditemukan oleh Wijaya, dkk., (2006) yang mendegradasi zat warna *congo red* dengan sinar UV dan penambahan fotokatalis  $TiO_2$ , yaitu persentase degradasi *congo red* dengan radiasi

sinar UV lebih besar dibandingkan tanpa radiasi sinar UV.

### pH Optimum Fotodegradasi Metilen Biru

Pengaruh pH larutan metilen biru terhadap persentase degradasi diperlihatkan pada Gambar 2. Persentase degradasi (%D) terbesar pada pH 12 sebesar 96,91 %. Semakin tinggi nilai pH semakin banyak terbentuk ion  $OH^-$ . Tingginya jumlah ion  $OH^-$  akan meningkatkan jumlah radikal hidroksi ( $\cdot OH$ ) yang terbentuk melalui proses oksidasi ion  $OH^-$  oleh *hole*. Semakin banyak radikal hidroksi yang terbentuk mengakibatkan semakin banyak metilen biru yang terdegradasi (Qourzal *et. al.* 2009).

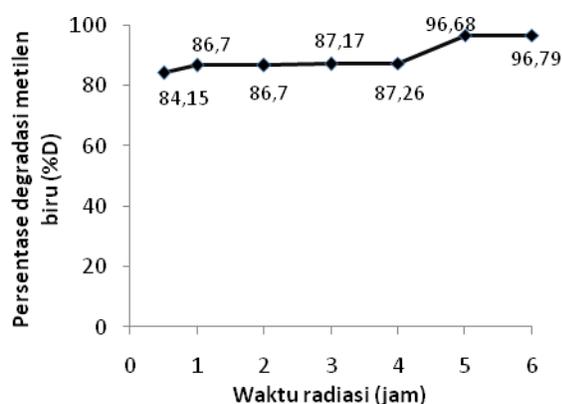


Gambar 2. Kurva hubungan antara pH dengan persentase degradasi (%D) dari larutan metilen biru 50 ppm

Selain itu, secara teori permukaan ZnO di atas pH 9 (kondisi alkali) bermuatan negatif sehingga zat warna yang bermuatan positif akan lebih mudah teradsorpsi pada permukaan ZnO pada kondisi alkali (Ali and Siew, 2008; Lachheb *et. al.*, 2002). Metilen biru yang merupakan salah satu zat warna yang bermuatan positif (kation) dalam penelitian ini terdegradasi dengan persentase degradasi terbesar pada kondisi alkali yaitu pada pH 12. Keadaan ini menunjukkan bahwa fotodegradasi metilen biru pada kondisi alkali efektif., Hasil penelitian yang dilakukan oleh Madhu *et. al.* (2007) juga memperlihatkan bahwa persentase degradasi semakin besar dengan kenaikan pH larutan.

Gambar 2 di atas memperlihatkan bahwa pada pH 13 terjadi penurunan persentase degradasi. Hal ini mungkin disebabkan oleh ion OH<sup>-</sup> berlebih yang ditambahkan menutupi permukaan ZnO, sehingga ZnO tidak maksimal terkena oleh foton. Keadaan ini akan menyebabkan produksi *hole* dan elektron semakin sedikit, sehingga *hole* ( $h_{vb}^+$ ) yang dihasilkan tidak mencukupi untuk bereaksi dengan OH<sup>-</sup> untuk menghasilkan ·OH, yang nantinya mengoksidasi metilen biru.

### Waktu Optimum Fotodegradasi Metilen Biru



Gambar 3. Kurva hubungan antara waktu radiasi sinar ultraviolet dengan persentase degradasi larutan metilen biru 50 ppm

Gambar 3 memperlihatkan pengaruh waktu terhadap persentase metilen biru yang terdegradasi. Persentase metilen biru yang terdegradasi semakin meningkat seiring dengan bertambahnya waktu radiasi sinar ultraviolet karena semakin banyak foton yang mengenai ZnO, jumlah radikal hidroksi yang berperan dalam mendegrasi metilen biru jumlahnya semakin meningkat. Hal yang sama juga didapatkan oleh Attia, *et al.* (2007) yang menyatakan bahwa dengan semakin meningkatnya waktu radiasi maka persentase degradasi yang diperoleh semakin besar.

Pada penelitian ini penambahan waktu radiasi yang lebih besar dari 5 jam menghasilkan persentase degradasi yang relatif sama, sehingga waktu optimum yang diperoleh pada proses fotodegradasi metilen biru adalah 5 jam dengan persentase degradasi 96,68 %.

### Efektivitas Proses Fotodegradasi

Efektivitas fotodegradasi metilen biru dilakukan dengan pengulangan sebanyak 3 kali. Metilen biru diberi perlakuan pada kondisi optimum yang diperoleh pada prosedur sebelumnya dengan menambahkan ZnO sebanyak 40 mg, diatur pada pH 12 dan diradiasi dengan sinar UV selama 5 jam. Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan diperoleh data dalam Tabel 1.

Tabel 1. Data dan hasil perhitungan penentuan efektifitas fotodegradasi metilen biru pada kondisi optimum

Ulangan	C <sub>o</sub> (ppm)	B.ZnO (mg)	W. (jam)	pH	A	C <sub>1</sub> (ppm)	C <sub>t</sub> (ppm)	%D
1	50	40	5	12	0,045	0,28	2,82	94,36
2	50	40	5	12	0,039	0,25	2,47	95,06
3	50	40	5	12	0,043	0,27	2,70	94,59
Persentase degradasi rata – rata metilen biru								94,67
Standar Deviasi								0,35

Keterangan :

- C<sub>o</sub> = konsentrasi metilen sebelum proses fotodegradasi (ppm)
- B.ZnO = berat katalis ZnO (miligram)
- W = waktu radiasi sinar ultraviolet (jam)
- A = Absorbansi
- C<sub>1</sub> = konsentrasi metilen biru setelah pengenceran (ppm)
- C<sub>t</sub> = konsentrasi metilen biru sebelum diencerkan (ppm)
- %D = persentase fotodegradasi

Data Tabel 1 memperlihatkan bahwa persentase degradasi (%D) metilen biru dengan kondisi optimum sebesar  $(94,67 \pm 0,35)$  %. Dari persentase degradasi metilen biru ini menunjukkan bahwa pada kondisi optimum ini metode fotodegradasi dengan sinar UV dan katalis ZnO sangat efektif dalam menurunkan kadar limbah zat warna khususnya metilen biru.

## SIMPULAN DAN SARAN

### Simpulan

Dari penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa persentase degradasi metilen biru sangat dipengaruhi oleh jumlah katalis ZnO yang ditambahkan, pH larutan metilen biru, dan waktu radiasi sinar ultra violet yang dipaparkan pada metilen biru. Persentase fotodegradasi tertinggi didapatkan pada penambahan jumlah ZnO sebesar 40 mg, pH larutan 12 dan waktu radiasi selama 5 jam. Fotodegradasi metilen biru dengan sinar UV dan katalis ZnO pada kondisi optimum sangat efektif, dengan persentase degradasi sebesar  $(94,67 \pm 0,35)$ %.

### Saran

Dari hasil yang telah dilakukan dipandang perlu dilakukan penelitian fotodegradasi lebih lanjut dengan menggunakan limbah zat warna langsung dari industri.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Jurusan Kimia FMIPA Universitas Udayana yang telah memberikan fasilitas dalam penyelesaian penelitian ini.

## DAFTAR PUSTAKA

Abdollahi, Y., Abdullah, A. H., Zainal, Z., and Yuzaf, N.A., 2011, Photodegradation of o-cresol by ZnO under Visible Light Irradiation, *IJAEST*, 8 (2) : 135-144  
 Abdollahi, Y., 2011, Photodegradation of m-cresol by Zinc Oxide under Visible Light

Irradiation, *International Journal of Chemistry*, 3 (3) : 31-43  
 Ali, R. and Siew, ooi Bon, 2008, *Photodegradation of New Methylen Blue N in Aqueous Solution Using Zinc Oxide and Titanium Dioxide as Catalyst*, 1-14  
 Attia, A. J., Kadhim, S. H., and Hussen, F. H., 2007, Photocatalytic Degradation of Textile Dyeing Wastewater Using Titanium Dioxide and Zinc Oxide, *E-Journal of Chemistry*, 2 : 219-223  
 Gonçaves, M. S. T., Pinto, E.M.S., Nkeonye, P., and Campos, M.F.O., 2005, Degradation of CI Reactive Orange 4 and its Simulated Dye bath Wastewater by Heterogenous Photocatalyst, *Jurnal Hasil Penelitian, Universidade do Minho, Braga, Portugal*  
 Houas, A., Lachheb, H., and Ksibi, M., 2001, Photocatalytic Degradation Pathway of Methylene Blue in water, *Appl. Catal.B. Environ.*, 31 : 145-157  
 Lachheb, H., Puzenat, E., Houas, A., Ksibi, M., Elaloui, E., Guillard, C., and Herrman, J.M., 2002, Photocatalytic degradation of various types of dyes (Alizarin S, Crocein Orange G, Methyl Red, Congo Red, Methylene Blue) in water by UV-irradiated titania, *Applied Catalysis B: Environmental*, 39 : 75-90  
 Madhu, G.M., Lourdu, An.R.M.A., Vasanta, Kumar Pai.K., and Rao, Shreyas., 2007, Photodegradation of methylene blue dye using UV/BaTiO<sub>3</sub>, UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> and UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>/ BaTiO<sub>3</sub>, *Indian Journal of Chemical Teknologi*, 14 : 139-144  
 Ping-feng, FU, Zhou, Z., Peng, P., Xue-gang, DAI, 2008, Photodegradation of Methylene Blue in Batch Fixed Bed Photoreactor Using Activated Carbon Fibers Supported TiO<sub>2</sub> Photocatalyst, *The Chinese Journal of Process Engineering*, 8(1) : 65-71  
 Qourzal, S., Tamimi, M., Assabane, A., and Ait-Ichou, Y., 2009, Photodegradation of - 2 naphtol using Nanocrystalline TiO<sub>2</sub>, *M. J. CONDENSED MATER*, 11 : 55-59  
 Sakthivel S., B. Neppolian, M. V. Shankar, B. Arabindoo, M. Palanichamy, and M. Murugesan. 2003. Solar Photocatalytic Degradation of Azo Dye: Comparison of Photocatalytic Efficiency of ZnO and

- TiO<sub>2</sub>, *Solar Energy Material and Solar Cells*, 77 : 65-82
- Stasinakis, A.S., 2008, Use of Selected Advanced Oxidation Processes (AOPs) for Wastewater Treatment – A Mini Review, *Global NEST Journal*, 10 (3) : 376-385
- Wijaya, K., Sugiharto, E., Fatimah, I., Sudiono, S., dan Kurniaysih, D., 2006, Utilisasi TiO<sub>2</sub>-Zeolit Dan Sinar UV Untuk Fotodegradasi Zat Warna Congo Red, *Berkala MIPA*, 3 : 27-35