

FOTODEGRADASI ZAT WARNA TEKSTIL METHYLENE BLUE DAN CONGO RED MENGUNAKAN KOMPOSIT ZnO-AA DAN SINAR UV

Ni Putu Diantariani*, Iryanti Eka Suprihatin, dan Ida Ayu Gede Widihati

Jurusan Kimia, FMIPA, Universitas Udayana, Kampus Bukit Jimbaran, Kuta, 80364

**E-mail : putu_diantariani@unud.ac.id*

ABSTRAK

Telah dilakukan penelitian mengenai fotodegradasi zat warna tekstil methylene blue (MB) dan congo red (CR) menggunakan komposit ZnO-arang aktif (ZnO-AA) dan sinar ultraviolet (UV). Penelitian meliputi sintesis seng oksida (ZnO), pembuatan komposit ZnO-AA, dan penggunaan komposit untuk mendegradasi zat warna MB dan CR. Dalam penelitian ini dipelajari pengaruh pH, konsentrasi dan waktu radiasi sinar UV terhadap persentase zat warna yang terdegradasi. Selanjutnya ditentukan laju dan efektivitas fotodegradasi zat warna MB dan CR dengan komposit ZnO-AA.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa persentase fotodegradasi MB optimal pada pH 11 dan waktu radiasi 4 jam, sedangkan CR pada pH 5 dan waktu radiasi 4 jam. Semakin tinggi konsentrasi awal MB ataupun CR maka semakin kecil persentase fotodegradasinya. Nilai tetapan laju fotodegradasi untuk zat warna MB dan CR dengan komposit ZnO-AA berturut-turut adalah 0,8316 dan 1,4938 jam⁻¹. Fotokatalis komposit ZnO-AA efektif dalam mendegradasi zat warna MB dan CR dengan persentase fotodegradasi berturut-turut sebesar (99,40 ± 0,23)% dan (99,61 ± 0,24) %.

Kata kunci : komposit ZnO-arang aktif, fotodegradasi, methylene blue, congo red.

ABSTRACT

Research on photodegradation of textile dyes of methylene blue (MB) and congo red (CR) using ZnO-Activated Carbon composite and ultraviolet (UV) light has been done. This research included synthesis zinc oxide (ZnO), synthesis ZnO-Activated Carbon, and the application of composite to degrade textile dyes of MB and CR. In this research studied the effect of pH, concentration and time of UV radiation towards photodegradation percentages of dyes. Then it determined the rate and the effectivity of photodegradation of MB and CR dyes using ZnO-Activated Carbon composite.

The result showed that photodegradation of MB reach optimal condition at pH 11 with radiation time 4 hour, whereas CR is at pH 5 with the same radiation time. The more initial concentration of MB and CR applicated, the lower of photodegradation percentages. Constanta of photodegradation rate of MB and CR dyes using ZnO-Activated Carbon composite are 0.8316 and 1.4938 hour⁻¹ respectively. ZnO-Activated Carbon composite as a photocatalyst can degrade effectively MB and CR dyes with photodegradation percentages of 99.40±0.23 % and 99.61±0.24% respectively.

Keywords : ZnO-Activated Carbon composite, photodegradation, methylene blue, congo red

PENDAHULUAN

Zat warna tekstil merupakan zat warna sintesis yang tidak ramah lingkungan dan sulit terdegradasi secara alami. Selain itu zat warna

tekstil juga bersifat toksik dan karsinogenik. Oleh karena itu sangatlah perlu untuk mengolah limbah zat warna tekstil sebelum dibuang ke perairan. Metode fotodegradasi merupakan alternatif yang sedang dikembangkan untuk meminimalisir

kandungan zat warna dari limbah tekstil dengan bantuan fotokatalis dan sinar ultra violet. Dalam penelitian ini akan digunakan fotokatalis ZnO karena memiliki berbagai keunggulan antara lain memiliki *band gap* yang lebar yaitu 3,17 eV (Ali and Siew, 2008), cenderung murah dan memiliki aktivitas fotokatalitik tinggi (Sakthivel *et. al.*, 2003).

Fotokatalis yang merupakan semikonduktor memegang peranan penting dalam proses fotodegradasi zat warna tekstil. Dalam prakteknya penggunaan ZnO atau semikonduktor lainnya sebagai katalis memiliki keterbatasan dalam menyerap zat warna sehingga reaksi yang terjadi pada permukaan katalis tidak maksimal. Untuk meningkatkan konsentrasi zat warna di sekitar partikel ZnO dilakukan dengan mengkombinasikan katalis tersebut dengan arang aktif. Arang aktif mampu menyerap berbagai senyawa organik sintetis termasuk zat warna dan mentransfernya secara progresif ke ZnO sehingga proses fotodegradasi lebih optimal (T.T. Lim *et. al.*, 2011). Dalam penelitian ini komposit ZnO-AA dibuat dalam bentuk pelet sehingga lebih mudah dalam proses pemisahan filtrat dengan komposit dibandingkan dalam bentuk serbuk.

ZnO yang digunakan dalam penelitian ini adalah ZnO hasil sintesis yang dibuat dengan metode pengendapan. Metode pengendapan ini mempunyai keunggulan karena prosesnya menggunakan suhu rendah dan mudah untuk dilakukan karena menggunakan bahan-bahan yang mudah didapatkan (Medina dkk., 2012). Pada sintesis partikel ZnO digunakan prekursor $\text{Zn}(\text{CH}_3\text{COO})_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ sebagai sumber Zn.

PH memegang peranan yang cukup penting dalam mengkarakterisasi jenis limbah zat warna tekstil dan juga dalam memproduksi radikal hidroksi. Radikal hidroksi ini yang berperan dalam proses fotodegradasi zat warna. Semakin banyak radikal hidroksi yang dihasilkan maka proses fotodegradasi akan semakin cepat dan jumlah zat warna yang terdegradasi juga semakin banyak. Lamanya radiasi sinar UV terhadap zat warna dan konsentrasi zat warna juga mempengaruhi jumlah zat warna yang terdegradasi. (Ali and Siew, 2008; A.S. Stasinakis, 2008; Abdollahi, 2011; Abdollahi *et. al.*, 2011).

Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk (i) menentukan pengaruh pH, lamanya

radiasi sinar UV dan konsentrasi zat warna terhadap jumlah zat warna Methylene blue (MB) dan congo red (CR) yang terdegradasi, (ii) menentukan tetapan laju dan (iii) efektivitas fotodegradasi CR dan metylene blue menggunakan komposit ZnO-AA dan sinar UV.

MATERI DAN METODE

Bahan

Bahan-bahan kimia yang digunakan dalam penelitian ini adalah berkualitas pro analisis (p.a) yaitu : $\text{Zn}(\text{CH}_3\text{COO})_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, triethanolamine (TEA), n-propyl-amine, zat warna congo red (CR) ($\text{C}_{32}\text{H}_{22}\text{N}_6\text{Na}_2\text{O}_6\text{S}_2$), hydrophobic PTFE membrane filter ukuran pori 0,1 μm diameter 47 mm, etanol, akuabides, arang aktif, gipsum ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), zat warna metylene blue klorida (MB) ($\text{C}_{16}\text{H}_{18}\text{N}_3\text{SCL}$), seng oksida (ZnO), natrium hidroksida (NaOH), asam klorida (HCl) dan kertas saring Whatman 42.

Peralatan

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah : alat-alat gelas, timbangan analitik, mircocomputer pH meter Hanna HI 931000, pemanas, kotak radiasi, plastik hitam, penyaring vakum dan spektrofotometer UV-Vis 1800 Shimadzu.

Cara Kerja

Sintesis ZnO

Pada penelitian sebelumnya telah diperoleh kondisi optimum sintesis ZnO yaitu dengan menggunakan perbandingan pelarut air 150 mL dan etanol 150 mL. Dalam penelitian ini terlebih dahulu disintesis ZnO dengan perbandingan pelarut pada kondisi optimum tersebut. Sebanyak 0,15 mol seng asetat dihidrat dilarutkan 150 mL air demineralisasi. Dibuat juga larutan 0,30 mol TEA dan 0,30 mol n-propylamine dalam 150 mL etanol absolut (99,5%). Larutan seng asetat ditambahkan secara perlahan-lahan sambil diaduk ke dalam larutan TEA dan n-propylamin. Pencampuran larutan dilakukan pada labu alas bulat yang dilengkapi dengan kondensor untuk mengontrol larutan pada tekanan uap jenuh. Larutan direfluk dan dipanaskan pada suhu 65-77°C selama 8 jam. Endapan putih yang diperoleh kemudian disaring

dengan *fiberglass mikropore filter*, kemudian endapan dicuci tiga kali dengan etanol untuk menghilangkan reagen organik dan OH⁻ yang tersisa. Selanjutnya endapan dikeringkan dengan oven pada suhu 60°C.

Pembuatan Komposit ZnO-AA

Sebanyak 0,75 gram gipsium ditambahkan 0,075 gram karbon aktif dan 0,425 gram ZnO. Komposit dibuat homogen dengan cara diaduk sampai merata. Komposit dimasukkan ke dalam alat pembuat pelet komposit dan ditambahkan air setetes demi setetes sampai 1 mL. Selanjutnya komposit dipadatkan sehingga diperoleh pelet komposit dengan ukuran diameter 1,5 cm dan tinggi 0,45 cm. Pelet komposit yang dihasilkan kemudian dikeringkan dan disimpan di desikator untuk pemakaian selanjutnya.

Penentuan pH Optimum Fotodegradasi

Enam buah gelas beker 250 mL diisi 100 mL larutan MB 100 ppm. Keenam larutan tersebut diatur pHnya dari 3, 4, 6, 8, 10, dan 12. Kemudian gelas beker diradiasi dengan sinar UV selama 2 jam, sambil diaduk dengan pengaduk magnetik. Setelah proses radiasi, filtrat dari masing-masing gelas diukur absorbansinya dengan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang maksimum dari MB. Hal yang sama dilakukan untuk larutan CR.

Penentuan Waktu Optimum Fotodegradasi

Tujuh buah gelas beker 250 mL diisi 100 mL larutan MB 100 ppm, kemudian pHnya diatur pada pH optimum yang diperoleh pada prosedur di atas. Selanjutnya gelas diradiasi dengan sinar UV masing-masing selama 0,5; 1; 2; 3; 4; 5; dan 6 jam, sambil diaduk dengan pengaduk magnetik. Kemudian filtrat masing-masing gelas beker diukur absorbansinya dengan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang maksimum dari MB. Hal yang sama dilakukan untuk larutan CR.

Pengaruh Konsentrasi Larutan MB dan CR

Empat buah gelas beker 250 mL diisi 100 mL larutan MB berturut-turut 50, 75, 100, 150 ppm dan ditambahkan komposit ZnO-AA. Gelas beker dimasukkan ke reaktor. Selanjutnya gelas beker diradiasi dengan lampu UV selama 2 jam, sambil diaduk dengan pengaduk magnetik. Setelah proses radiasi, suspensi disaring dan filtrat diukur absorbansinya dengan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang maksimum dari MB. Hal yang sama dilakukan untuk larutan CR.

Penentuan konstanta laju reaksi (k)

Absorbansi yang diperoleh pada masing-masing filtrat pada penentuan waktu optimal dimasukkan dalam persamaan regresi linear MB atau CR sehingga konsentrasi filtrat MB atau CR dapat diketahui. Selanjutnya dibuat grafik hubungan $\ln [C]$ vs t (waktu). Slope kurva merupakan tetapan laju reaksi (k).

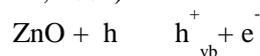
Penentuan Efektivitas Proses Fotodegradasi

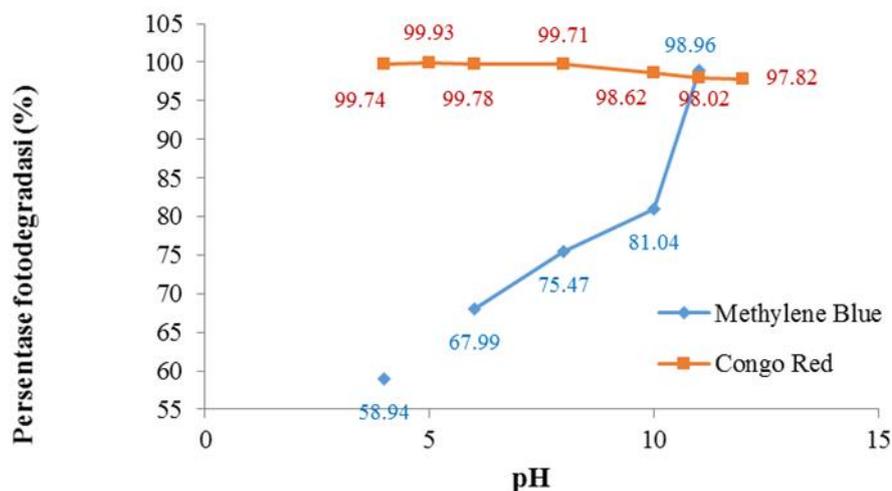
Tiga buah gelas beker 100 mL diisi 100 mL larutan MB 100 ppm atau CR 100 ppm, kemudian pHnya diatur pada pH optimum. Selanjutnya gelas beker diradiasi dengan sinar UV selama waktu optimum (4 jam) sambil diaduk dengan pengaduk magnetik. Setelah proses radiasi, filtrat masing-masing gelas beker diukur absorbansinya dengan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang maksimum dari MB atau CR. Absorbansi yang diperoleh kemudian dimasukkan ke dalam persamaan regresi linear larutan MB atau CR, sehingga diperoleh konsentrasi MB atau CR. Efektivitas fotodegradasi MB atau CR dengan bahan fotokatalis komposit ZnO-AA dan sinar UV dapat ditentukan dengan perhitungan persentase degradasi (% D).

HASIL DAN PEMBAHASAN

pH Optimum Proses Fotodegradasi MB dan CR

Gambar 1. memperlihatkan bahwa pH awal dari zat warna mempengaruhi jumlah zat warna MB atau CR yang dapat didegradasi oleh komposit ZnO-AA. Persentase fotodegradasi MB terbesar terjadi pada pH 11 yaitu sebesar 98,02%. Semakin tinggi nilai pH semakin banyak ion hidroksida yang terdapat dalam larutan sehingga jumlah radikal hidroksi ($\cdot\text{OH}$) yang terbentuk melalui proses oksidasi ion OH⁻ oleh *hole* juga semakin meningkat. Semakin banyak radikal hidroksi yang terbentuk mengakibatkan semakin banyak MB yang terdegradasi (Qourzal *et. al.* 2009). Mekanisme reaksinya dapat dijelaskan sebagai berikut (Attia *et. al.*, 2007; Lachheb *et. al.*, 2002).





Gambar 1. Pengaruh pH awal MB dan CR terhadap kemampuan fotodegradasi komposit ZnO-AA

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). MB yang merupakan salah satu zat warna yang bermuatan positif (kation) dalam penelitian ini terdegradasi dengan persentase degradasi terbesar pada kondisi alkali yaitu pada pH 11. Keadaan ini menunjukkan bahwa fotodegradasi MB efektif pada kondisi alkali. Hasil penelitian yang dilakukan oleh Madhu *et. al.* (2007) juga memperlihatkan bahwa persentase degradasi semakin besar dengan kenaikan pH larutan.

Pada pH di atas 11 MB mengalami pergeseran panjang gelombang dari panjang gelombang 664,2 nm menjadi 590,6 nm. Penambahan pH 12 ini MB mengalami perubahan struktur dan ikatan terkonjugasinya berkurang, sehingga terjadi pergeseran panjang gelombang ke arah panjang gelombang yang lebih pendek. Pada pH 12, jika dilakukan pengukuran absorbansi pada λ 664,2 nm maka absorbansi MB yang terukur tidak menunjukkan konsentrasi yang sebenarnya.

Hal yang sebaliknya terjadi pada fotodegradasi CR. PH optimum proses fotodegradasi CR dengan komposit ZnO-AA terjadi pada kondisi asam yaitu pada pH 5 yang memberikan persentase fotodegradasi tertinggi yaitu 99,93%. Pada pH basa (alkali) permukaan ZnO akan bermuatan negatif (Ali and Siew, 2008),

sehingga CR yang merupakan zat warna anionik (yang bermuatan negatif) kurang teradsorpsi pada permukaan ZnO yang bermuatan sama. Hal ini mengakibatkan CR kurang efektif terdegradasi dalam suasana basa.

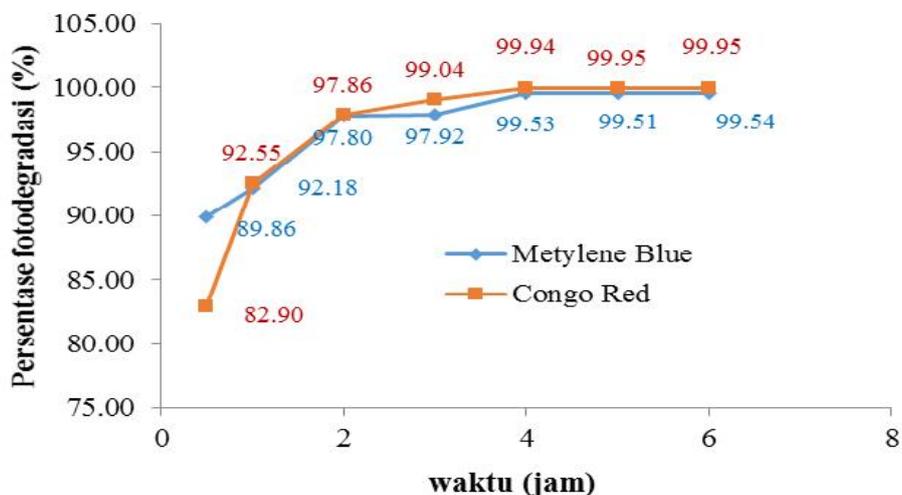
Waktu Optimum Fotodegradasi MB dan CR

Penentuan waktu optimum fotodegradasi dilakukan pada pH optimum yang telah diperoleh. Hasil penentuan waktu optimum fotodegradasi MB dan CR oleh komposit ZnO-AA diperlihatkan pada Gambar 2.

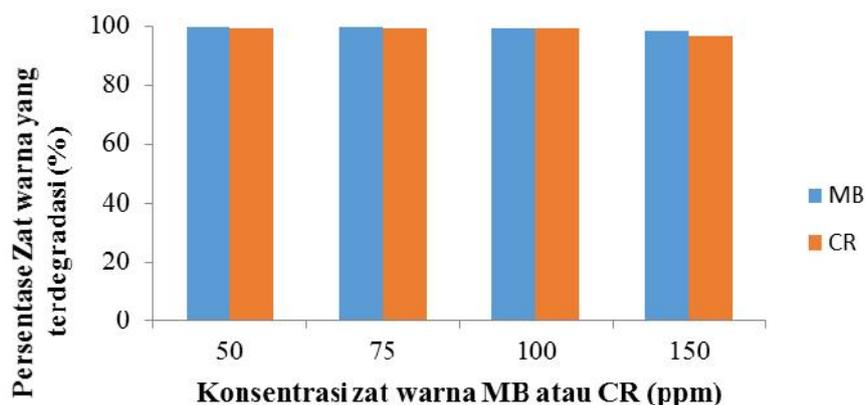
Dari Gambar 2 terlihat dengan meningkatkan waktu fotodegradasi maka persentase fotodegradasi juga semakin bertambah. Persentase fotodegradasi meningkat tajam pada waktu awal dan peningkatannya menurun seiring dengan bertambahnya waktu fotodegradasi. Untuk kedua zat warna MB dan CR, persentase fotodegradasi setelah 4 jam proses fotodegradasi mengalami peningkatan yang tidak berarti (cenderung konstan). Hal ini berarti bahwa waktu optimum fotodegradasi MB dan CR terjadi pada waktu 4 jam.

Pengaruh Konsentrasi Zat Warna MB dan CR

Hasil fotodegradasi Zat warna MB dan CR pada beberapa konsentrasi yang berbeda menggunakan Fotokatalis Komposit ZnO-AA diperlihatkan pada Gambar 3



Gambar 2. Pengaruh waktu terhadap persentase fotodegradasi MB dan CR oleh komposit ZnO-AA



Gambar 3. Kurva persentase fotodegradasi pada variasi konsentrasi MB dan CR

Gambar 3 memberikan informasi bahwa pada konsentrasi 50 dan 75 ppm, zat warna MB dan CR yang terdegradasi 100%, pada konsentrasi 100 ppm terdegradasi mendekati 100%. Sementara pada konsentrasi 150 ppm masih cukup banyak jumlah zat warna baik MB maupun CR yang tidak terdegradasi sehingga masih menyisakan warna yang cukup terang pada larutan setelah proses fotodegradasi. Pada konsentrasi 100 ppm, MB yang terdegradasi 99,7 % dan CR 99%, sedangkan pada konsentrasi 150 ppm MB yang terdegradasi 98,3% dan CR 96,4%.

Gambar 3 juga menjelaskan jika semakin tinggi konsentrasi awal MB ataupun CR maka semakin kecil persentase degradasinya, terlihat

dari terjadinya penurunan persentase degradasi dari MB dan CR 100 ppm ke 150 ppm. Hal ini terjadi karena zat warna dengan konsentrasi lebih tinggi memiliki jumlah molekul yang lebih banyak sehingga memerlukan jumlah radikal hidroksida yang lebih banyak. Dalam penelitian ini massa dari fotokatalis dan intensitas sinar UV tetap, sehingga jumlah radikal hidroksida yang dihasilkan oleh fotokatalis juga tetap. Akibatnya akan terjadi kekurangan radikal hidroksida yang berfungsi untuk mengoksidasi zat warna MB dan CR. Penelitian yang dilakukan oleh Abdollahi (2011); Ling *et. al.*, (2004) dan Zhuo *et. al.*, (2008), juga menyebutkan persentase degradasi berkurang dengan kenaikan konsentrasi.

Laju Fotodegradasi MB dan CR Menggunakan Komposit ZnO-AA.

Fotodegradasi MB dan CR mengikuti kinetika reaksi orde 1, yang persamaan lajunya adalah (Dogra and Dogra, 1984) :

$$\ln [C] = \ln [C]_0 - kt$$

Keterangan :

[C]₀ = konsentrasi zat warna pada saat awal (t = 0)

[C]_t = konsentrasi zat warna pada saat t waktu penyinaran

k = tetapan laju fotodegradasi

T = Waktu

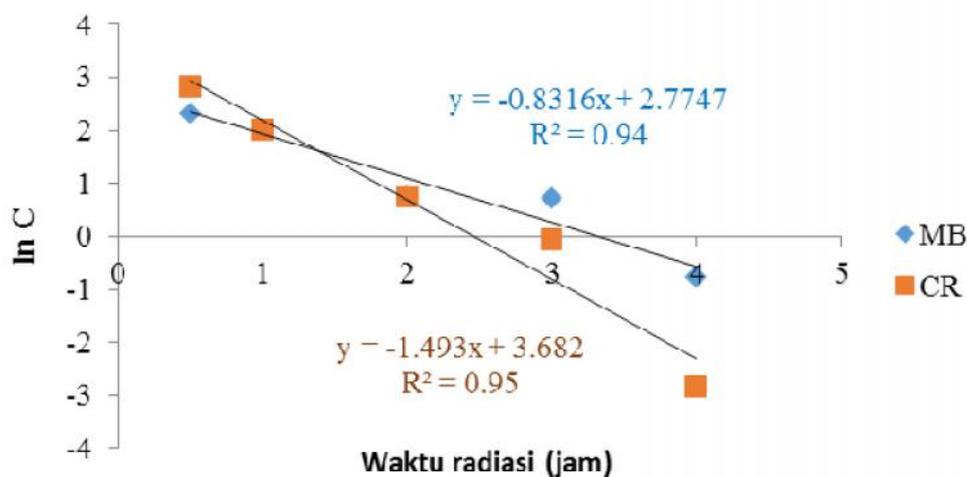
Dari persamaan kurva ln [C] terhadap t merupakan suatu garis lurus. Nilai *slope* merupakan negatif tetapan laju fotodegradasi (-k). Berdasarkan ini maka konsentrasi zat warna yang tersisa dalam larutan (tidak terdegradasi) akan dimonitor dengan perubahan waktu radiasi.

Laju fotodegradasi MB dan CR dengan fotokatalis komposit ZnO-AA dibuat dengan mengalurkan antara waktu radiasi zat warna (jam) sebagai sumbu x dengan ln konsentrasi zat warna yang tersisa dalam larutan (ln C) sebagai sumbu y, seperti yang diperlihatkan pada Gambar 4.

Kurva laju fotodegradasi MB dan CR = -0.8316x + 2,7747 sedangkan untuk CR adalah y = -1,4938x + 3,6828. Nilai slope dari persamaan laju merupakan negatif dari konstanta laju fotodegradasi (-k). Dengan demikian, nilai tetapan laju fotodegradasi untuk zat warna MB dan CR dengan komposit ZnO-AA berturut-turut adalah 0,8316 dan 1,4938 jam⁻¹. Kecepatan fotodegradasi zat warna CR oleh komposit ZnO-AA lebih cepat hampir 2 kalinya dibandingkan dengan kecepatan fotodegradasi zat warna MB.

Efektivitas Fotodegradasi MB dan CR Menggunakan Komposit ZnO-AA

Persentase degradasi dari MB 100 ppm maupun CR 100 ppm dengan menggunakan fotokatalis komposit ZnO-AA pada kondisi optimum hampir mendekati 100%. Hal ini membuktikan bahwa komposit ZnO-AA sangat efektif dalam mendegradasi zat warna MB dan CR. Sementara penelitian yang sebelumnya telah dilakukan oleh Diantariani, dkk. (2014) MB terdegradasi sebesar 96,68% dengan fotokatalis ZnO dan penelitian Widiyanti (2010) yang mendegradasi CR dengan fotokatalis ZnO, memberikan persentase degradasi (92,89 ± 0,19) %.



Gambar 4. Kurva laju fotodegradasi MB dan CR menggunakan komposit ZnO-Arang Aktif

Arang aktif yang dicampurkan pada katalis ZnO memberikan kontribusi yang besar dalam mempercepat proses fotodegradasi. Arang aktif berfungsi mentransfer molekul zat warna methylene MB atau CR ke permukaan katalis ZnO sehingga degradasi menjadi lebih optimal. Arang aktif ini menyediakan luar permukaan yang cukup besar untuk penyerapan zat warna MB dan CR, sehingga zat warna tersebut lebih terkonsentrasi pada permukaan fotokatalis ZnO. Hal ini mengakibatkan zat warna lebih mudah dan lebih cepat didegradasi oleh radikal hidroksi yang terdapat pada permukaan fotokatalis ZnO.

SIMPULAN DAN SARAN

Simpulan

Dari penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa proses fotodegradasi methylene blue (MB) secara optimal oleh komposit ZnO-AA terjadi pada kondisi basa yaitu pH 11, sedang congo red (CR) pada kondisi asam yaitu pH 5. Sementara waktu radiasi sinar UV optimum proses fotodegradasi kedua zat warna MB dan CR adalah 4 jam. Semakin tinggi konsentrasi awal MB ataupun CR maka semakin kecil persentase fotodegradasinya. Nilai tetapan laju fotodegradasi untuk zat warna MB dan CR dengan komposit ZnO-AA berturut-turut adalah 0,8316 dan 1,4938 jam⁻¹. Fotokatalis komposit ZnO-AA efektif dalam mendegradasi zat warna MB dan CR dengan persentase degradasi berturut-turut sebesar (99,40±0,23)% dan (99,61±0,24)%.

Saran

Dari penelitian yang telah dilakukan disarankan untuk mengkaji penggunaan komposit ZnO/arang aktif untuk mendegradasi limbah organik yang lain selain pewarna.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kepada DIKTI dan LPPM Universitas Udayana yang telah memberikan dana penelitian melalui dana penelitian hibah bersaing tahun 2014.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdollahi, Y., Abdullah, A.H., Zainal, Z., and Yuzof, N.A., 2011, Photodegradation of m-cresol by Zinc Oxide under Visible-light Irradiation, *International Journal of Chemistry*, 3 (3)
- 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*, p. 1-14
- Attia, A.J., Kadhim,S.H., and Hussien, F. H., 2007, Phoyocataliytc Degradation of Textile Dyeing Wastewater Using Titanium Dioxide and Zinc Oxide, *E-Journal of Chemistry*, 2 : 219-223
- Diantariani, N.P., Widihati, I.A.G., dan Megasari, I G.A.A.R., 2014, Fotodegradasi Metilen Biru dengan Sinar UV dan Katalis ZnO, *Jurnal Kimia*, 8 (1) : 137-143
- Dogra, S.K. and Dogra, S., 1984, *Physical Chemistry Through Problems*, a.b. Mansyur, U., Universitas Indonesia, Jakarta
- Lachheb, H., Puzenat, E., Houas, A., Ksibi, M., Elaoui, E., Guillard, C., and Herrmann, 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*, 39 : 75-90
- Ling, C.M., Mohamed, A.R., and Bhatia, S., 2004, Photodegradation of Methylene Blue Dye in Aqueous Stream Using Immobilized TiO₂ Film Catalyst: Synthesis, Characterization and Activity Studies, *Jurnal Teknologi*, p. 91-103
- Madhu,G.M., Lourdu, An.R.M.A., Vasanta, Kumar Pai.K., and Rao, Shreyas., 2007, Photodegradation of methylene blue dye using UV/BaTiO₃, UV/H₂O₂ and UV/H₂O₂/ BaTiO₃, *Indian Journal of Chemical Teknologi*, 14 : 139-144
- Medina, A., Bejar, L., Borjas, S.E., Zarate, J., Vargas, R., Herrera, G., and Ruiz, A.,

- 2012, Characterization of ZnO Nanoparticles with Short-Bar Shape Produced by Chemical Precipitation, *Materias Letters*, 71 ; 81-83
- Qourzal, S., Tamimi, M., Assabane, A., and Ait-Ichou, Y., 2009, Photodegradation of 2-naphthol using Nanocrystalline TiO₂, *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 TiO₂, *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
- T.-T. Lim, P.-S. Yap, M. Srinivasan, and y A. G. Fane, 2011, TiO₂/AC composites for synergistic adsorption-photocatalysis processes: Present challenges and further developments for water treatment and reclamation», *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 41 : 1173–1230
- Widiantini, N. L. P., 2010, Fotodegradasi Congo Red dengan Sinar UV, Katalis ZnO dan Oksidator H₂O₂, *Skripsi*, Jurusan Kimia, Fakultas MIPA, Universitas Udayana, Bukit Jimbaran
- Zhuo, Xi., Xiong, X.Z., and Yuan, J.Z., 2005, Formation of ZnO-hexagonal micro pyramids: a successful control of the exposed polar surfaces with the assistance of an ionic liquid, www.rsc.org/chemcomm