

Perbandingan Efektivitas Dekolorisasi Fotokatalitik Metilen Biru dan Metil Jingga menggunakan Semikonduktor ZnO pada Variasi pH

Annisa M. Dewi a, Wahyu B. Widayatnob, dan Yuly Kusumawatia*

^a Departemen kimia, fakultas sains, Institut Teknologi Sepuluh Nopember ^bPusat Penelitian Fisika - LIPI

Corresponding Author: Yuly Kusumawati y_kusumawati@chem.its.ac.id

Received: July 2019 Accepted: September 2019 Published: September 2019

© Yuly Kusumawati et al. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original author and source are credited.

Abstract

The comparison of photocatalytic decolorization of Methylene Blue and Methyl Orange using ZnO Semiconductor under UV-LED radiation has been studied at varied pH. ZnO have been synthesized using coprecipitation method. The Scanning Electron Microscopy (SEM) result showed that the synthesized ZnO has a hexagonal structure with the particle size range 0.125 to 0.5 μ m. The BET isotherm characterization showed the synthesized ZnO has a specific surface area (SBET), mesoporous volume and micropore volume of 60.20 m2/g, 0.541 cm3/g and 0.02 cm3/g, respectively. The observation of the effect of pH to the photocatalytic activity showed that the highest removal percentage occurred at pH 9 with the value of 95.64% for methylene blue and occurred at pH 3 with the value of 6.236% for methyl orange.

Keywords: Photocatalytic; ZnO; pH; Methylene blue; Methyl Orange

Pendahuluan

Industri tekstil dan pakaian jadi mulai mengalami kenaikan sejak semester kedua tahun 2017 sampai pada triwulan satu tahun 2018. Industri ini mencatatkan pertumbuhan sebesar 7,53% dan hal tersebut merupakan pertumbuhan tertinggi sejak triwulan kedua tahun 2013 (Kementerian perindustrian, 2018). Seiring dengan pertumbuhan industri yang terjadi, penggunaan zat warna sebagai komponen penting dalam industri tekstil juga ikut mengalami kenaikan mencapai lebih dari 700.000 ton pewarna tiap tahunnya. Hampir 20% zat warna sisa industri terlarut didalam limbah yang dihasilkan. Adanya kontaminasi

dari zat pewarna ini dapat menyebabkan perubaham warna pada sumber mata air^[1].

Salah satu jenis pewarna sintesis yang sering digunakan adalah metilen biru dan metil jingga. Metilen biru adalah zat warna yang termasuk dalam golongan senyawa organik heterosiklik azo yang bersifat karsinogenik, beracun dan mutagenik. Metilen biru memiliki indeks basic blue dan solvent blue sebesar 5% selama pewarnaan, sedangkan sisanya dibuang sebagai limbah yang dapat masuk ke dalam lingkungan^[2]. Sedangkan metil jingga merupakan zat warna anionik atau sering disebut dengan zat warna asam, sehingga banyak digunakan sebagai larutan indikator

asam untuk kepentingan analitik. Selain itu metil jingga juga merupakan zat warna azo yang banyak digunakan dalam pewarnaan kain. Gugus azo dalam metil jingga adalah zat warna sintetis yang paling reaktif dalam proses pencelupan bahan tekstil. Masuknya senyawa azo ke dalam lingkungan tidak diinginkan karena beberapa zat warna azo dan produk turunannya bersifat toksik dan mutagenik bagi lingkungan^[3].

Metode konvensional banyak dilakukan untuk seperti mengurangi polutan oksidasi, pengendapan, pertukaran ion, koagulasi elektrodialisis, adsorpsi dan filtrasi membran. Metode koagulasi memiliki kelemahan yaitu mahalnya biaya operasional dari koagulan dan perlunya penanganan lebih lanjut terhadap sludge yang terbentuk^[4]. Metode adsorpsi memiliki kelemahan karena harus mengganti adsorben secara berkala dan proses pengolahan adsorben lebih lanjut memerlukan biaya yang tidak sedikit. Aplikasi nanoteknologi dalam pengolahan air limbah mendapat perhatian khusus karena memiliki karakteristik struktur yang unik, efisiensi penghilangan yang tinggi dan dapat disiapkan sesuai keperluan. Hal ini bergantung pada muatan, sifat optik, elektrik atau magnetik dari material nano tersebut sehingga dapat menghasilkan rasio yang tinggi pada daerah permukaan hingga ukuran partikel pada skala nano[5]. Salah satu metode menggunakan nanopartikel materialnya adalah metode fotokatalisis.

Fotokatalisis adalah metode degradasi senyawa dengan bantuan cahaya ultraviolet maupun cahaya tampak (UV-Vis), sebagai sumber emisi untuk mengaktivasi katalis dalam proses pengurangan zat warna. TiO2 dan ZnO merupakan salah satu material fotokatalisis yang banyak digunakan karena memiliki sifat fotolitik yang tinggi^[6]. Hal tersebut disebabkan karena kedua material memiliki energi jarak pita yang sesuai dengan daerah sinar tampak (UV-Vis)[7]. Seng oksida (ZnO) semikonduktor dengan jarak celah pita yang lebar (3,37 eV), energi eksitasi yang sangat tinggi (60 meV), konstanta dielektrik tinggi, jumlahnya relatif berlimpah, stabil dan tidak beracun^[8]. Keuntungan lain dari penggunaan

ZnO sebagai fotokatalis adalah karena ZnO lebih ramah lingkungan dan murah. Namun demikian, dirasa masih perlu dilakukan penelitian guna meningkatkan efektifitas ZnO sebagai fotokatalisis. Salah satu metode yang dilakukan adalah dengan menguji efektivitas ZnO pada larutan dengan pH tertentu. Pada penelitian Sakthivel dkk (2003). Fotokatalis ZnO dapat mendegradasi pewarna diazo Acid brown 14 secara efektif pada pH 10[9]. Oleh karena ini pada penelitian ini akan dilakukan uji pengaruh рН penghilangan zat warna metilen biru dan metil jingga dengan menggunakan metode fotokatalisis ZnO.

Metodologi Penelitian

Bahan kimia

Bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah aqua DM, Seng Asetat Dihidrat (Zn(CH₃COO)₂.2H₂O; Merck), Natrium Hidroksida (NaOH; Merck Millipore), Etanol P.A (Merck Millipore; 99,5%), demineralisasi, metil jingga (C14H14N3NaO3S; Millipore) dan metilen Merck biru (C16H18ClN3S, Merck Millpore).

Peralatan

Alat yang digunakan pada penelitian ini yaitu micropipette, gelas beaker (50 mL dan 100 mL), pipet tetes, pipet ukur 5 mL, gelas ukur 25 mL, kaca arloji, labu ukur 25 mL dan 10 mL, pengaduk kaca, botol semprot, magnetic stirrer, hotplate, neraca analitik, termometer, crucible, muffle furnace, Indikator Universal (Merck), reaktor fotokatalitis vang dilapisi dengan aluminium foil dan lampu UV-LED (EPILEDS, 3 Watt, λ =365 nm) sebagai sumber penyinaran (Gambar 1), centrifuge, instrumen X-Ray Diffraction (X'pert PRO), instrumen Field Emission Scanning Electron Microscopy-Energy Dispersive X-Ray (Flexsem 1000 Hitachi), adsorpsi gas N2 (Quantachrome Nova), dan Instrumen spektrofotometer UV-Vis (Geneysis 10S UV-Vis).

Prosedur penelitian

Sintesis seng oksida (ZnO)

Sintesis ZnO dilakukan dengan menggunakan Sebanyak metode presipitasi. 2,195 Zn(CH3COO)2.2H2O dilarutkan dengan 50 mL aqua DM di dalam gelas beaker 100 mL sehingga diperoleh larutan seng asetat. NaOH 0,1 M kemudian diteteskan sedikit demi sedikit hingga pH larutan menjadi 13 sambil diaduk menggunakan magnetic stirrer pada suhu 70°C. Setelah itu larutan didiamkan selama 24 jam pada suhu ruang hingga diperoleh endapan. Dekantasi kemudian dilakukan agar endapan yang terbentuk dapat terpisah dari filtratnya. Endapan yang didapat dicuci menggunakan air demineralisasi dan etanol P.A untuk kemudian dilakukan dekantasi kembali. Endapan yang telah dicuci selanjutnya dikeringkan di dalam oven dengan suhu 60°C selama 24 jam untuk kemudian digerus dan dikalsinasi pada suhu 400°C selama 2 jam.

Karakterisasi hasil sintesis

Material hasil sintesis dikarakterisasi struktur kristalnya dengan menggunakan difraktometer sinar-X. Analisis dilakukan pada sudut 20 antara 20-90°. Pola difraktogram dari ZnO yang didapat kemudian dibandingkan dengan referensi. Struktur morfologi kristal dan ukuran partikel dianalisa dengan Field Scanning Electron Microscope-Energy Dispersive X-Ray (FESEM-EDX) di Pusat Penelitian Fisika Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia (P2F LIPI) Serpong. Preparasi sampel ZnO dilkukan dengan peletakkan sedikit sampel pada permukaan pan kemudian dilakukan coating dengan Au-Pd (emas-paladium) permukaan sampel menjadi konduktif. Sampel yang telah dilapisi kemudian dimasukkan dalam spesimen chamber untuk dideteksi oleh FE-SEM.

Luas permukaan spesifik (*SBET*), volume pori dan analisis distribusi pori padatan seng oksida hasil sintesis dilakukan dengan metode adsorpsi-desorpsi gas N₂ pada suhu 77K dalam keadaan vakum. Proses *degassing* terlebih dahulu dilakukan dengan menggunakan N₂ pada suhu 300°C selama 3 jam untuk dapat menghilangkan gas-gas yang terserap oleh

sampel. Data yang diperoleh selanjutya diolah dengan program *Quantachrome Nova*.

Uji pengaruh pH terhadap penghilangan zat warna metilen biru dan metil jingga di bawah penyinaran lampu UV-LED

Uji pengaruh pH terhadap penghilangan zat warna metilen biru dan metil jingga di bawah penyinaran lampu UV-LED dilakukan dengan variasi pH 2, 3, 5, 7, dan 9. Konsentrasi metilen biru dan metil jingga yang digunakan adalah 5 mg/L dan waktu kontak dengan seng oksida adalah 30 menit.

Sebanyak 5 mg/L larutan metilen biru dibuat dengan mengencerkan larutan induk metilen biru 500 ppm kedalam labu ukur 25 ml. Larutan tersebut kemudian ditambah air demineralisasi dan HCl 0,1 M atau NaOH 0,1 M tetes demi tetes untuk mengatur pH sesuai dengan variasi yang diinginkan. Prosedur yang sama dilakukan untuk membuat larutan metil jingga yang akan diuji.

Proses fotokatalitik dilakukan dengan menambahkan padatan ZnO hasil sintesis sebanyak 0,02 g ke dalam reaktor fotokatalitik yang dilakukan dengan penyinaran lampu UV-LED selama 30 menit. Pengukuran pH dilakukan sesaat setelah penambahan ZnO dan proses fotokatalitik. Filtrat hasil pengujian dipisahkan dengan sentrifuge untuk selanjutnya dianalisis dengan spektrofotometer UV-Vis agar dapat diketahui metilen biru dan metil jingga yang tersisa dalam larutan setelah proses fotokatalitik.

Hasil dan Diskusi

Hasil sintesis seng oksida (ZnO)

Sintesis seng oksida dilakukan dengan metode presipitasi untuk memperoleh partikel berukuran Seng asetat dihidrat nano. $(Zn(CH_3COO)_2 \cdot 2H_2O)$ digunakan sebagai sumber ion Zn2+, sedangkan NaOH diguanakan sebagai agen pengendap. Penjenuhan larutan seng asetat (Zn(CH3COO)2) dilakukan untuk mempercepat tercapainya pembentukan endapan ketika penambahan NaOH ke dalam larutan. Penambahan NaOH menyebabkan

larutan seng asetat berubah warna menjadi keruh dan membentuk suspensi berwarna putih susu (*milky suspension*). Hal tersebut dapat terjadi karena pembentukan endapan akibat larutan yang lewat jenuh. Reaksi yang terjadi selama proses pencampuran kedua larutan ditunjukkan oleh persamaan reaksi (1) – (4) berikut ini:

$$Zn(CH_3COO)_{2} \cdot 2H_2O (s) + H_2O (1) \rightarrow Zn(CH_3COO)_{2 (aq)}$$

$$Zn(CH_3COO)_{2 (aq)} + NaOH (aq) \rightarrow Zn(OH)_{2 (s)} + 2H_2O (1) + 2NaCH_3COO (aq)$$

$$Zn(OH)_{2 (s)} + H_2O (1) \rightarrow Zn(OH)_{4^{2^{-}} (aq)} + 2H^{+} (aq)$$

$$Zn(OH)_{4^{2^{-}} (aq)} \rightarrow ZnO (s) + H_2O (1) + 2OH^{-} (aq)$$

$$(3)$$

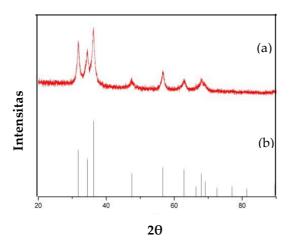
$$Zn(OH)_{4^{2^{-}} (aq)} \rightarrow ZnO (s) + H_2O (1) + 2OH^{-} (aq)$$

$$(4)$$

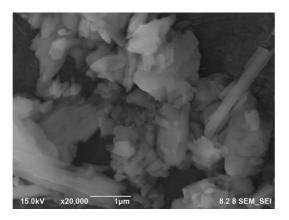




Gambar 1. (a) Reaktor fotokatalisis (b) lampu LED pada reactor



Gambar 2. Difraktogram dari (a) seng oksida ZnO dan (b) JCPDF 36-1451



Gambar 3. Mikrograf FE-SEM dari Seng Oksida (ZnO) Hasil Sintesis

Pencucian terhadap endapan dilakukan dengan air demineralisasi dan etanol agar ion sisa yang memiliki tingkat kepolaran yang berbeda dapat ditarik dari dalam endapan. Pengeringan dilakukan agar pelarut yang masih terperangkap di dalam endapan dapat menguap. Seng oksida (ZnO) yang terbentuk kemudian dilakukan kalsinasi pada suhu 400°C selama 2 jam agar pengotor dan senyawa organik lainnya dapat terdekomposisi.

Hasil karakterisasi senyawa

Hasil karakterisasi dengan X-Ray Diffraction (XRD)

Karakterisasi dengan XRD dilakukan untuk mengidentifikasi kristal ZnO hasil sintesis. Dalam karakterisasi ini, pola difraksi dimonitor pada rentang $2\theta = 20-90^{\circ}$. Kesesuaian struktur dari sampel dilakukan melakukan pencocokan setiap puncak yang muncul dengan referensi yang ada. Jika semua sudut 20 teridentifikasi, maka terdapat kesesuaian antara struktur kristal hasil sintesis dengan referensi difraktogram ZnO. Sumber data referensi yang digunakan dalam penelitian ini adalah difraktogram seng oksida (ZnO) no. 36-1451 dari Database JCPDS International Center of Diffraction Data tahun 2001 dengan program PCPDFWIN.

Difraktogram dari seng oksida (ZnO) yang berasal dari referensi (Gambar 2b) memiliki puncak yang khas pada $2\theta = 31,770^{\circ}$, $34,422^{\circ}$, dan 36,253°. ZnO yang disintesis (Gambar 2a) juga memiliki struktur dan intensitas sama dengan referensi no. 36-1451 yang menunjukkan struktur heksagonal. Intensitas puncak-puncak difraktogram yang tinggi dan tajam dari seng oksida (ZnO) hasil sintesis menunjukkan bahwa kristal yang terbentuk semakin teratur akibat kenaikan suhu saat kalsinasi[11].

Hasil karakterisasi dengan fieldemission scanning electron microscopy (FE-SEM)

Analisis Field Emission Scanning Electron Microscopy (FESEM) digunakan untuk mengetahui morfologi, ukuran, bentuk, dan susunan partikel sampel hasil sintesis. Gambar 3 menunjukan hasil FE-SEM dari sampel seng oksida (ZnO). Gambar tersebut menjelaskan bahwa seng oksida (ZnO) hasil sintesis memiliki morfologi *nanorod-like* yang kurang sempurna. Struktur material 1D dapat memberikan keunggulan dalam hal kecepatan transpor elektron^[12]. Partikel hasil sintesis memiliki ukuran rata-rata 1μm.

Berdasarkan strukturnya, partikel nano dibedakan atas beberapa jenis, antara lain: nanowires, nanorods, nanotubes, nanocable, nanosheets dan sebagainya. Nanowires dan nanorods mempunyai struktur yang tidak atau sedikit berongga, akan tetapi tidak dapat menyimpan atom ataupun molekul lain.Disisi lain, nanotubes dapat menyimpan molekul dengan adanya rongga yang cukup besar. Nanohorns memiliki rongga yang digunakan sebagai bejana reaksi^[13].

Hasil karakterisasi dengan adsorpsi-desorpsi N₂

Luas permukaan dan volume pori dari seng oksida (ZnO) hasil sintesis dilakukan dengan metode adsorpsi-desorpsi nitrogen yang sesuai dengan teori BET (*Brunauer-Emmett-Teller*), sedangkan pengukuran volume pori seng oksida (ZnO) dilakukan dengan metode BJH (*Barreet-Joiner-Halenda*).

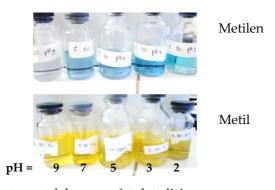
Gambar 4. menunjukkan bahwa seng oksida (ZnO) mengikuti kurva isotermal tipe III, yang artinya seng oksida (ZnO) mengalami adsorpsi multilayer. Hysteresis loop yang terbentuk disebabkan karena adanya perbedaan jumlah gas yang teradsorpsi dan terdesorpsi dengan tekanan yang sama. Hal tersebut mengindikasikan bahwa material seng oksida (ZnO) yang disintesis memiliki ukuran pori

Hasil pengukuran luas permukaan BET dari seng oksida sebesar 60,20 m²/g. Volume pori meso yang dihasilkan adalah sebesar 0,541 cm³/g, sedangkan volume mikro yang dihasilkan sebesar 0,02 cm³/g. Diameter pori rata-rata yang dihasilkan seng oksida adalah sebesar 177,30 Å (17,730 nm).

Gambar 4. Kurva isothermal adsorpsi-desorpsi nitrogen dari seng oksida (ZnO)



Gambar 5. Perubahan warna larutan pada pH 2, 3 dan 5



Gambar 6. Perbedaan warna larutan setelah proses fotokatalisis

Hasil uji pengaruh pH terhadap penghilangan zat warna metilen biru dan metil jingga di bawah penyinaran lampu UV-LED

Pengaruh pH terhadap penghilangan zat warna metilen biru dan metil jingga dilakukan pada konsentrasi larutan metilen biru dan metil jingga masing-masing sebanyak 5 mg/L. Sebelum pH diatur larutan metilen biru dan metil jingga terlebih dahulu diencerkan menggunakan air demineralisasi di dalam labu ukur 25 mL dan disisakan beberapa mL sebelum mencapai tanda batas labu ukur.

Dilakukan pengukuran pH awal larutan yang diukur sebelum ditambahkan HCl 0,1 M atau NaOH 0,1 M adalah 5. Untuk pH 2 dan 3 dilakukan penambahan HCl 0,1 M sedangkan untuk pH 7 dan 9 ditambahkan NaOH 0,1 M tetes demi tetes sambil tetap diawasi perubahan pH larutan.

Gambar 5 menunjukan bahwa terjadi perubahan warna larutan dari kuning ke merah saat pH metil jingga diturunkan menjadi pH 2 dan 3. Setelah pH larutan diatur ditambahkan padatan ZnO sebanyak 0,02 g dan dilakukan proses fotokatalisis di dalam reaktor selama 30 menit. Proses sentrifugasi kemudian dilakukan agar filtrat sisa fotokatalisis dapat terpisah dari katalis seng oksida (ZnO).

Gambar 6 menunjukkan perbedaan warna pada masing-masing variasi pH dari metil jingga dan metilen biru. Dapat teramati pada gambar bahwa pengurangan warna pada metilen biru dapat terlihat dengan jelas namun pengurangan warna pada metil jingga tidak dapat diamati dengan jelas.

Pengukuran pH larutan dilakukan sebelum larutan pewarna ditambah dengan ZnO, sesaat setelah penambahan ZnO dan setelah proses fotokatalisis di dalam reaktor. Hasil pengukuran pH ditampilkan pada Tabel 1.

Metil jingga diselidiki nilai absorbansinya dengan menggunakan spektrofotometer UV- Vis pada panjang gelombang 464 nm sesuai dengan hasil pengukuran λ maksimal pada saat pembuatan kurva kalibrasi. Hasil pembacaan absorbansi dikonversikan menjadi konsentrasi akhir dari larutan untuk kemudian dihitung persentase penghilangan hasil proses fotokatalisis. Hasil konsentrasi akhir dan persentase penghilangan dari metil jingga pada masing-masing variasi pH ditunjukkan dalam Tabel 2.

Hubungan antara pH larutan metil jingga dan persentase penghilangan disajikan pada Gambar 7. Pada grafik dapat disimpulkan bahwa pengurangan metil jingga menurun seiring sengan kenaikan pH dan persentase penghilangan tertinggi terjadi pada larutan pH 3

Tabel 1. Pengamatan terhadap pH

	pH Awal	pH sesaat setelah penambahan ZnO	pH setelah proses fotokatalitik
Metilen Biru	2	5	5
	3	5	5
	5	5	5
	7	5	5
	9	6	5
Metil Jingga	2	3	5
	3	5	5
	5	5	5
	7	6	6
	9	7	7

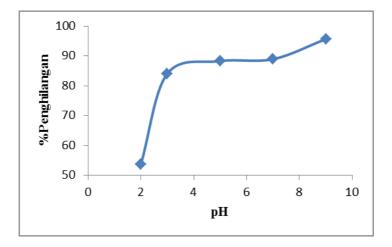
Tabel 2. Data hasil perhitungan Konsentrasi dan prosentase penghilangan metil jinga

	Konsentrasi		Persentasi
pH awal Larutan	Awal (mg/L)	Akhir (mg/L)	penghilangan (%)
2	5	4,817	3,651
3	5	4,688	6,236
5	5	5	0
7	5	5	0
9	5	5	0

Tabel 3. Data hasil perhitungan Konsentrasi dan persentase penghilangan metilen biru

pH awal Larutan	Konsentrasi		Persentase
	Awal (mg/L)	Akhir (mg/L)	penghilangan (%)
2	5	2,313	53,747
3	5	0,797	84,063
5	5	0,586	88,274
7	5	0,555	88,905
9	5	0,218	95,642

Gambar 7. Grafik hubungan pH larutan metil jingga dengan persen removal



Gambar 8. Grafik hubungan pH larutan metilen biru dengan persentase penghilangan

Hal ini dikarenakan metil jingga termasuk dalam golongan pewarna *acidic* atau *anionic* dan hasil ini dapat dihubungkan pada tolakan elektrostatik antara sulfonat (SO₃²-) dan ion OH-yang berlebih sehingga dapat menurunkan adsorpsi metil jingga pada pH basa secara tajam^{[14],[15]}.

Perlakuan yang sama juga dikenakan pada larutan metilen biru. Metilen biru dibaca absorbansinya pada panjang gelombang 665 nm sesuai dengan hasil pengukuran λ maksimal pada saat pembuatan kurva kalibrasi. Hasil pembacaan absorbansi dikonversikan menjadi konsentrasi akhir dari larutan untuk

kemudian dihitung persentase penghilangan hasil proses fotokatalisis. Hasil konsentrasi akhir dan persentase penghilangan dari metilen biru pada masing-masing variasi pH ditunjukkan dalam Tabel 3.

Hubungan antara pH larutan metilen biru dan persentase penghilangan disajikan Gambar 8. Pada grafik tersebut disimpulkan bahwa pengurangan metilen biru meningkat seiring sengan kenaikan pH dan persen penghilangan tertinggi terjadi pada larutan pH 9. Hal ini dikarenakan metilen biru termasuk dalam golongan pewarna basa atau kationik dan hasil ini dapat terjadi karena pada interaksi elektrostatik antara spesi kation metilen biru dan muatan negatif dari permukaan katalis[14],[15]. Pengurangan metilen terendah terjadi pada pH dikarenakan oleh adanya kompetisi ion H+ dengan kation pewarna. Selain itu, metilen biru pewarna kationik menghasilkan sebagai molekul kation (C+) dan mereduksi ion (CH+) [16],[17]

ZnO memiliki titik isoelektrik yang berkisar antara pH 8,7 hingga 10,3^[18]. Hal ini berarti pH yang lebih tinggi dari titik isoelektrik ZnO baik untuk melakukan pengurangan pada pewarna bermuatan positif seperti metilen biru. Jika pH lebih rendah dari dari titik isoelektrik ZnO, adsorpsi akan lebih efektif untuk pewarna bermuatan negatif seperti metil jingga. Namun, hasil pengurangan yang rendah pada metil jingga juga disebabkan oleh partikel ZnO bersifat asam yang saling bertolakan dengan pewarna anionik.

Kesimpulan

Penelitian mengenai pengaruh pH terhadap proses fotokatalisis metilen biru dan metil jingga dengan radiasi sinar UV yang berasal dari lampu LED telah berhasil dilakukan. Seng oksida yang digunakan dalam penelitian disintesis dengan menggunakan metode presipitasi. Seng oksida hasil sintesis memiliki struktur kristal heksagonal, ukuran partikel rata-rata 1 µm, luas permukaan BET (Sbet),

volume pori meso dan mikro masing-masing sebesar 60,20 m²/g, 0,541 cm³/g dan 0,020 cm³/g. Pengaruh pH terhadap proses fotokatalisis metilen biru dan metil jingga menggunakan ZnO menghasilkan persentase penghilangan paling tinggi pada pH 9 yaitu sebesar 95.64%. Untuk metil jingga, persentase terbesar adalah 6,24% terjadi pada pH 3.

Daftar Pustaka

- 1. Babalola, J. O., Koiki, B. A., Eniayewu, Y., Salimonu, A., Olowoyo, J. O., Oninla, V. O., Alabi, H. A., *et al.*, Adsorption efficacy of Cedrela odorata seed waste for dyes: Non linear fractal kinetics and non linear equilibrium studies. *J. Environ. Chem. Eng.*, **4(3)**: 3527–3536 (2016).
- Mohamed, K. A., Khattab, A. A. & Emam, M. T. H., UV-Mutagenesis in Some White Rot Fungi for Increasing Decolorization of Textile Dyes. 9(11): 5850–5857 (2013).
- 3. Komala, P. S., Ananthi, N. & Effendi, A. J., Zat Warna Azo Reaktif Menggunakan Bioreaktor Membran Aerob- Anoksik. **4(4)**: 87–92 (2008).
- Dianggoni, I., Saputra, E. & Pinem, J. A., Pengolahan Zat Warna Tekstil (Rhodamine B) dengan Teknologi AOP (Advance Oxidation Processes) menggunakan Katalis Ce @ Carbon Sphere dan Oksidan Peroxymonosulfate. 1–7 (2011).
- 5. Kyzas, G. Z. & Matis, K. A., Nanoadsorbents for pollutants removal: A review. *J. Mol. Liq.*, **203**: 159–168 (2015).
- 6. Kusumawati, Y., Pauporté, T., Viana, B., Zouzelka, R., Remzova, M. & Rathousky, J., Mesoporous TiO2/Graphene Composite Films for the Photocatalytic Degradation of Eco-Persistent Pollutants. in *Proc.SPIE*, **10105**: (2017).
- 7. Dutta, A. K., Maji, S. K. & Adhikary, B., γ-Fe2O3 nanoparticles: An easily recoverable effective photo-catalyst for the degradation of rose bengal and methylene blue dyes in the waste-water treatment plant. *Mater. Res. Bull.*, **49**: 28–34 (2014).
- Barve, A. K., Gadegone, S. M., Lanjewar, M. R. & Lanjewar, R. B., Synthesis of ZnO Nanomaterial by Precipitation Method and

- its Characterization. 4: 432-439 (2015).
- Sakthivel, S., Neppolian, B., Shankar, M. V., Arabindoo, B., Palanichamy, M. & Murugesan, V., Solar photocatalytic degradation of azo dye: comparison of photocatalytic efficiency of ZnO and TiO2. Sol. Energy Mater. Sol. Cells, 77(1): 65–82 (2003).
- 10. Wahab, R., Ansari, S. G., Kim, Y. S., Song, M. & Shin, H.-S., The role of pH variation on the growth of zinc oxide nanostructures. *Appl. Surf. Sci.*, **255(9)**: 4891–4896 (2009).
- 11. Liu, T., Li, Y., Du, Q., Sun, J., Jiao, Y., Yang, G., Wang, Z., et al., Adsorption of methylene blue from aqueous solution by graphene. *Colloids Surfaces B Biointerfaces*, **90**: 197–203 (2012).
- 12. Tan, B. & Wu, Y., Dye-Sensitized Solar Cells Based on Anatase TiO2 Nanoparticle/Nanowire Composites. *J. Phys. Chem. B*, **110(32)**: 15932–15938 (2006).
- 13. Miyawaki, J., Yudasaka, M., Imai, H., Yorimitsu, H., Isobe, H., Nakamura, E. & Iijima, S., In Vivo Magnetic Resonance Imaging of Single-Walled Carbon Nanohorns by Labeling with Magnetite Nanoparticles. *Adv. Mater.*, **18(8)**: 1010–1014

- (2006).
- 14. Eljiedi, A. A. A. & Kamari, A., Removal of methyl orange and methylene blue dyes from aqueous solution using lala clam (Orbicularia orbiculata) shell. *AIP Conf. Proc.*, **1847(1)**: 40003 (2017).
- 15. Cheng, M., Zeng, G., Huang, D., Lai, C., Wei, Z., Li, N., Xu, P., et al., Combined biological removal of methylene blue from aqueous solutions using rice straw and Phanerochaete chrysosporium. *Appl. Microbiol. Biotechnol.*, **99(12)**: 5247–5256 (2015).
- 16. Wang, S. & Zhu, Z., Effects of Acidic Treatment of Activated Carbons on Dye Adsorption. *Dye. Pigment.*, **75**: 306–314 (2007).
- 17. Umpuch, C. & Sakaew, S., Removal of methyl orange from aqueous solutions by adsorption using chitosan intercalated montmorillonite. *Songklanakarin J. Sci. Technol.*, **35**: 451–459 (2013).
- 18. Kosmulski, M., The pH dependent surface charging and points of zero charge. VII. Update. *Adv. Colloid Interface Sci.*, **251**: 115–138 (2018).