

**FOTODEGRADASI METILEN BIRU DENGAN SINAR UV DAN KATALIS  $\text{Al}_2\text{O}_3$** **Ida Ayu Gede Widihati, Ni Putu Diantariani, dan Yuliana Farhatun Nikmah***Jurusan Kimia FMIPA Universitas Udayana, Bukit Jimbaran***ABSTRAK**

Telah dilakukan penelitian tentang fotodegradasi metilen biru dengan sinar UV dan katalis  $\text{Al}_2\text{O}_3$ . Penelitian ini meliputi penentuan berat katalis  $\text{Al}_2\text{O}_3$  optimum, pH optimum, waktu radiasi optimum, dan efektivitas fotodegradasi metilen biru pada kondisi optimum. Degradasi metilen biru dianalisis dengan spektrofotometer UV-Vis.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa kondisi optimum yang diperoleh, yaitu berat katalis  $\text{Al}_2\text{O}_3$  sebesar 40 mg, pH optimum 11, dan waktu radiasi optimum oleh sinar UV adalah 4 jam. Efektivitas dari proses fotodegradasi metilen biru pada kondisi optimum adalah  $(30,22 \pm 1,17)\%$ .

Kata kunci : fotodegradasi, metilen biru, katalis  $\text{Al}_2\text{O}_3$

**ABSTRACT**

The research was conducted to observe the photodegradation of methylene blue by UV light and  $\text{Al}_2\text{O}_3$  catalyst. The research determined the optimum  $\text{Al}_2\text{O}_3$  catalyst weight, the optimum pH, the optimum radiation duration and the effectivity of photodegradation at optimum conditions. Degradation of methylene blue were analyzed by UV-Vis spectrophotometer.

The results showed that the optimum  $\text{Al}_2\text{O}_3$  catalyst weight was 40 mg the optimum of pH was 11, and the optimum of radiation duration was 4 hours. The effectivity of photodegradation was  $(30.22 \pm 1.17)\%$ .

Keywords : photodegradation, methylene blue,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  catalyst

**PENDAHULUAN**

Saat ini perkembangan dan kemajuan industri tekstil di Indonesia telah berkembang sangat pesat. Selain memberikan banyak manfaat bagi kehidupan manusia, perkembangan industri tekstil juga menimbulkan dampak negatif bagi lingkungan. Hal ini dikarenakan dalam produksi tekstil selalu dihasilkan limbah, salah satunya limbah zat warna. Limbah zat warna merupakan senyawa organik yang sukar terurai, bersifat resisten, dan toksik. Apabila limbah tersebut dibuang ke perairan terdekat maka akan menyebabkan pencemaran lingkungan.

Dalam industri tekstil, metilen biru merupakan salah satu zat warna *thiazine* yang sering digunakan, karena harganya ekonomis dan mudah diperoleh. Zat warna metilen biru merupakan zat warna dasar yang penting dalam proses pewarnaan kulit, kain mori, kain katun, dan tannin. Penggunaan metilen biru dapat menimbulkan beberapa efek, seperti iritasi saluran pencernaan jika tertelan, menimbulkan sianosis jika terhirup, dan iritasi pada kulit jika tersentuh oleh kulit (Hamdaoui and Chiha, 2006).

Upaya penanganan limbah tekstil secara konvensional seperti adsorpsi dan lumpur aktif

telah banyak dilakukan, akan tetapi hasilnya kurang efektif. Metode adsorpsi kurang efektif karena zat warna yang diadsorpsi terakumulasi dalam adsorben sehingga dapat menimbulkan masalah baru (Wijaya, *et al.*, 2006). Metode lumpur aktif juga kurang efektif karena beberapa jenis limbah zat warna memiliki sifat yang resisten untuk didegradasi secara biologis (Nandiyanto, 2008). Banyaknya kelemahan dari pengolahan limbah yang telah dilakukan, maka sebagai alternatif dikembangkan metode fotodegradasi dengan menggunakan semikonduktor fotokatalis dan sinar ultraviolet. Penelitian Fatimah, *et al.* (2006) tentang  $\text{TiO}_2$  yang terdispersi pada zeolit alam dan aplikasinya untuk fotodegradasi congo red, menyatakan bahwa metode fotodegradasi merupakan metode yang relatif murah dan mudah diterapkan. Metode fotodegradasi ini dapat menguraikan zat warna menjadi komponen-komponen lebih sederhana yang lebih aman bagi lingkungan (Wijaya, *et al.*, 2006). Berdasarkan penelitian Dhamayanti, *et al.* (2005) tentang fotodegradasi *methyl orange* menggunakan  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ -montmorillonit dan sinar UV, penggunaan semikonduktor fotokatalis memiliki beberapa keunggulan di antaranya adalah dapat melakukan mineralisasi total terhadap polutan organik, biayanya murah, prosesnya relatif cepat, tidak beracun, dan punya kemampuan penggunaan jangka panjang.

Bahan fotokatalis yang digunakan dalam metode fotodegradasi merupakan suatu semikonduktor, seperti :  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{ZnO}$ , dan  $\text{Al}_2\text{O}_3$ . Aktivitas fotokatalis akan meningkat dengan diserapnya sinar UV, sehingga dihasilkan elektron dan *hole* (Wahi, *et al.*, 2005). *Hole* merupakan lubang positif yang disebabkan oleh perpindahan elektron. Elektron dan *hole* merupakan spesies terpenting untuk memulai proses fotodegradasi. Saat ini penggunaan bahan fotokatalis, seperti  $\text{TiO}_2$  ( $E_g = 3,2$  eV) dan  $\text{ZnO}$  ( $E_g = 3,17$  eV) telah banyak dilakukan dalam proses fotodegradasi zat warna. Hasil penelitian Sumerta, *et al.* (2002) tentang fotodegradasi metilen biru dengan katalis  $\text{TiO}_2$ -montmorillonit dihasilkan persentase degradasi sebesar 94,91%. Sedangkan penelitian Ratih (2009) tentang fotodegradasi metilen biru dengan katalis  $\text{ZnO}$

dihasilkan persentase degradasi zat warna sebesar 94,67%.

Aluminium oksida ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) juga merupakan salah satu bahan fotokatalis yang perlu dipelajari dalam penelitian, karena  $\text{Al}_2\text{O}_3$  memiliki energi *band gap* ( $E_g$ ) sebesar  $6,52 \pm 0,10$  eV (Yu, *et al.*, 2002). Penelitian Dhamayanti, *et al.* (2005) tentang fotodegradasi *methyl orange* menggunakan  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ -montmorillonit dan sinar UV, menyatakan bahwa kemampuan fotokatalitik dalam mendegradasi zat warna akan lebih besar apabila harga  $E_g$ -nya. Selain itu, penelitian Wibowo, *et al.* (2007) menggunakan katalis dan pendukung katalis  $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$  untuk studi reaksi konversi katalisis 2-propanol.  $\text{Al}_2\text{O}_3$  dan  $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$  banyak digunakan karena memiliki luas permukaan yang besar ( $150\text{-}300$   $\text{m}^2/\text{g}$ ) serta memiliki sisi aktif yang bersifat asam dan basa.

Dalam proses fotodegradasi, pH berperan untuk mengkarakterisasi jenis limbah zat warna tekstil dan menghasilkan radikal hidroksi. Radikal hidroksi ini memiliki kereaktifan yang tinggi dalam mengoksidasi reagen sehingga dengan meningkatnya jumlah radikal hidroksi maka semakin banyak zat warna yang terdegradasi. Oleh karena itu, pengaruh pH dalam proses fotodegradasi limbah tekstil perlu dipelajari (Ali and Siew, 2006). Jumlah katalis yang digunakan juga perlu dipelajari karena penambahan jumlah katalis akan meningkatkan reaksi fotokatalisis. Akan tetapi penambahan katalis yang berlebih dapat menurunkan aktivitas katalis dalam membentuk radikal hidroksi (Qourzal, *et al.*, 2009). Selain pH dan jumlah katalis, juga dipelajari waktu radiasi oleh sinar UV pada proses fotodegradasi. Bertambahnya waktu radiasi pada proses fotodegradasi, akan meningkatkan jumlah zat warna yang terdegradasi. Hasil proses fotodegradasi zat warna akan menghasilkan  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ , dan asam-asam mineral (Madhu, *et al.*, 2007).

Berdasarkan latar belakang di atas, maka dilakukan penelitian tentang fotodegradasi zat warna metilen biru dengan sinar UV dan katalis  $\text{Al}_2\text{O}_3$ . Dalam penelitian ini dipelajari kondisi optimum dari proses fotodegradasi zat warna metilen biru seperti berat fotokatalis  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , pH, dan waktu fotodegradasi.

## MATERI DAN METODE

### Bahan

Bahan-bahan yang diperlukan dalam pelaksanaan penelitian ini adalah sebagai berikut : zat warna metilen biru ( $C_{16}H_{18}N_3SCl$ ), aluminium oksida ( $Al_2O_3$ ), natrium hidroksida ( $NaOH$ ), asam klorida ( $HCl$ ), dan akuades.

### Peralatan

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah : seperangkat alat gelas, timbangan analitik, pH meter, pengaduk magnetik (*magnetic stirrer*), *hot plate*, kotak radiasi, plastik hitam, lampu UV C, sentrifus, dan spektrofotometer SP-870.

### Cara Kerja

#### ***Penentuan panjang gelombang maksimum larutan metilen biru***

Larutan metilen biru dengan konsentrasi 2 ppm diukur absorbansinya pada berbagai panjang gelombang, yang berkisar antara 550 nm-675 nm. Hasil yang diperoleh digambarkan pada grafik dengan absorbansi sebagai sumbu y dan panjang gelombang cahaya sebagai sumbu x. Panjang gelombang maksimum adalah panjang gelombang yang memberikan nilai absorbansi maksimum.

#### ***Pembuatan kurva kalibrasi larutan metilen biru***

Larutan standar metilen biru dengan konsentrasi 1, 2, 3, dan 4 ppm diukur absorbansinya pada panjang gelombang maksimum dari metilen biru. Selanjutnya, dibuat kurva kalibrasi dengan memplot konsentrasi dan absorbansi.

#### ***Penentuan berat $Al_2O_3$ optimum proses fotodegradasi metilen biru***

Enam buah gelas beker 100 mL yang telah dibungkus plastik hitam masing-masing diisi dengan 50 mL larutan metilen biru 20 ppm. Ke dalam masing-masing gelas beker ditambahkan  $Al_2O_3$  sebanyak 0, 10, 20, 30, 40, dan 50 mg. Gelas beker dimasukkan ke dalam kotak radiasi dan pembungkus plastik hitam dilepaskan. Selanjutnya gelas beker diradiasi

dengan lampu UV selama 5 jam, selama proses penyinaran dengan sinar UV larutan diaduk dengan pengaduk magnetik.

Setelah proses radiasi, suspensi dari masing-masing gelas beker disentrifugasi dengan kecepatan 4000 rpm selama 10 menit. Larutan kemudian didekantasi untuk memisahkan antara supernatan dan endapan. Supernatan yang diperoleh dari masing-masing gelas beker diukur absorbansinya dengan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang maksimum dari metilen biru. Nilai absorbansi yang diperoleh kemudian dimasukkan ke dalam persamaan regresi linear larutan metilen biru, sehingga diperoleh konsentrasi metilen biru. Nilai konsentrasi dari metilen biru kemudian dimasukkan ke dalam rumus persentase degradasi (%D), yang dirumuskan sebagai berikut :

$$\text{Persentase Degradasi (\%D)} = \frac{C_o - C_t}{C_o} \times 100\%$$

Keterangan :  $C_o$  = konsentrasi awal metilen biru (sebelum radiasi)  
 $C_t$  = konsentrasi metilen biru pada t = 5 jam

Dari nilai %D maka konsentrasi optimum dari  $Al_2O_3$  dapat diketahui.

#### ***Penentuan pH optimum proses fotodegradasi metilen biru***

Delapan buah gelas beker 100 mL yang telah dibungkus plastik hitam masing-masing diisi dengan 50 mL larutan metilen biru 20 ppm. Ke dalam masing-masing gelas beker dimasukkan sejumlah  $Al_2O_3$  optimum tersebut, diatur pH-nya dengan nilai yang berbeda, yaitu pH 6; pH 7; pH 8; pH 9; pH 10; pH 11; pH 12; dan pH 13. Larutan dengan pH 6 dan 7 diperoleh dengan ditambahkan larutan  $HCl$  ke dalam campuran, sedangkan untuk larutan dengan pH 8, 9, 10, 11, 12, dan 13 diperoleh dengan ditambahkan larutan  $NaOH$  ke dalam campuran. Gelas beker dimasukkan ke dalam kotak radiasi dan pembungkus plastik hitam dilepaskan. Selanjutnya gelas beker diradiasi dengan sinar UV selama 5 jam, selama proses penyinaran

dengan sinar UV larutan diaduk dengan pengaduk magnetik.

Setelah proses radiasi, suspensi dari masing-masing gelas beker disentrifugasi dengan kecepatan 4000 rpm selama 10 menit. Larutan kemudian didekantasi untuk memisahkan antara supernatan dan endapan. Supernatan yang diperoleh dari masing-masing gelas beker diukur absorbansinya dengan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang maksimum dari metilen biru.

Nilai absorbansi yang diperoleh kemudian dimasukkan ke dalam persamaan regresi linear larutan metilen biru, sehingga diperoleh konsentrasi metilen biru. Nilai konsentrasi dari metilen biru kemudian dimasukkan ke dalam rumus persentase degradasi (%D), yang dirumuskan sebagai berikut :

$$\text{Persentase Degradasi (\%D)} = \frac{C_o - C_t}{C_o} \times 100\%$$

Keterangan :  $C_o$  = konsentrasi awal metilen biru (sebelum radiasi)

$C_t$  = konsentrasi metilen biru pada t = 5 jam

Dari nilai %D maka pH optimum dapat diketahui.

#### ***Penentuan waktu optimum proses fotodegradasi metilen biru***

##### ***Degradasi tanpa katalis $Al_2O_3$ dan tanpa radiasi UV***

Sepuluh buah gelas beker 100 mL yang telah dibungkus plastik hitam masing-masing diisi dengan 50 mL larutan metilen biru 20 ppm. Ke dalam masing-masing gelas beker pHnya diatur pada pH optimum. Selanjutnya gelas beker disimpan ditempat gelap selama 0; 1; 2; 3; 4; 5; 6; 9; 12; dan 24 jam, selama proses penyimpanan larutan diaduk dengan pengaduk magnetik.

##### ***Degradasi tanpa katalis $Al_2O_3$ dengan radiasi UV***

Sepuluh buah gelas beker 100 mL yang telah dibungkus plastik hitam masing-masing

diisi dengan 50 mL larutan metilen biru 20 ppm. Ke dalam masing-masing gelas beker pHnya diatur pada pH. Gelas beker dimasukkan ke kotak radiasi dan pembungkus plastik hitam dilepaskan. Selanjutnya gelas diradiasi dengan sinar UV masing-masing selama 0; 1; 2; 3; 4; 5; 6; 9; 12; dan 24 jam, selama proses penyinaran dengan sinar UV larutan diaduk dengan pengaduk magnetik.

##### ***Degradasi dengan katalis $Al_2O_3$ , tanpa radiasi UV***

Sepuluh buah gelas beker 100 mL yang telah dibungkus plastik hitam masing-masing diisi dengan 50 mL larutan metilen biru 20 ppm. Ke dalam masing-masing gelas beker dimasukkan sejumlah  $Al_2O_3$  optimum dan pHnya diatur pada pH optimum. Selanjutnya gelas beker disimpan ditempat gelap selama 0; 1; 2; 3; 4; 5; 6; 9; 12; dan 24 jam, selama proses penyimpanan larutan diaduk dengan pengaduk magnetik.

##### ***Degradasi dengan katalis $Al_2O_3$ dan radiasi UV***

Sepuluh buah gelas beker 100 mL yang telah dibungkus plastik hitam masing-masing diisi dengan 50 mL larutan metilen biru 20 ppm. Ke dalam masing-masing gelas beker dimasukkan sejumlah  $Al_2O_3$  optimum dan pHnya diatur pada pH optimum. Gelas beker dimasukkan ke kotak radiasi dan pembungkus plastik hitam dilepaskan. Selanjutnya gelas diradiasi dengan sinar UV masing-masing selama 0; 1; 2; 3; 4; 5; 6; 9; 12; dan 24 jam, selama proses penyinaran dengan sinar UV larutan diaduk dengan pengaduk magnetik.

Setelah proses radiasi, suspensi dari masing-masing gelas beker disentrifugasi dengan kecepatan 4000 rpm selama 10 menit. Larutan kemudian didekantasi untuk memisahkan antara supernatan dan endapan. Supernatan yang diperoleh dari masing-masing gelas beker diukur absorbansinya dengan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang maksimum dari metilen biru. Nilai absorbansi yang diperoleh kemudian dimasukkan ke dalam persamaan regresi linear larutan metilen biru, sehingga diperoleh konsentrasi metilen biru. Nilai konsentrasi dari metilen biru kemudian dimasukkan ke dalam

rumus persentase degradasi (%D), yang dirumuskan sebagai berikut :

$$\text{Persentase Degradasi (\%D)} = \frac{C_o - C_t}{C_o} \times 100\%$$

Keterangan :  $C_o$  = konsentrasi awal metilen biru (sebelum radiasi)

$C_t$  = konsentrasi metilen biru pada t menit

Dari nilai %D maka waktu optimum dapat diketahui.

#### ***Penentuan efektivitas proses fotodegradasi metilen biru***

##### **Degradasi tanpa katalis $Al_2O_3$ dan tanpa radiasi UV**

Tiga buah gelas beker 100 mL yang telah dibungkus plastik hitam masing-masing diisi dengan 50 mL larutan metilen biru 20 ppm. Ke dalam masing-masing gelas beker pHnya diatur pada pH optimum. Selanjutnya gelas beker disimpan ditempat gelap selama waktu optimum, selama proses penyimpanan larutan diaduk dengan pengaduk magnetik.

##### **Degradasi tanpa katalis $Al_2O_3$ dengan radiasi UV**

Tiga buah gelas beker 100 mL yang telah dibungkus plastik hitam masing-masing diisi dengan 50 mL larutan metilen biru 20 ppm. Ke dalam masing-masing gelas beker pHnya diatur pada pH optimum. Gelas dimasukkan ke kotak radiasi dan pembungkus plastik hitam dilepaskan. Selanjutnya gelas beker diradiasi dengan sinar UV selama waktu optimum, selama proses penyinaran dengan sinar UV larutan diaduk dengan pengaduk magnetik.

##### **Degradasi dengan katalis $Al_2O_3$ tanpa radiasi UV**

Tiga buah gelas beker 100 mL yang telah dibungkus plastik hitam masing-masing diisi dengan 50 mL larutan metilen biru 20 ppm. Ke dalam masing-masing gelas beker dimasukkan sejumlah  $Al_2O_3$  optimum dan pH-

nya diatur pada pH optimum. Selanjutnya gelas beker disimpan ditempat gelap selama waktu optimum, selama proses penyimpanan larutan diaduk dengan pengaduk magnetik.

##### **Degradasi dengan katalis $Al_2O_3$ dan radiasi UV**

Tiga buah gelas beker 100 mL yang telah dibungkus plastik hitam masing-masing diisi dengan 50 mL larutan metilen biru 20 ppm. Ke dalam masing-masing gelas beker dimasukkan sejumlah  $Al_2O_3$  optimum dan pHnya diatur pada pH optimum. Gelas dimasukkan ke kotak radiasi dan pembungkus plastik hitam dilepaskan. Selanjutnya gelas beker diradiasi dengan sinar UV selama waktu optimum, selama proses penyinaran dengan sinar UV larutan diaduk dengan pengaduk magnetik.

Setelah proses radiasi, suspensi dari masing-masing gelas beker disentrifugasi dengan kecepatan 4000 rpm selama 10 menit. Larutan kemudian didekantasi untuk memisahkan antara supernatan dan endapan. Supernatan yang diperoleh dari masing-masing gelas beker diukur absorbansinya dengan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang maksimum dari metilen biru. Nilai absorbansi yang diperoleh kemudian dimasukkan ke dalam persamaan regresi linear larutan metilen biru, sehingga diperoleh konsentrasi metilen biru.

Efektivitas fotodegradasi metilen biru dengan bahan fotokatalis  $Al_2O_3$  dan sinar UV dapat ditentukan dengan perhitungan persentase dari proses degradasi (% D) , yang dapat dihitung dengan persamaan di bawah ini :

$$\text{Persentase degradasi (\% D)} = \frac{C_o - C_t}{C_o} \times 100\%$$

Keterangan :  $C_o$  = konsentrasi awal metilen biru (sebelum radiasi)

$C_t$  = konsentrasi metilen biru pada t menit

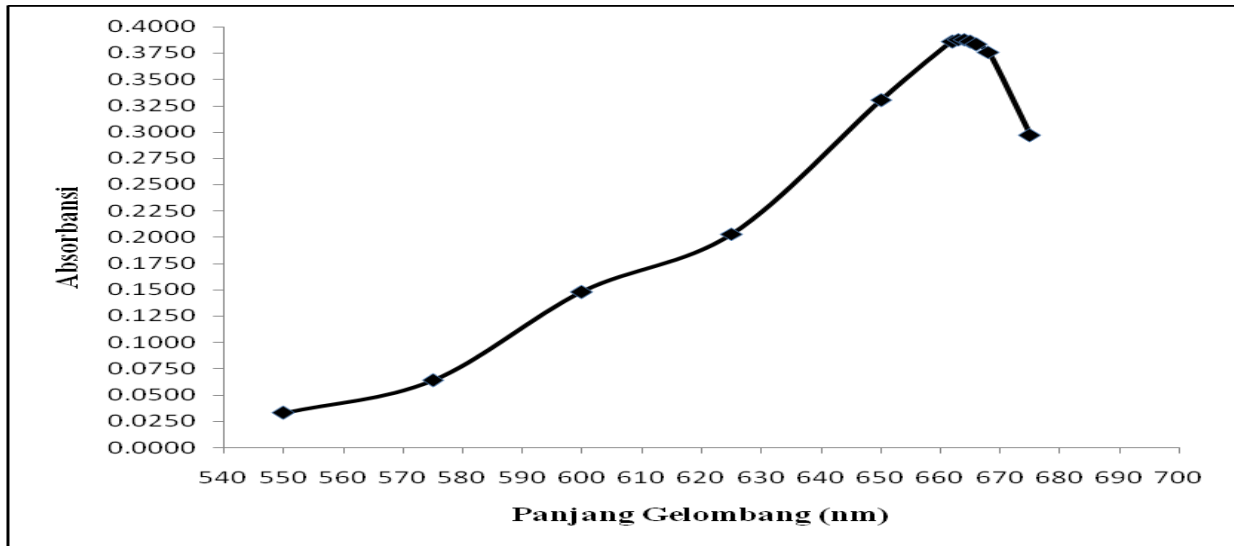
## **HASIL DAN PEMBAHASAN**

### **Panjang Gelombang Maksimum dan Kurva Kalibrasi Larutan Metilen Biru**

Panjang gelombang maksimum ditentukan dengan mengukur nilai absorbansi

dari larutan metilen biru 2 ppm pada panjang gelombang 550-675 nm. Panjang gelombang maksimum diperoleh dari kurva hubungan antara

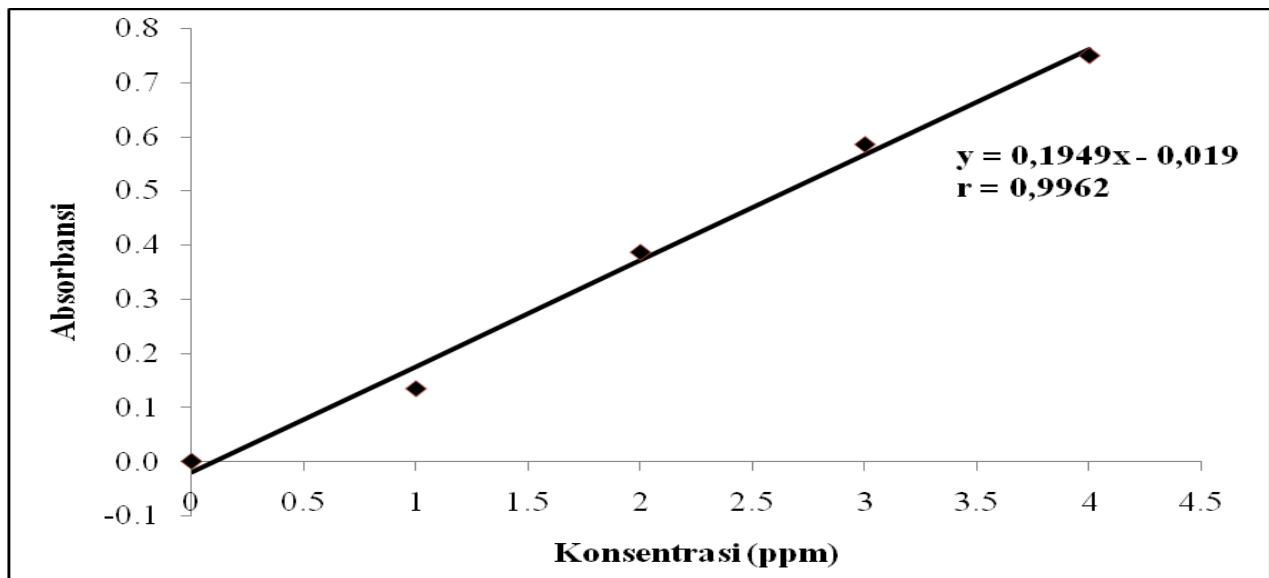
panjang gelombang dan absorbansi. Kurva tersebut ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Kurva hubungan antara panjang gelombang dan absorbansi dari larutan metilen biru 2 ppm.

Kurva di atas menunjukkan bahwa panjang gelombang maksimum dari larutan metilen biru 2 ppm adalah 664 nm dengan absorbansi sebesar 0,388. Panjang gelombang maksimum dari larutan metilen biru yang diperoleh akan digunakan untuk pengukuran absorbansi larutan metilen biru pada penelitian selanjutnya.

Kurva kalibrasi dibuat dengan mengukur nilai absorbansi beberapa konsentrasi larutan standar metilen biru, yaitu 0, 1, 2, 3, dan 4 ppm pada panjang gelombang maksimum 664 nm. Kurva kalibrasi dari larutan metilen biru dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Kurva kalibrasi larutan metilen biru.

Kurva kalibrasi larutan metilen biru memperlihatkan garis lurus dengan koefisien korelasi ( $r$ ) sebesar 0,9962. Nilai  $r$  yang mendekati 1 menunjukkan hubungan linier antara konsentrasi dan absorbansi. Persamaan regresi linier yang diperoleh adalah  $y = 0,1949x - 0,0190$ . Berdasarkan persamaan tersebut, konsentrasi larutan metilen biru dapat dihitung dengan memasukkan nilai absorbansi.

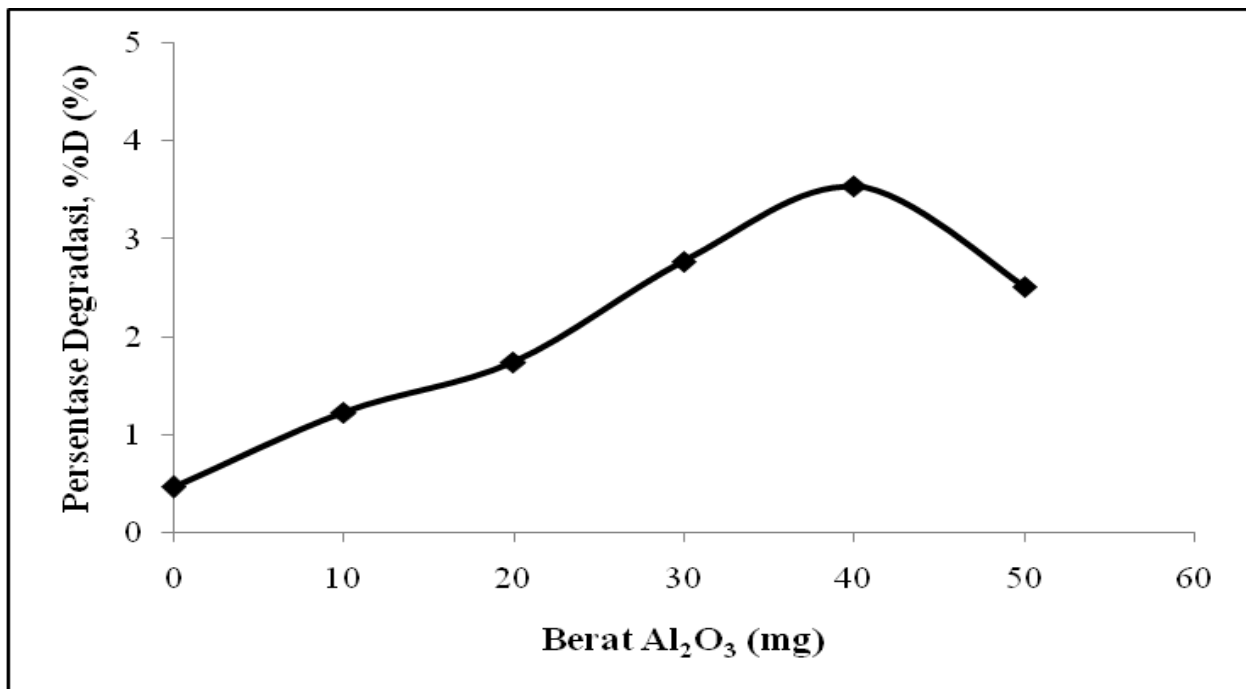
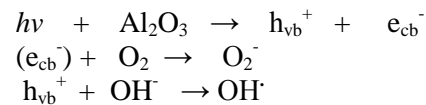
### Berat Katalis Aluminium Oksida ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) Optimum Proses Fotodegradasi Metilen Biru

Berat katalis aluminium oksida ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) optimum dapat ditentukan dengan memvariasikan berat katalis  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , yaitu 0, 10, 20, 30, 40, dan 50 mg. Proses fotodegradasi ini diradiasi sinar UV selama 5 jam. Berat katalis  $\text{Al}_2\text{O}_3$  optimum dapat diketahui dari kurva hubungan antara variasi berat  $\text{Al}_2\text{O}_3$  dan persentase degradasi (%D) yang dapat dilihat pada Gambar 3.

Gambar 3 memperlihatkan bahwa persentase degradasi (%D) dari larutan metilen biru semakin meningkat dengan bertambahnya berat katalis  $\text{Al}_2\text{O}_3$ . Kurva tersebut menunjukkan

jumlah katalis  $\text{Al}_2\text{O}_3$  optimum adalah 40 mg dengan persentase degradasi (%D) sebesar 3,5403%. Hal ini membuktikan bahwa dengan radiasi sinar UV dan bertambahnya berat katalis  $\text{Al}_2\text{O}_3$  maka semakin banyak zat warna metilen biru yang terdegradasi. Hal ini dikarenakan semakin bertambahnya katalis  $\text{Al}_2\text{O}_3$  maka jumlah radikal hidroksida dan ion superoksida semakin meningkat, sehingga zat warna metilen biru semakin banyak terdegradasi.

Proses fotodegradasi metilen biru terjadi ketika  $\text{Al}_2\text{O}_3$  dikenai sinar UV sehingga elektron pada  $\text{Al}_2\text{O}_3$  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 superoksida, sedangkan *hole* pada pita valensi bereaksi dengan ion hidroksi ( $\text{OH}^-$ ) membentuk radikal hidroksi ( $\text{OH}^\cdot$ ) (Attia, *et al.*, 2007). Mekanisme reaksi secara umum yaitu :

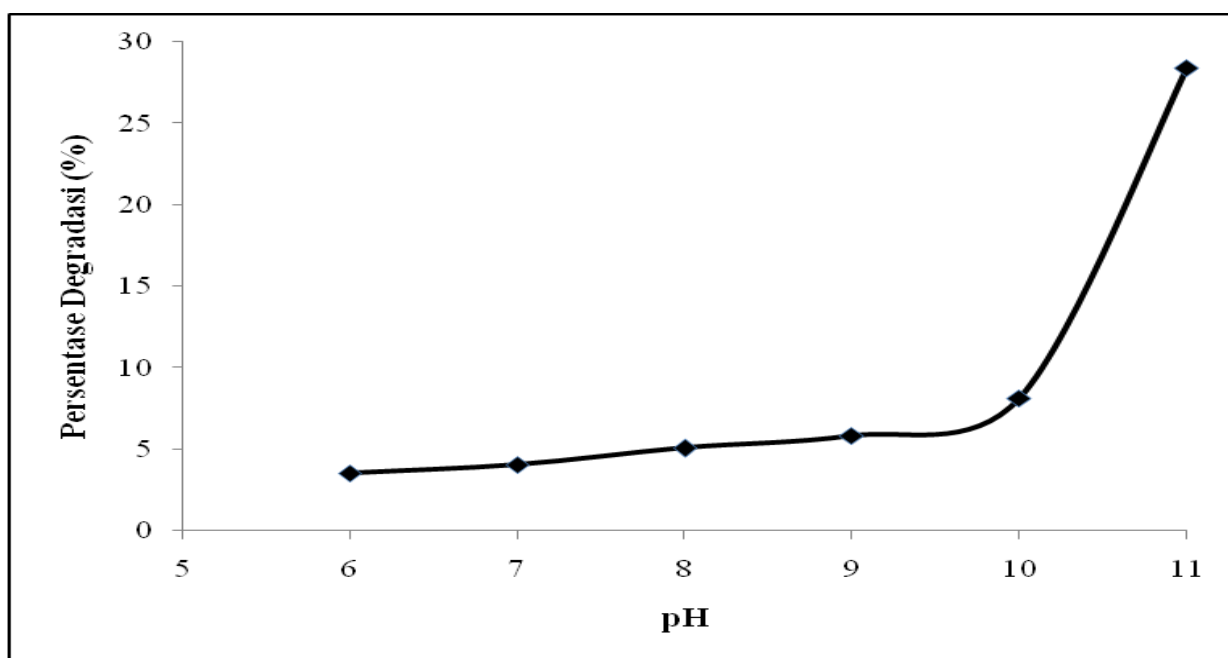


Gambar 3. Kurva hubungan antara berat katalis  $\text{Al}_2\text{O}_3$  dan persentase degradasi (%D) dari larutan metilen biru 20 ppm.

Pada penambahan berat katalis  $\text{Al}_2\text{O}_3$  yang lebih dari 40 mg terjadi penurunan persentase degradasi (%D). Pada penambahan katalis optimum, sinar UV yang masuk ke larutan dan mengenai katalis sudah optimum sehingga dihasilkan persentase degradasi (%D) yang besar. Sedangkan pada penambahan katalis yang berlebih, sinar UV yang masuk ke dalam larutan kurang akibat katalis yang tersuspensi sehingga persentase degradasi (%D) menjadi menurun (Madhu, *et al.*, 2007). Oleh karena itu, maka dipilih 40 mg  $\text{Al}_2\text{O}_3$  sebagai katalis optimum dalam mendegradasi zat warna metilen biru. Hal yang sama juga ditunjukkan oleh penelitian Ratih (2009), bahwa persentase degradasi metilen biru menurun dengan penambahan katalis ZnO lebih dari 40 mg.

#### pH Optimum Proses Fotodegradasi Metilen Biru

Parameter yang penting dalam reaksi fotokatalitik pada permukaan partikel adalah pH dari larutan (Qourzal, *et al.*, 2009). pH memiliki peranan penting dalam menghasilkan radikal hidroksi pada proses fotodegradasi. Fotodegradasi metilen biru dipelajari pada pH yang berbeda, yaitu pada rentang pH 6-13 dengan penambahan berat  $\text{Al}_2\text{O}_3$  optimum dan diradiasi sinar UV selama 5 jam. pH larutan diatur dengan menambahkan larutan HCl dan NaOH. pH optimum dapat diketahui dengan membuat kurva hubungan antara pH dan persentase degradasi (%D). Kurva tersebut ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Kurva hubungan antara pH dan persentase degradasi (%D) dari larutan metilen biru 20 ppm.

Gambar 4. menunjukkan bahwa persentase degradasi (%D) semakin meningkat dengan bertambahnya nilai pH. Permukaan katalis  $\text{Al}_2\text{O}_3$  bermuatan positif pada pH asam dan bermuatan negatif pada pH basa. Oleh karena itu persentase degradasi terbesar diperoleh pada pH basa, karena metilen biru yang bermuatan positif

akan lebih mudah teradsorpsi pada permukaan dengan pH basa. pH optimum dari proses fotodegradasi metilen biru ditunjukkan pada pH 11 dengan persentase degradasi (%D) sebesar 28,4248%.

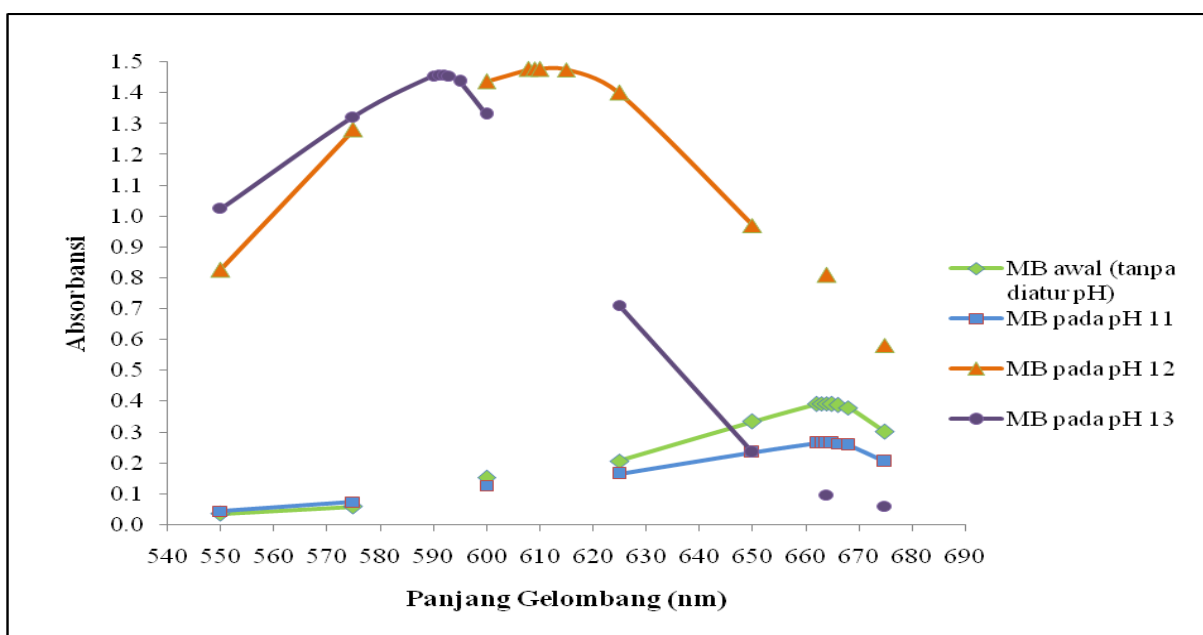
Pengukuran pH di atas 11, yaitu pada pH 12 dan 13 telah terjadi pergeseran panjang



gelombang dari larutan metilen biru. Pergeseran tersebut ditunjukkan pada Gambar 5.

Berdasarkan Gambar 5, terlihat bahwa terjadi pergeseran panjang gelombang pada pH 12 dan 13 ke arah panjang gelombang yang lebih pendek. Pada pH 12, panjang gelombang maksimum bergeser ke panjang gelombang 609 nm. Pada pH 13, panjang gelombang maksimum bergeser ke panjang

gelombang 592 nm. Sedangkan pada pH 11, panjang gelombang maksimum dari larutan metilen biru yaitu 663 nm. Penambahan pH basa menyebabkan struktur metilen biru berubah dan ikatan terkonjugasinya berkurang, sehingga terjadi pergeseran panjang gelombang ke arah panjang gelombang yang lebih pendek. Dengan demikian, pH 11 akan digunakan untuk penentuan selanjutnya.

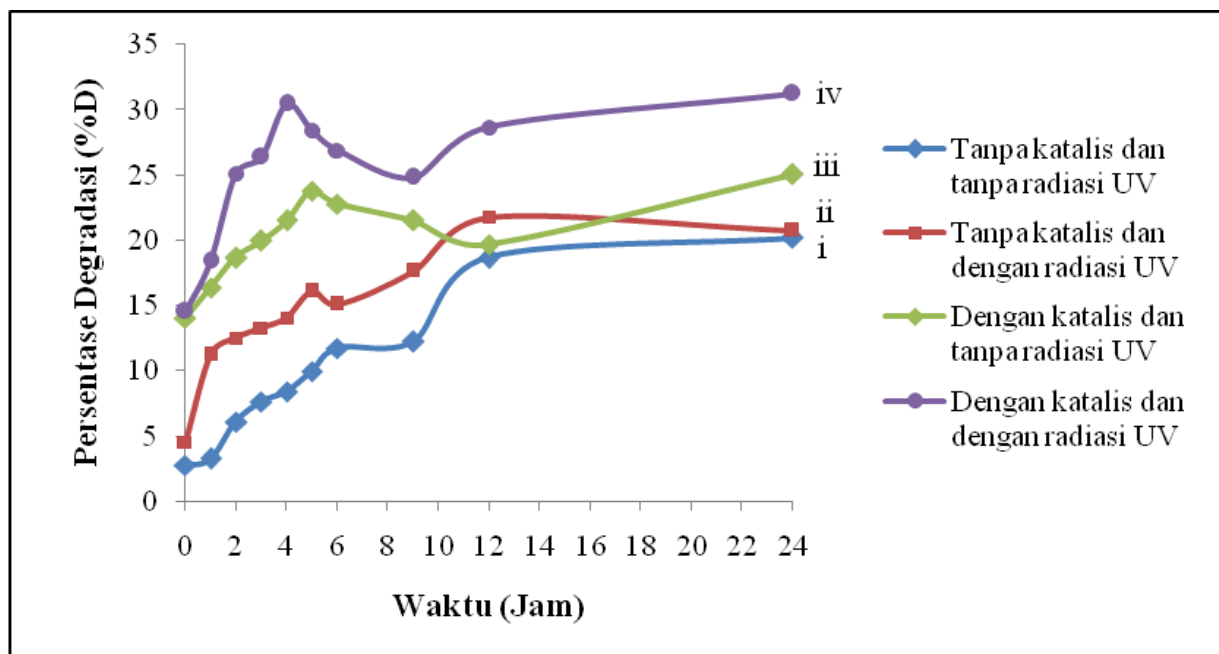


Gambar 5. Kurva hubungan antara absorbansi dan panjang gelombang dari larutan metilen biru 20 ppm pada pH awal (tanpa diatur pH), 11, 12, dan 13 (pH awal dan 11 diencerkan sebanyak 10 kali, sedangkan pH 12 dan 13 tanpa dilakukan pengenceran).

### Waktu Optimum Proses Fotodegradasi Metilen Biru

Penentuan waktu optimum proses fotodegradasi metilen biru dilakukan dengan menambahkan berat  $\text{Al}_2\text{O}_3$  optimum, pada pH optimum, dan memvariasikan waktu fotodegradasi, yaitu 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 9, 12, dan 24 jam. Proses fotodegradasi dilakukan pada 4 kondisi, yaitu (i) degradasi tanpa katalis dan

tanpa radiasi UV; (ii) degradasi dengan katalis dan tanpa radiasi UV; (iii) degradasi tanpa katalis dan dengan radiasi UV; dan (iv) degradasi dengan katalis dan dengan radiasi UV. Waktu optimum dapat diketahui dengan membuat kurva hubungan antara waktu dan persentase degradasi (%D) yang ditunjukkan pada Gambar 6.



Gambar 6. Kurva hubungan antara waktu dan persentase degradasi (%D) dari larutan metilen biru 20 ppm pada berbagai kondisi.

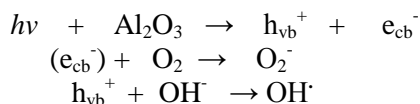
Gambar 6 menunjukkan bahwa persentase degradasi semakin tinggi dengan bertambahnya waktu radiasi. Kurva (i) tanpa katalis dan tanpa radiasi UV, persentase degradasi (%D) meningkat dengan bertambahnya waktu degradasi dan persentase degradasi masih meningkat pada waktu 24 jam dengan persentase degradasi (%D) sebesar 20,22%. Akan tetapi apabila dibandingkan dengan kondisi yang lain, peningkatan persentase degradasi pada kondisi tanpa katalis dan tanpa radiasi UV lebih kecil daripada ketiga kondisi yang lain. Hal ini terjadi karena pada proses degradasi tidak ada energi yang berupa foton dari lampu UV dan  $Al_2O_3$ , sehingga metilen biru terdegradasi dengan adanya oksigen pada proses pengadukan.

Pada kurva (ii) tanpa katalis dan dengan radiasi UV, persentase degradasi (%D) meningkat sampai 12 jam dengan persentase sebesar 21,75%. Pada kondisi ini proses degradasi hanya berlangsung dengan bantuan radiasi UV, sehingga proses degradasi tidak berlangsung secara maksimum. Dengan demikian, maka waktu optimum dari degradasi metilen biru tanpa katalis dan dengan radiasi UV adalah 12 jam.

Kurva (iii) dengan katalis dan tanpa radiasi UV, waktu optimum yang diperoleh adalah 5 jam dengan persentase degradasi sebesar 23,80%. Dalam hal ini  $Al_2O_3$  tidak efektif membentuk radikal hidroksi dan ion superoksida, karena tidak ada energi yang berupa foton dari lampu UV yang mengenai  $Al_2O_3$ . Sehingga energi yang digunakan untuk mendegradasi metilen biru adalah energi dalam sistem. Setelah waktu 5 jam, persentase degradasi (%D) mengalami penurunan. Hal ini mengindikasikan bahwa  $Al_2O_3$  selain berfungsi sebagai katalis juga mempunyai sifat sebagai adsorben. Aluminium oksida ( $Al_2O_3$ ) memiliki luas permukaan yang cukup besar, yaitu 150-300  $m^2/g$ . Besarnya luas permukaan  $Al_2O_3$  memungkinkan metilen biru dapat terserap pada permukaan  $Al_2O_3$  dengan ikatan yang lemah, sehingga dapat terlepas kembali.

Pada kurva (iv), degradasi metilen biru dengan katalis dan radiasi UV didapatkan waktu optimum 4 jam dengan persentase degradasi (%D) sebesar 30,47%. Berdasarkan keempat kondisi yang diberikan, degradasi metilen biru dengan radiasi UV dan katalis  $Al_2O_3$  memberikan waktu optimum terendah dengan nilai persentase degradasi yang paling tinggi. Hal

ini dapat menunjukkan bahwa keberadaan sinar UV dan katalis  $\text{Al}_2\text{O}_3$  pada proses fotodegradasi mengikuti mekanisme sebagai berikut :



### Efektivitas Proses Fotodegradasi Metilen Biru

Penentuan efektivitas dari fotodegradasi metilen biru dilakukan sebanyak 3 kali pengulangan pada masing-masing kondisi reaksi optimum. Larutan metilen biru ditambahkan dengan  $\text{Al}_2\text{O}_3$  sebanyak 40 mg dan diatur pada

pH 11, sedangkan untuk waktu radiasi dilakukan pada waktu optimum dari masing-masing kondisi reaksi. Pada kondisi reaksi tanpa katalis  $\text{Al}_2\text{O}_3$  dan tanpa radiasi UV, metilen biru dibiarkan terdegradasi selama 24 jam. Pada kondisi reaksi tanpa katalis  $\text{Al}_2\text{O}_3$  dan dengan radiasi UV, metilen biru diradiasi selama 12 jam. Metilen biru direaksikan dengan katalis  $\text{Al}_2\text{O}_3$  selama 5 jam pada kondisi reaksi dengan katalis  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , tanpa diradiasi UV. Sedangkan pada kondisi dengan katalis  $\text{Al}_2\text{O}_3$  dan dengan radiasi UV, metilen biru diradiasi selama 4 jam. Data penentuan efektivitas fotodegradasi metilen biru dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Data dan hasil perhitungan penentuan efektivitas fotodegradasi metilen biru

Kondisi	%D (%)
Tanpa katalis $\text{Al}_2\text{O}_3$ dan tanpa radiasi UV	$(20,64 \pm 0,64)\%$
Tanpa katalis $\text{Al}_2\text{O}_3$ , dengan radiasi UV	$(22,35 \pm 0,90)\%$
Dengan katalis $\text{Al}_2\text{O}_3$ , tanpa radiasi UV	$(24,40 \pm 1,29)\%$
Dengan katalis $\text{Al}_2\text{O}_3$ dan dengan radiasi UV	$(30,22 \pm 1,17)\%$

Dari keempat nilai efektivitas tersebut, terlihat bahwa fotodegradasi metilen biru dengan katalis  $\text{Al}_2\text{O}_3$  dan dengan radiasi UV mempunyai efektivitas paling tinggi dibandingkan dengan persentase degradasi lainnya.

Apabila dibandingkan dengan katalis lain seperti  $\text{ZnO}$ , katalis  $\text{Al}_2\text{O}_3$  kurang efektif dalam mendegradasi zat warna metilen biru, yaitu hanya sebesar  $(30,22 \pm 1,17)\%$ . Persentase degradasi metilen biru dengan katalis  $\text{ZnO}$  adalah  $(94,67 \pm 0,35)\%$  (Ratih, 2009).

## SIMPULAN DAN SARAN

### Simpulan

1. Persentase fotodegradasi metilen biru terbesar diperoleh pada penambahan berat  $\text{Al}_2\text{O}_3$  sebanyak 40 mg, pH larutan 11 dan waktu radiasi selama 4 jam.
2. Fotodegradasi metilen biru dengan sinar UV dan katalis  $\text{Al}_2\text{O}_3$  kurang efektif karena persentase degradasinya hanya sebesar  $(30,22 \pm 1,17)\%$ .

### Saran

1. Perlu dilakukan penentuan kondisi optimum yang lain seperti variasi temperatur, intensitas sinar lampu UV, dan penambahan  $\text{H}_2\text{O}_2$  untuk mendapatkan persentase degradasi (%D) yang lebih besar.
2. Perlu dilakukan penelitian fotodegradasi metilen biru dengan campuran dua katalis, seperti katalis  $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{ZnO}$  atau  $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{TiO}_2$ .

## UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih penulis ucapkan kepada Bapak Dr. Drs. Manuntun Manurung, M.S., Ibu Dra. Wiwik Susanah Rita, M.Si., dan Bapak Anak Agung Bawa Putra, S.Si., M.Si., serta semua pihak yang telah membantu sehingga tulisan ini dapat terselesaikan.

## DAFTAR PUSTAKA

Ali, R. and Siew, ooi Bon, 2006, Photodegradation of New Methylen Blue

- N in Aqueous Solution Using Zinc Oxide and Titanium Dioxide as Catalyst, *Jurnal Teknologi*, 45 : 31–42
- Attia, A. J., Kadhim, S. H., and Hussein, F. H., 2008, Photocatalytic Degradation of Textile Dyeing Wastewater Using Titanium Dioxide and Zinc Oxide, *E-J. Chem.*, 5 (2) : 219–223
- Dhamayanti, Y., Wijaya, K., dan Tahir, I., 2005, Fotodegradasi Zat Warna Methyl Orange Menggunakan Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-Montmorillonit dan Sinar Ultraviolet, *Proseding Seminar Nasional DIES ke 50 FMIPA UGM*, 22–29
- Fatimah, Is, Sugiharto, E., Wijaya, K., Tahir, I., dan Kamalia, 2006, Titan Dioksida Terdispersi Pada Zeolit Alam (TiO<sub>2</sub>/Zeolit) dan Aplikasinya untuk Fotodegradasi Congo Red, *Indo. J. Chem.*, 6 (1) : 38–42
- Hamdaoui, O. and Chiha, M., 2006, Removal of Methylene Blue from Aqueous Solutions by Wheat Bran, *Acta Chim.* 54 : 407–418
- Madhu, G. M., Lourdu, A. R. M. A., Vasantha, Kumar Pai K., and 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> Oxidation Processes, *Indian Journal of Chemical Technology*, 14 : 139–144
- Nandiyanto, A. B. D., 2008, Catatan Kecil Mengenai Pengolahan Limbah Dengan Menggunakan Sinar Matahari, <http://io.ppi-jepang.org>, 21 Oktober 2009
- Qourzal, S., Tamimi, M., Assabbane, A., and Ait-Ichou, Y., 2009, Photodegradation of 2-Naphthol Using Nanocrystalline TiO<sub>2</sub>, *M.J. Condensed Mater*, 11(2) : 55–59
- Ratih M., I. G. A. A., 2009, Fotodegradasi Metilen Biru dengan Sinar UV dan Katalis ZnO, *Skripsi*, Universitas Udayana, Bukit Jimbaran
- Sumerta, I K., Wijaya, K., dan Tahir, I., 2002, Fotodegradasi Metilen Biru Menggunakan Katalis TiO<sub>2</sub>-Montmorilonit dan sinar UV, *Makalah Seminar Nasional Pendidikan Kimia*, FMIPA, Universitas Negeri Yogyakarta, 19 Oktober 2002
- Wahi, R. K., Yu, W. W., Liu, Y., Mejia, M. L., Falkner, J. C., Nolte, W., and Colvin, V. L., 2005, Photodegradation of Congo Red Catalyzed By Nanosized TiO<sub>2</sub>, *Journal of Molecular Catalysis A: Chemical*, 242 : 48–56
- Wibowo, W., Surnadi, dan Yulia, I., 2007, Studi Reaksi Konversi Katalisis 2-Propanol Menggunakan Katalis dan Pendukung Katalis γ-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, *Bulletin of Chemical Reaction Engineering & Catalysis*, 2(2-3) : 56–61
- 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, *Teknoin*, 11(3) : 199–209
- Yu, H. Y., M. F. Li, B. J. Cho, C. C. Yeo, and M. S. Joo, 2002, Energy Gap and Band Alignment For (HfO<sub>2</sub>)<sub>x</sub>(Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)<sub>1-x</sub> on (100) Si, *Applied Physics Letters*, 81(2) : 376–378