

PEMBUATAN KOMPOSIT ZnO-ARANG AKTIF SEBAGAI FOTOKATALIS UNTUK MENDEGRADASI ZAT WARNA METILEN BIRU

Dewa Ayu Wismayanti, Ni Putu Diantariani, dan Sri Rahayu Santi

Jurusan Kimia FMIPA Universitas Udayana, Bukit Jimbaran, Bali

Email : putu_diantariani@unud.ac.id

ABSTRAK

Pembuatan komposit ZnO-arang aktif dengan perbandingan massa ZnO:arang aktif sebesar 5:2 ; 5:1 dan 15:2 telah dilakukan menggunakan metode sol-gel. Karakterisasi dilakukan dengan menggunakan *X-Ray Diffraction* (X-RD) dan *Fourier Transform Infra Red* (FT-IR). Karakterisasi dengan X-RD memberikan informasi bahwa kristal ZnO berbentuk heksagonal dengan ukuran kristal 23,13 nm; 23,38 nm dan 40,25 nm. Karakterisasi dengan FT-IR menunjukkan bahwa terdapat daerah regangan Zn-O, gugus C-O alifatik, gugus tekukan C-H, gugus C-C alifatik dan gugus O-H. Dalam penelitian ini, komposit ZnO-arang aktif diaplikasikan sebagai fotokatalis untuk mendegradasi metilen biru melalui radiasi dengan sinar UV selama 5 jam. Komposit ZnO:arang aktif 5:1 pada pH optimum 11 memberikan persentase degradasi metilen biru tertinggi yaitu sebesar $99,97 \pm 0,02$ %.

Kata kunci : komposit ZnO-arang aktif, fotokatalis, fotodegradasi, dan metilen biru

ABSTRACT

Preparation of ZnO-activated carbon composite with a mass ratio of ZnO : activated charcoal of 5:2; 5:1 and 15:2 have been carried out using the sol-gel method. The characterisation of ZnO-activated carbon composite was done by using *X-Ray Diffraction* (X-RD) and *Fourier Transform Infra Red* (FT-IR). The characterization using X-RD showed that the ZnO has a hexagonal crystal structure with crystal size of 23.13 nm; 23.38 nm and 40.25 nm, while FT-IR spectra showed that there were Zn-O strain, C-O aliphatic, C-H bending, C-C aliphatic and O-H bending vibrations. ZnO-activated carbon composite was applied as photocatalyst to degrade methylene blue by irradiating the compound with UV light for 5 hours. The results showed that the ZnO-activated carbon composite at the ratio of 5:1 at optimum pH of 11 gave the highest percentage of methylene blue degradation which was of $99,97 \pm 0,02$ %.

Keywords : ZnO-activated carbon composite, photocatalyst, photodegradation, and methylene blue

PENDAHULUAN

Kemajuan industri tekstil memberikan dampak positif dengan meningkatkan lapangan pekerjaan serta dampak negatif bagi lingkungan berupa limbah zat warna yang dihasilkan karena dapat mengurangi nilai estetika perairan serta menghalangi sinar matahari menembus perairan yang dapat mengganggu proses fotosintesis dalam perairan (Krim dkk., 2006). Salah satu zat warna digunakan dalam pewarnaan tekstil adalah metilen biru yang dapat menyebabkan sianosis serta jika

tersentuh kulit akan menimbulkan iritasi (Hamdaoui and Chiha, 2006).

Metode fotodegradasi merupakan salah satu pengolahan limbah zat warna tekstil dimana dalam metode ini akan menguraikan zat warna organik menjadi senyawa yang lebih sederhana dengan bantuan sinar (foton) dan dipercepat reaksinya dengan menggunakan katalis (Wahi, dkk., 2005). Seng oksida (ZnO) merupakan salah satu katalis yang dapat dipergunakan dalam fotodegradasi dengan nilai *bandgap* sebesar 3,17 eV (Ali and Siew, 2006; Attia, 2008). Penelitian

yang dilakukan oleh Ratih Megasari (2009) menjelaskan katalis ZnO dapat mendegradasi zat warna metilen biru 50 ppm sampai 94,67%.

Salah satu faktor yang menentukan kemampuan fotokatalis dalam mendegradasi adalah adsorpsi. Hal ini disebabkan dalam proses fotodegradasi, terlebih dahulu zat warna akan teradsorpsi ke permukaan partikel fotokatalis kemudian disertai proses oksidasi fotokatalitik. Seng oksida (ZnO) sebagai fotokatalis, mempunyai kemampuan adsorpsi yang rendah sehingga untuk mengatasi kekurangan tersebut fotokatalis ZnO dikombinasikan dengan suatu material adsorben seperti arang aktif (El-Maazawi dkk., 2000).

Metode yang dilakukan untuk membuat komposit ZnO-arang aktif dalam penelitian ini adalah metode sol-gel karena dilakukan pada suhu rendah serta waktu yang dibutuhkan dalam pembentukan senyawa relatif singkat. Hasil dari sintesis komposit ZnO-arang aktif akan dikarakterisasi menggunakan X-RD (*X-ray diffraction*) dan FT-IR (*Fourier Transform Infra Red*).

Penelitian ini juga menentukan kondisi optimum pH, konsentrasi metilen biru dan efektivitas dalam fotodegradasi. pH dalam proses fotodegradasi memiliki peranan penting karena menghasilkan radikal hidroksi. Radikal hidroksi berperan dalam mengoksidasi metilen biru, sehingga semakin banyak radikal hidroksi yang terbentuk, semakin banyak metilen biru yang terdegradasi (Ling, dkk., 2007). Konsentrasi awal metilen biru mempengaruhi jumlah metilen biru yang terdegradasi oleh fotokatalis sehingga perlu diteliti untuk memperoleh konsentrasi optimum metilen biru yang dapat terdegradasi menggunakan komposit ZnO-arang aktif.

MATERI DAN METODE

Bahan

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini berkualitas pro analisis antara lain: $\text{Zn}(\text{CH}_3\text{COO})_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, arang-aktif, NaOH, etanol absolut 98 %, zat warna metilen biru ($\text{C}_{16}\text{H}_{18}\text{N}_3\text{S}$) dan aquades.

Peralatan

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah alat-alat gelas, termometer, timbangan analitik, pengaduk magnetik, kondensor, pemanas, oven, pH meter, adaptor, klem, botol vial, kotak radiasi, plastik hitam, lampu Phillips TUV 15W/G15 T8 dengan panjang gelombang 253,47 nm, spektrofotometer *Fourier Transform Infra Red* (FT-IR) Prestige-21 Shimadzu, spektrofotometer *X-Ray Diffraction* (X-RD) LAB-X XRD-6000 Shimadzu dan spektrofotometer UV-Vis 1800 Shimadzu.

Cara Kerja

Pembuatan komposit ZnO-arang aktif

Dibuat komposit ZnO-arang aktif dengan perbandingan massa ZnO : arang aktif 5:2 ; 5:1 dan 15:2. $\text{Zn}(\text{CH}_3\text{COO})_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ditimbang masing-masing sebanyak 38,53 ; 45,00 dan 47,60 gram dan ditambahkan arang aktif sebanyak masing-masing 5,72 ; 3,32 dan 2,35 gram kemudian dilarutkan ke dalam 80 mL etanol. Setiap campuran diaduk dan dipanaskan pada suhu 76°C pada labu refluks selama 2 jam. Sebanyak 225 mL NaOH 2 M ditambahkan ke dalam setiap campuran dan diaduk selama 1 jam dengan pengaduk magnetik. Campuran didiamkan selama 12 jam kemudian disaring dengan kertas saring. Endapan yang diperoleh kemudian dipanaskan dalam oven pada suhu 60°C dan disimpan dalam desikator (Hartini, 2011). Masing-masing komposit ZnO-arang aktif ini kemudian dikarakterisasi dengan X-RD dan FT-IR.

Penentuan pH optimum fotodegradasi zat warna metilen biru menggunakan komposit ZnO-arang aktif

50 mL larutan metilen biru 100 ppm dipipet dan dimasukkan ke dalam gelas beaker 250 mL yang telah dibungkus dengan plastik hitam. Larutan metilen biru diatur pHnya menjadi pH 9, 10, 11 dan 12 dengan penambahan NaOH dan ditambahkan 50 mg komposit ZnO-arang aktif. Gelas beaker dimasukkan ke kotak radiasi dan pembungkus plastik dilepaskan. Gelas beaker selanjutnya diradiasi dengan sinar UV selama 5 jam dengan ketinggian lampu UV ke larutan metilen biru 15,7 cm dan selama proses fotodegradasi larutan diaduk dengan pengaduk magnetik. Hasil fotodegradasi dari masing-masing gelas beaker disaring menggunakan kertas saring

Whatman 4. Filtrat yang diperoleh dari masing-masing gelas beaker kemudian diukur absorbansinya dengan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang maksimum dari metilen biru.

Konsentrasi metilen biru setelah fotodegradasi diperoleh dengan memasukkan nilai absorbansi ke dalam persamaan regresi linear dari larutan metilen biru. Selanjutnya persentase degradasi diperoleh dengan memasukkan konsentrasi dari metilen biru ke dalam rumus persentase degradasi (%D), yang dirumuskan sebagai berikut :

$$\text{Persentase Degradasi (\%D)} = \frac{C_0 - C_t}{C_0} \times 100\%$$

Keterangan :

C_0 = konsentrasi awal dari metilen biru

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

Penentuan konsentrasi optimum fotodegradasi metilen biru menggunakan komposit ZnO-arang aktif

50 mL larutan metilen biru 50, 75, 100 dan 150 ppm dipipet dan dimasukkan ke dalam gelas beaker 250 mL yang telah dibungkus plastik hitam dan ditambahkan 50 mg komposit ZnO-arang aktif serta pH nya diatur pada pH optimum. Gelas beaker dimasukkan ke kotak radiasi dan pembungkus plastik hitam dilepaskan. Gelas beaker selanjutnya diradiasi dengan sinar UV selama 5 jam dengan ketinggian lampu UV ke larutan metilen biru 15,7 cm dan selama proses fotodegradasi larutan diaduk dengan pengaduk magnetik. Hasil fotodegradasi dari masing-masing gelas beaker disaring menggunakan kertas saring *Whatman 4*. Filtrat yang diperoleh dari masing-masing gelas beaker kemudian diukur absorbansinya dengan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang maksimum dari metilen biru.

Nilai persentase degradasi dihitung dengan cara yang sama seperti pada prosedur penentuan pH optimum fotodegradasi metilen biru sehingga didapatkan konsentrasi optimum metilen biru.

Penentuan persentase degradasi metilen biru pada kondisi optimumnya

50 mL larutan metilen biru dengan konsentrasi degradasi optimum yang diperoleh pada prosedur sebelumnya, dipipet dan dimasukkan ke dalam gelas beaker 250 mL yang

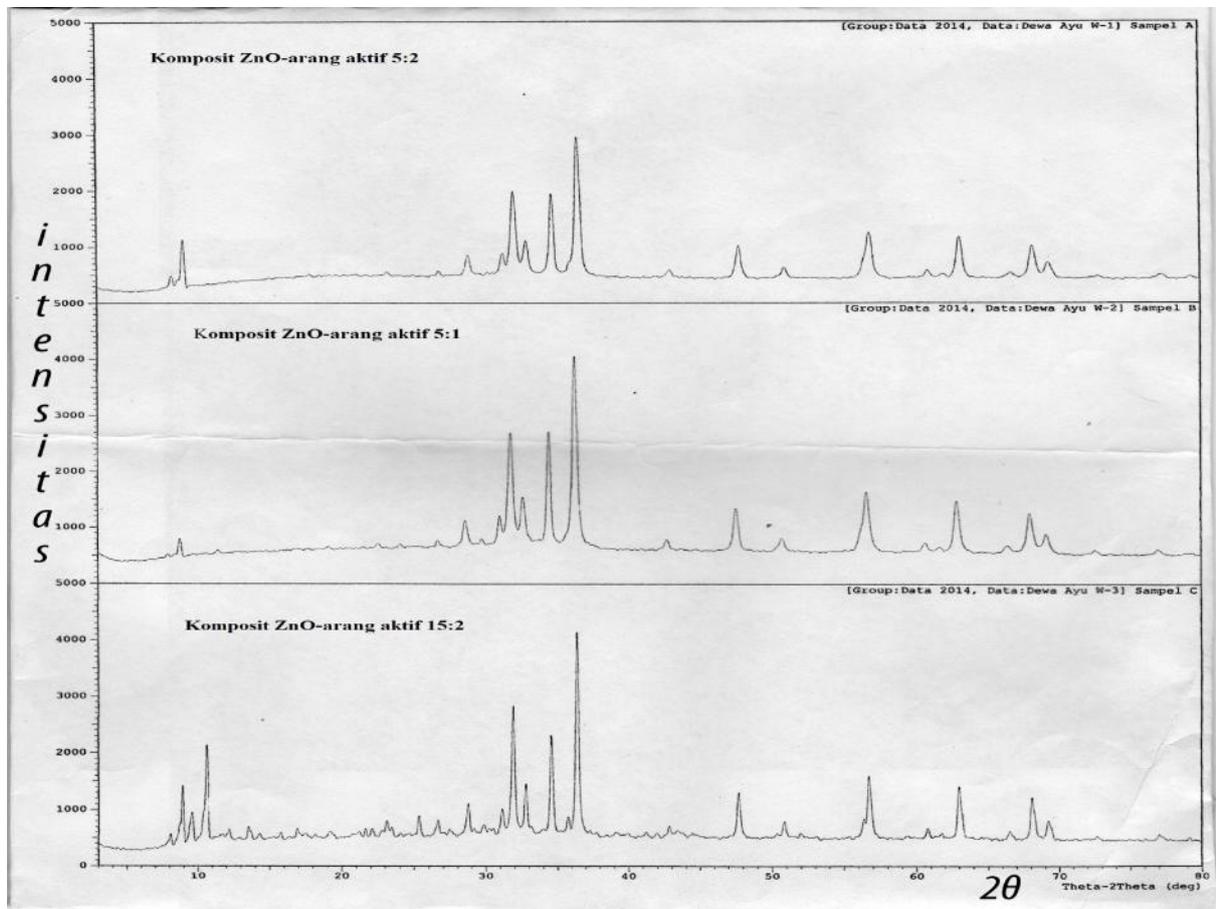
telah dibungkus dengan plastik hitam. Ke dalam masing-masing gelas beaker dimasukkan sebanyak 50 mg komposit ZnO-arang aktif yang memberikan persentase degradasi tertinggi dan pHnya diatur pada pH optimum. Gelas beaker kemudian dimasukkan ke kotak radiasi dan pembungkus plastik hitam dilepaskan. Gelas beaker selanjutnya diradiasi dengan sinar UV selama 5 jam, dengan ketinggian lampu UV ke larutan metilen biru 15,7 cm dan selama proses fotodegradasi larutan diaduk dengan pengaduk magnetik. Hasil fotodegradasi dari masing-masing gelas beaker setelah proses radiasi selanjutnya disaring menggunakan kertas saring *Whatman 4*. Filtrat yang diperoleh dari masing-masing gelas beaker kemudian diukur absorbansinya dengan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang maksimum dari metilen biru. Nilai persentase degradasi dihitung dengan cara yang sama seperti pada prosedur sebelumnya, sehingga didapatkan persentase degradasi metilen biru pada kondisi optimumnya.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Karakterisasi dengan X-Ray Diffraction

Hasil karakterisasi dari komposit ZnO-arang aktif dapat dilihat pada Gambar 1.

Puncak dengan 3 intensitas yang kuat pada 2 untuk komposit ZnO-arang aktif 5:2 adalah $32,08^\circ$; $34,74^\circ$ dan $36,57^\circ$, untuk komposit ZnO-arang aktif 5:1 adalah $31,77^\circ$; $34,43^\circ$ dan $36,25^\circ$ serta untuk komposit ZnO-arang aktif 15:2 adalah $31,88^\circ$; $34,55^\circ$ dan $36,37^\circ$. Penelitian yang dilakukan Arief (2011), Khan (2011), Chen (2010), Sakthivel (2001) dan Sinaga (2009), menyebutkan sudut difraksi 2 $31,77^\circ$ - $32,08^\circ$ arah kisi kristalnya 100, sudut difraksi 2 $34,43^\circ$ - $34,74^\circ$ arah kisi kristalnya 002 dan sudut difraksi 2 $36,25^\circ$ - $36,57^\circ$ 101 yang merupakan karakteristik dari kristal ZnO berbentuk heksagonal, sehingga pada penelitian ini kristal ZnO yang terbentuk adalah heksagonal. Berdasarkan persamaan *Scherrer* didapatkan ukuran kristal ZnO rata-rata pada masing-masing komposit ZnO-arang aktif dengan puncak yang memiliki intensitas tertinggi dari sudut difraksi nya adalah 23,13 nm; 23,38 nm dan 40,52 nm.



Gambar 1. Spektra X-RD komposit ZnO-arang aktif

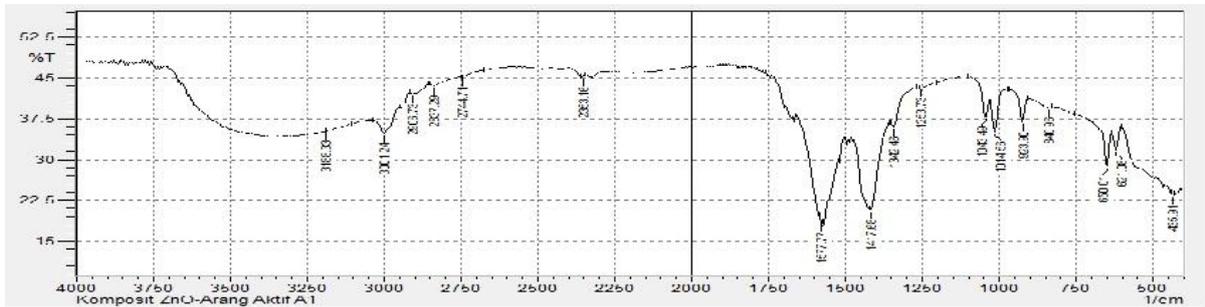
Hasil Karakterisasi dengan FT-IR

Hasil karakterisasi dari komposit ZnO-arang aktif FT-IR terdapat pada Gambar 2, Gambar 3, dan Gambar 4.

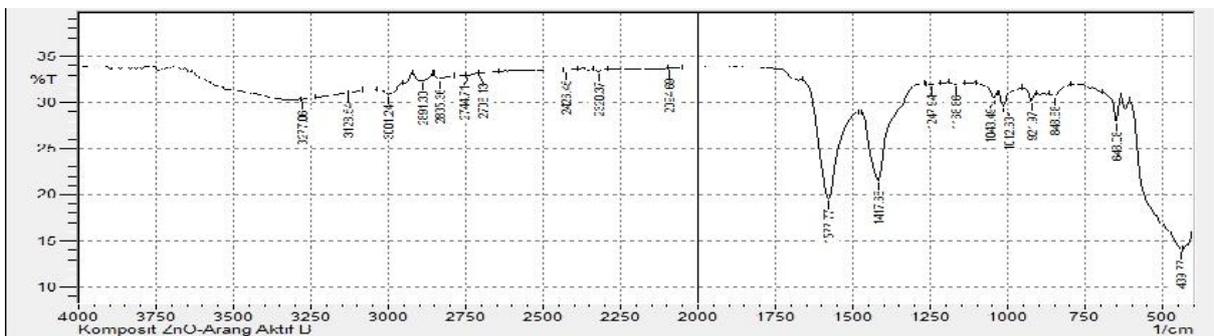
Puncak serapan pada bilangan gelombang $435,91\text{ cm}^{-1}$, $439,77\text{ cm}^{-1}$ dan $455,20\text{ cm}^{-1}$ untuk masing-masing komposit diidentifikasi sebagai daerah regangan ZnO. Penelitian yang dilakukan oleh Chen (2010), Ghosh (2012), Hsieh (2007), Khan (2011) Purbo (2012), Wardhani (2014), juga menyebutkan daerah regangan ZnO berkisar pada bilangan gelombang $400\text{-}500\text{ cm}^{-1}$. Puncak serapan pada bilangan gelombang $1014,56$ dan $1043,59\text{ cm}^{-1}$; $1012,63$ dan $1043,49\text{ cm}^{-1}$ serta $1018,41$ dan $1047,35\text{ cm}^{-1}$ dengan serapan tajam diidentifikasi sebagai daerah regangan C-O alifatik (Swaidan, 2011) yang menjelaskan dalam ketiga komposit terdapat arang aktif. Hal ini

didukung dengan terdapatnya puncak serapan pada bilangan gelombang $1342,46$ dan $1417,68\text{ cm}^{-1}$; $1417,68\text{ cm}^{-1}$ dan $1342,46$ dan $1413,83\text{ cm}^{-1}$ dengan serapan yang kuat merupakan daerah tekukan C-H (Cuhadaroglu, 2008) serta puncak pada bilangan gelombang $1577,77\text{ cm}^{-1}$; $1577,77\text{ cm}^{-1}$; $1570,06\text{ cm}^{-1}$ dengan serapan yang kuat dan meruncing diidentifikasi sebagai regangan C-C alifatik (Silverstein, 1981) yang merupakan gugus-gugus fungsional dari arang aktif.

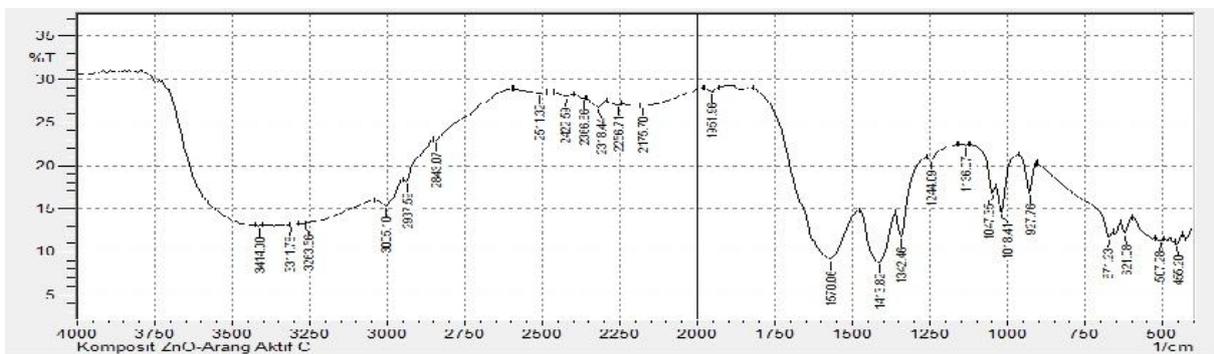
Puncak serapan pada bilangan gelombang 3414 cm^{-1} pada komposit ZnO-arang aktif 15:2 dengan serapan yang melebar diidentifikasi sebagai vibrasi regangan O-H dari molekul H_2O yang terserap ke permukaan ZnO (Yulianti 2012; Palomino, 2006). Molekul H_2O yang terserap didapatkan dari pelarut etanol, seng asetat dihidrat dan NaOH yang dilarutkan dalam H_2O .



Gambar 2. Spektra FT-IR Komposit ZnO:Arang Aktif 5:2



Gambar 3. Spektra FT-IR Komposit ZnO:Arang Aktif 5:1



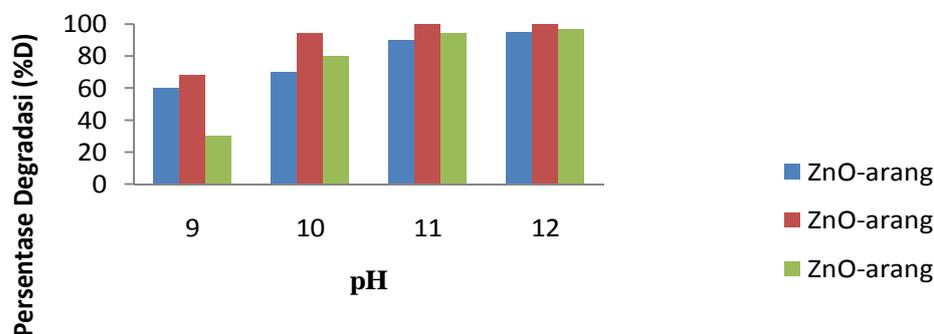
Gambar 4. Spektra FT-IR Komposit ZnO:Arang Aktif 15:2

pH Optimum Fotodegradasi Metilen Biru Menggunakan Komposit ZnO-Arang Aktif

Penentuan pH optimum dalam penelitian ini dilakukan pada rentang pH 9-12 untuk masing-masing komposit ZnO-arang aktif. Gambar.5 menunjukkan pengaruh pH terhadap fotodegradasi metilen biru.

Gambar.5 menunjukkan semakin tinggi nilai pH maka jumlah metilen biru yang terdegradasi semakin banyak. Hal ini terjadi karena kenaikan nilai pH larutan menyebabkan konsentrasi OH^- semakin meningkat sehingga OH^- yang bereaksi dengan *hole* pada pita valensi membentuk radikal hidroksida ($\cdot\text{OH}$) semakin

banyak. Radikal hidroksida ($\cdot\text{OH}$) merupakan oksidator kuat untuk mengoksidasi metilen biru menjadi senyawa NH_4^+ , SO_4^{2-} , CO_2 dan H_2O (Houas, 2001). Semakin banyak radikal hidroksida yang terbentuk mengakibatkan semakin banyak metilen biru yang terdegradasi (Qourzal, dkk.,2009). Hasil penelitian menunjukkan persentase degradasi tertinggi dari metilen biru 100 ppm dengan menggunakan komposit ZnO:arang aktif 5:1 terjadi pada pH 11 yang memberikan persentase degradasi 100%. Dengan demikian pH 11 merupakan pH optimum fotodegradasi metilen biru yang digunakan untuk penelitian selanjutnya.



Gambar 5. Kurva hubungan pH terhadap persentase degradasi metilen biru

Penelitian yang dilakukan oleh Widihati, dkk (2011) menyatakan bahwa pada pH 12 terjadi pergeseran panjang gelombang maksimum metilen biru ke arah panjang gelombang yang lebih pendek dari 663 nm ke 609 nm yang menyebabkan metilen biru berubah warna menjadi ungu.

Pengaruh Konsentrasi pada Fotodegradasi Metilen Biru menggunakan Komposit ZnO Arang Aktif

Hasil fotodegradasi metilen biru dengan variasi konsentrasi menggunakan komposit ZnO-arang aktif dapat dilihat pada Gambar 6.

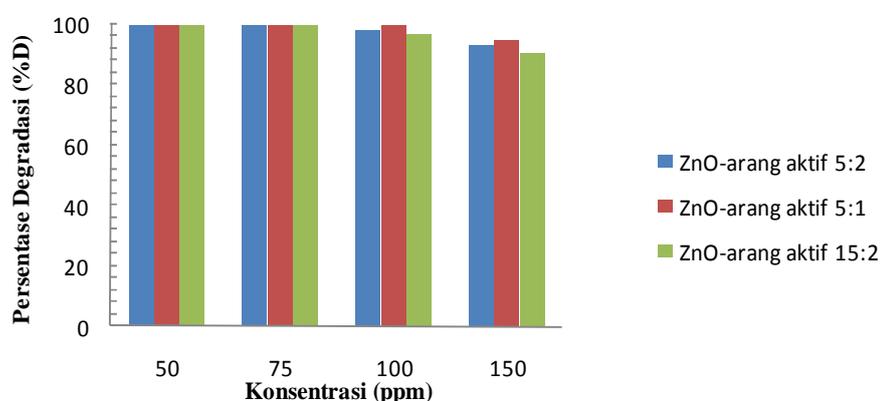
Gambar 6 menunjukkan bahwa konsentrasi metilen biru pada 50 ppm dan 75 ppm ketiga komposit memberikan persentase degradasi 100% sedangkan persentase degradasi berbeda ditunjukkan pada konsentrasi 100 ppm dan 150 ppm. Komposit ZnO-arang aktif 5:2 dan komposit ZnO-arang aktif 15:2 pada konsentrasi 100 ppm dan 150 ppm memberikan persentase degradasi lebih kecil dibandingkan dengan komposit ZnO-arang aktif 5:1.

Hal ini dikarenakan pada komposit ZnO-arang aktif 5:2 memiliki jumlah ZnO sebagai katalis lebih sedikit dibandingkan komposit ZnO-arang aktif 5:1 sehingga dengan jumlah ZnO yang lebih sedikit pada komposit ZnO-arang aktif 5:2 maka radikal hidroksida yang terbentuk akan lebih sedikit.

Komposit ZnO-arang aktif 15:2 memiliki persentase degradasi lebih kecil pada konsentrasi 100 ppm dan 150 ppm dibandingkan dengan komposit ZnO-arang aktif 5:1 dikarenakan jumlah arang aktif yang terdapat dalam komposit ZnO-arang aktif 15:2 lebih sedikit dibandingkan dengan komposit ZnO-arang aktif 5:1. Jumlah arang aktif yang lebih sedikit ini menyebabkan molekul metilen biru yang sampai ke permukaan katalis ZnO menjadi lebih sedikit. Hal ini dikarenakan arang aktif berfungsi mentransfer molekul metilen biru ke permukaan katalis sehingga degradasi akan menjadi lebih maksimal. Dengan demikian perbandingan yang paling baik untuk membuat komposit ZnO-arang aktif yang memberikan persentase degradasi paling besar yaitu komposit ZnO-arang aktif dengan perbandingan 5:1.

Persentase Degradasi Metilen Biru pada Kondisi Optimumnya

Berdasarkan Tabel 1 dapat diketahui bahwa persentase degradasi (%D) metilen biru 100 ppm pada kondisi optimum sebesar $99,97 \pm 0,02\%$. Dari penelitian yang dilakukan, menunjukkan bahwa pada kondisi optimum metode fotodegradasi dengan sinar UV dan komposit ZnO-arang aktif sangat efektif dalam menurunkan konsentrasi dari metilen biru.



Gambar 6. Kurva fotodegradasi dengan variasi konsentrasi awal metilen bir

Tabel 1. Data dan hasil perhitungan penentuan persentase degradasi metilen biru pada kondisi optimumnya.

Co (ppm)	t (jam)	B.ZnO-AA (mg)	pH	A	Ct. (ppm)	% D (%)
100	5	50	11	0,0128	0,0516	99,95
100	5	50	11	0,0032	0,0034	100,00
100	5	50	11	0,0054	0,0091	100,00
Persentase degradasi rata-rata metilen biru						99,97
Standar Deviasi						0,02

Keterangan :

Co	= konsentrasi metilen biru sebelum fotodegradasi (ppm)
t	= waktu radiasi (jam)
B.ZnO-AA	= Berat komposit ZnO-arang aktif (mg)
A	= absorbansi
C _t	= konsentrasi metilen biru setelah fotodegradasi (ppm)
%D	= persentase degradasi

SIMPULAN DAN SARAN

Simpulan

1. Hasil karakterisasi ketiga komposit ZnO-arang aktif dengan X-RD adalah ZnO berbentuk heksagonal dengan ukuran kristal 23,13 nm; 23,38 nm dan 40,52 nm dan hasil karakterisasi ketiga komposit ZnO-arang aktif dengan FT-IR menunjukkan terdapatnya vibrasi regangan Zn-O, gugus C-O alifatik, gugus tekukan C-H, gugus C-C alifatik dan gugus O-H.
2. Komposit ZnO-arang aktif 5:1 memberikan persentase degradasi metilen biru 100 ppm paling besar pada pH optimum 11.

3. Persentase degradasi metilen biru pada kondisi optimumnya adalah $99,97 \pm 0,02\%$

Saran

1. Perlu dilakukan penelitian penentuan kondisi optimum dengan variasi jumlah fotokatalis, variasi waktu radiasi, serta penggunaan kembali (*reusability*) komposit ZnO-arang aktif untuk mendegradasi zat warna metilen biru.
2. Perlu dilakukan penelitian fotodegradasi lebih lanjut dengan menggunakan jenis zat warna lain serta limbah zat warna langsung dari industry.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu dalam penyelesaian tulisan ini.

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) :
- Arief, M., 2011, Sintesis dan Karakterisasi Nanopartikel Seng Oksida (ZnO) dengan Metode Proses Pengendapan Kimia Basah dan Hidrotermal untuk Aplikasi Fotokatalis, *Skripsi*, Program Studi Teknik Metalurgi dan Material, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia, Depok
- Attia, A.J., Kadhim, S.H., and Hussien, F. H., 2007, Photocatalytic Degradation of Textile Dyeing Wastewater Using Titanium Dioxide and Zinc Oxide, *E-Journal of Chemistry*, 2 : 219-223
- Chen, J., Wan, X., Shi, X., and Pan, R., 2010, Synthesis of Zinc Oxide/Activated carbon Nano-Composites and Photodegradation of Rhodamin B, *Environmental Engineering Science*, 29 (6) :
- Cuhadaroglu, D. and Oygun, O.Z., 2008, Production and characterization of activated carbon from a bituminous coal by chemical activation, *African Journal of Biotechnology*, 7 (20) :
- Hartini, E., 2011, Modifikasi Zeolit Alam dengan ZnO Untuk Degradasi Fotokatalis Zat Warna, *Tesis*, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Program Studi S2 Kimia, Depok
- Khan, Z.R., Khan, M.Z., and Zulfeqar, M., 2011, Optical and Structural Properties of ZnO Thin Films Fabricated by Sol-Gel Method, *Materials Sciences and Applications*, 2 : 340-345
- 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*, 91-103.
- Ratih M., I.G.A.A., 2009, Fotodegradasi Metilen Biru dengan Sinar UV dan Katalis ZnO, *Skripsi*, Universitas Udayana, Bukit Jimbaran
- Sakthivel, S., Neppolian, B., and Shankar M., 2001, Solar Photocatalytic Degradation of Azo dye: Comparison of Photocatalytic Efficiency of ZnO and TiO₂, *Solar Energy Materials & Solar Cells*, 77 : 62-82
- Sinaga, P., 2009, Pengaruh Temperatur Annealing terhadap Struktur Mikro, Sifat Listrik dan Sifat Optik dari Film Tipis Oksida Konduktif Transparan ZnO:Al yang dibuat dengan Teknik Screen Printing, *Jurnal Pengajaran MIPA*, 14 (2) :
- Swaidan, H.M. and Ahmad, A., 2011, Synthesis and Characterization of Activated Carbon from Saudi Arabian Dates Tree's Fronds Wastes, *International Conference on Chemical, Biological and Environmental Engineering*, 20
- Wicaksono, A.P., Prasetya, dan Hastuti, R., 2013, Pengaruh Ion Logam Co²⁺ dan Cu²⁺ Pada Proses Fotodegradasi Direct Blue 3R Menggunakan Fotokatalis Komposit ZnO-Karbon Aktif, *Chem Info*, 316-327
- Widihati, I.A.G., Diantariani, N.P., dan Yuliana, F.N., 2011, Fotodegradasi Metilen Biru dengan Sinar UV dan Katalis Al₂O₃, *Jurnal Kimia*, 5 (1) : 31-42
- Yulianti, C.H., 2012, Sintesis dan Karakterisasi Kristal Nano ZnO, *Jurnal Teknik*, 4 (2) :
- 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.