

GREEN SYNTHESIS DAN KARAKTERISASI FOTOKATALITIK NANOPARTIKEL ZnO

GREEN SYNTHESIS AND PHOTOCATALYTIC CHARACTERIZATION OF ZnO NANOPARTICLES

Melysa¹, Dr. Abrar, S.Si., M.Sc², Dr. H. Dani Gustaman Syarif, M.Eng³
^{1,2}, Prodi S1 Teknik Fisika, Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom³ BATAN Bandung
¹shasyamelysa@gmail.com, ²abrarrelah@gmail.com, ³danigus@batan.go.id

Abstrak

Nanopartikel ZnO telah disintesis dengan metode sol gel dan memanfaatkan ekstrak belimbing wuluh sebagai *chelating agent*. Kemudian, nanopartikel ZnO dikarakterisasi menggunakan TEM dan XRD. Dari hasil karakterisasi diperoleh ukuran rata-rata nanopartikel sebesar 80.26 ± 1.22 nm sampai 261.695 ± 0.0017 nm dan struktur kristal *wurtzite*. Proses fotokatalitik diamati melalui pengujian fotodegradasi pada 10 ppm larutan metil biru (MB) dengan katalis nanopartikel ZnO sebanyak 10 mg, 20 mg, 30 mg dan dikenai sinar UV. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kadar MB yang terdegradasi dipengaruhi oleh konsentrasi nanopartikel ZnO dan lama waktu penyinaran oleh sinar UV. Larutan MB terdegradasi optimum pada waktu penyinaran selama 240 menit dengan konsentrasi nanopartikel ZnO sebanyak 20 mg dan menyisakan konsentrasi MB sebanyak $33.27 \pm 0.97\%$.

Kata Kunci : nanopartikel ZnO, Fotokatalis, Degradasi, Metil Biru

Abstract

ZnO nanoparticles were synthesized by sol-gel method and using *Averrhoa Bilimbi L.* extract as a *chelating agent*. ZnO nanoparticles were characterized by TEM and XRD. The characterization showed that the average size of ZnO nanoparticles were about 80.26 ± 1.22 nm and 261.695 ± 0.0017 nm respectively. The XRD analysis indicated that the ZnO nanoparticles has *wurtzite* crystal structure. Photocatalytic property of ZnO nanoparticles were examined using photodegradation testing of 10 ppm (methylene blue) MB solution which is added by 10, 20 and 30 mg also irradiated by a UV light. The result exposure the degradation of MB influenced by concentration of ZnO nanoparticles and the time duration of light. The optimum degradation was 240 minutes at concentration of 20 mg ZnO nanoparticles and remain $33.27 \pm 0.97\%$ concentration of residual MB.

Keywords : ZnO nanoparticles, Photocatalyst, Degradation, Methyl Blue

1. Pendahuluan**1.1 Latar Belakang**

Perkembangan industri di zaman sekarang sangat pesat, sehingga pemenuhan kebutuhan manusia semakin mudah untuk didapat dan beragam. Namun, hal ini menyebabkan masalah baru untuk lingkungan. Salah satunya adalah pencemaran air sungai akibat pembuangan hasil limbah industri yang berbahaya untuk kesehatan dan lingkungan. Rata-rata gabungan air limbah pabrik tekstil di Indonesia mengandung 750 mg/padatan tersuspensi dan 500 mg/L *Biological Oxygen Demand* (BOD) [1]. Pengolahan zat cair secara umum dilakukan dengan proses kimia, fisika dan biologi. Adapun keterbaruan pengolahan limbah zat cair melalui nanomaterial dalam bidang nanoteknologi. Material nano berukuran dibawah 100 nm [2]. Dengan ukuran sangat kecil, material berukuran nano mudah berinteraksi dengan bahan lainnya [3]. Interaksi tersebut yang digunakan untuk mendegradasi limbah cair. Degradasi dibantu dengan menggunakan sinar menjadikan nanomaterial tersebut sebagai fotokatalis.

Penelitian sebelumnya yang telah dilakukan oleh M. Tariq Qamar, M. Aslam, Iqbal M.I. Ismail, Numan Salah, A. Hameed, mengenai aktivitas fotokatalik material Fe_2O_3 yang dilapisi oleh ZnO. Pada saat proses pembuatan nanopartikel tersebut terjadi pemborosan, karena sebelum dicampurkan untuk menjadi bahan fotokatalis, bahan Fe_2O_3 dan ZnO harus disintesis menjadi ukuran nanopartikel. Pembuatan material tersebut membutuhkan bahan yang banyak dan waktu cukup lama. Sehingga untuk menghindari pemborosan bahan dan waktu digunakan satu jenis material saja. Mengacu pada karakteristiknya, ZnO ini terbentuk dari bahan alam berupa Zn (Seng) yang cukup tahan terhadap serangan udara dan air pada temperatur ruang, namun pada suhu tinggi logam ini dapat bereaksi dengan oksigen di udara menghasilkan oksida dalam bentuk ZnO [4]. ZnO memiliki band gap 3.37 eV. Nanopartikel ZnO biasanya digunakan sebagai katalis, optoelektronik dan sifat fotokimia. Nanopartikel ZnO memiliki keuntungan untuk diterapkan sebagai fotokatalis karena aktivitas katalitik yang tinggi [5]. Oleh karena itu dalam penelitian ini digunakan satu material saja, yaitu ZnO. Nanopartikel ZnO digunakan untuk mendegradasi Metil Biru (MB) 10 ppm sebagai model polutan dalam skala lab. MB dapat

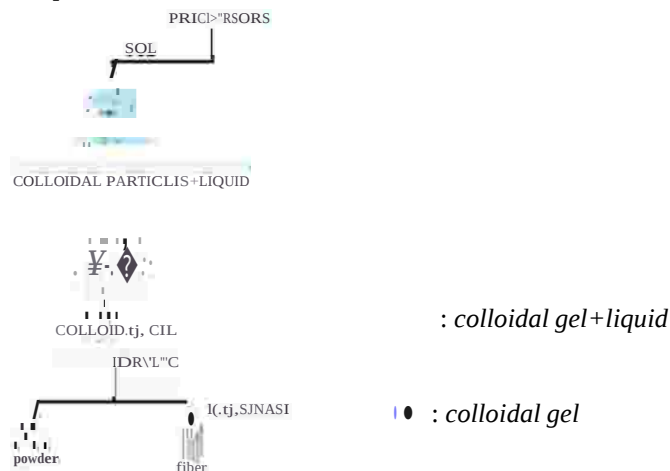
menimbulkan beberapa efek seperti iritasi saluran pencernaan jika tertelan, menimbulkan sianosis jika terhirup, dapat menyebabkan hipertensi pada dosis 20 mg/L dan akan menyebabkan warna kebiruan yang sukar hilang jika terkena kulit pada dosis 80 mg/L [6].

Sintesis nanopartikel ZnO pada penelitian ini menggunakan metode *wet chemical*, dengan metode sol-gel. Metode sol-gel dipilih karena prosesnya yang mudah dan sederhana. Proses sol-gel juga memiliki kelebihan diantaranya hasil lebih homogen dan suhu kalsinasi rendah dibandingkan metode *solid state* dan *kopresipitasi* [7]. Dalam proses solgel dibutuhkan *chelating agent* untuk menjaga agar hasil dari nanopartikel tidak terjadi aglomerasi atau penggumpalan. Surya Prakash Ghosh dalam penelitiannya menggunakan material yang digunakan berupa ZnO, namun untuk mendapatkan nanopartikel ZnO, masih menggunakan bahan kimia pada *chelating agent*. Untuk mengurangi penggunaan bahan kimia pada *chelating agent*, digunakan bahan alam dapat menjadi solusinya. Pada penelitian ini *chelating agent* yang akan digunakan adalah asam sitrat yang terkandung pada buah belimbing wuluh (*Averrhoa Billimbi L.*) yang memiliki kadar asam sitrat yang tinggi yaitu sekitar 92.6-133.8 *miliequivalent* (meq) atau setara dengan 17.66 gr asam sitrat per 100 gr belimbing wuluh [8], sehingga pada penelitian ini sintesis nanopartikel ZnO yang dibuat lebih ramah lingkungan. Oleh karena itu pada penelitian ini metode sintesis nanopartikel ZnO dengan menggunakan metode sol-gel dan memanfaatkan ekstrak belimbing wuluh sebagai pengkelat, yang kemudian nanopartikel ZnO ini digunakan untuk mengetahui karakteristik fotokatalitik pada nanopartikel ZnO.

2. Dasar Teori

2.1 Sol-gel

Sol-gel merupakan salah satu cara untuk mendapatkan ukuran partikel berukuran nano. Tahapan sol gel dapat dilihat pada Gambar 2.1. Proses sol gel dimulai dengan melarutkan material dengan pelarutnya (precursors), setelah material larut maka akan terbentuk sol atau dengan kata lain solution, pada fasa ini semua zat telah tercampur menjadi satu fasa, yaitu fasa cair. Kemudian larutan tersebut di kalsinasi dengan suhu yang rendah hingga terbentuk gel. Selanjutnya gel tersebut masuk kedalam proses drying untuk menghilangkan air dari gel. Kemudian dilanjutkan dengan proses kalsinasi yang merupakan tahapan akhir dari proses sol gel dan menghasilkan padatan pada material tersebut.



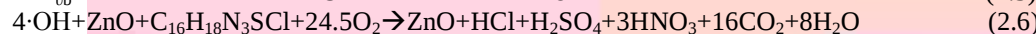
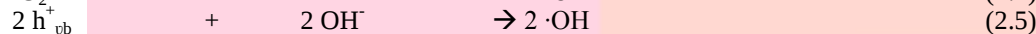
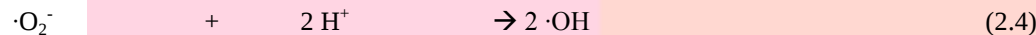
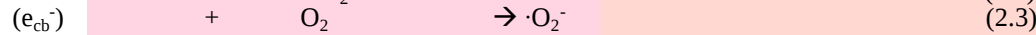
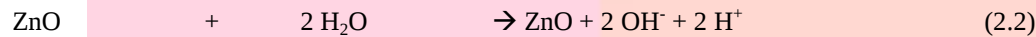
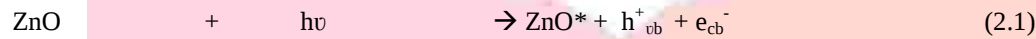
Gambar 0.1 Skema umum proses sol-gel [9]

2.2 Fotokatalis

Fotokatalis merupakan suatu proses kimia yang melibatkan cahaya dan katalis padat berupa bahan semikonduktor. Proses reaksi kimia yang terjadi dapat merubah zat-zat kimia yang berbahaya menjadi zat-zat yang lebih ramah lingkungan. Perubahan zat kimia berbahaya menjadi zat yang lebih ramah lingkungan ini diakibatkan peranan fotokatalis itu sendiri yang dapat mengurai rantai karbon pada limbah organik untuk menghasilkan OH radikal yang dapat secara aktif memutus rantai karbon [22].

Reaksi fotokatalis terjadi akibat penyinaran oleh sinar UV pada material semikonduktor, dalam hal ini ZnO. Apabila semikonduktor ZnO dikenai cahaya sinar UV yang memiliki energi sama atau lebih besar dari energi yang dimiliki oleh *band gap*nya ZnO, maka *elektron* pada permukaan ZnO akan tereksitasi dari pita valensi

menuju pita konduksi, *electron* (e^-) dan *hole* (h^+) ini akan terbentuk pada permukaan ZnO. *Electron* akan berkombinasi dengan oksigen membentuk superoksida ($\cdot O_2^-$), kemudian superoksida ($\cdot O_2^-$) dinetralkan oleh (H^+) menjadi ($\cdot O_2$). Dan *hole* (h^+) akan berkombinasi dengan air membentuk radikal hidroksil ($\cdot OH$). Radikal hidroksil ini yang akan memecah polutan, dalam hal ini MB. Sebagian dari pasangan *electron-hole* ini akan berkombinasi kembali dan sebagian lagi akan berada pada permukaan semikonduktor. Pasangan *electron* dan *hole* yang berada pada permukaan ZnO ini dapat mereduksi dan mengoksidasi zat kimia yang berbahaya yang berada disekitarnya [6]. Mekanisme reaksi secara umum adalah sebagai berikut [29,30] :



Dimana :

$h\nu$: sinar ultra violet.

h_{vb}^+ : *hole positif* pada pita valensi.

e_{cb}^- : *electron negative* pada pita konduksi.

3. Metode Penelitian

3.1 Proses Pembuatan Nanopartikel

3.1.1 Proses Pembuatan Ekstrak Belimbing Wuluh

Pembuatan ekstrak belimbing wuluh ini digunakan sebagai bahan *chelating agent* dalam proses sol-gel. Pemilihan belimbing wuluh ini dikarenakan belimbing wuluh memiliki kandungan asam sitrat yang tinggi sekitar 92.6-133.8 *miliequivalent* (meq) per 100 gr padatan belimbing wuluh. Adapun cara untuk membuat ekstrak belimbing wuluh adalah sebanyak 500gr belimbing wuluh ditimbang, kemudian diblender tanpa menggunakan air. Selanjutnya sari belimbing wuluh disaring dengan menggunakan kertas saring *whatman 42* untuk memisahkan sari belimbing wuluh dengan ampasnya. Belimbing wuluh yang digunakan memiliki kandungan pH sebesar 1.76.

3.1.2 Proses Pembuatan Nanopartikel ZnO

Dalam penelitian pengaruh fotokatalis nanopartikel ZnO dalam mendegradasi MB, hal pertama yang harus dilakukan adalah mensintesis nanopartikel ZnO. Adapun langkah-langkah dalam pembuatan nanopartikel ZnO dengan metode sol-gel dengan menyiapkan 20 gr ZnO, kemudian ZnO dimasukan kedalam *beaker glass* berukuran 500 ml, lalu ZnO dilarutkan dengan 100 ml HCl. Larutan tersebut kemudian diaduk dengan menggunakan batang pengaduk hingga ZnO larut, selanjutnya dipanaskan dengan menggunakan *hotplate magnetic stirrer* pada suhu 90 °C dan diaduk menggunakan *stirrer* dengan kecepatan 200 rpm selama 5 menit. Lalu larutan $ZnCl_2$ yang telah dipanaskan dicampurkan dengan 210 ml ekstrak belimbing wuluh. Kemudian dipanaskan kembali dengan suhu 90 °C hingga larutan. Setelah itu larutan dimasukkan kedalam furnace dengan suhu 100 °C selama 30 jam hingga terbentuk gel. Gel yang sudah terbentuk kemudian dipindahkan kedalam cawan, untuk selanjutnya dikalsinasi dengan suhu 700 °C selama 5 jam.

3.3 Karakterisasi Nanopartikel

Proses karakterisasi dilakukan setelah pembuatan nanopartikel ZnO. Karakterisasi yang digunakan adalah XRD yang digunakan untuk menganalisis struktur kristal dan TEM untuk menganalisis ukuran partikel.

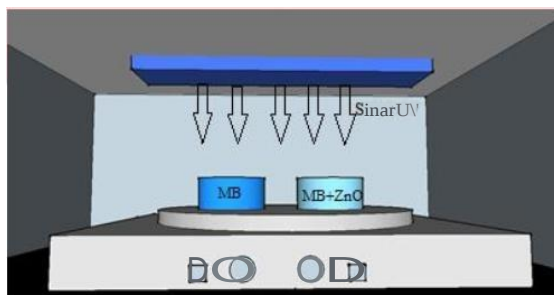
3.4 Proses Pembuatan Larutan Metil Biru

Dalam penelitian ini, metil biru merupakan model polutan dengan konsentrasi 10 ppm. Adapun langkah-langkah untuk membuat larutan MB adalah dengan menyalakan MB pro analisis di timbang sebanyak

0.0025 gr. Kemudian MB yang telah ditimbang dimasukan kedalam labu *elenmeyer* untuk selanjutnya ditambahkan *aquades* sebanyak 250 ml, larutan tersebut dikocok hingga larutan homogen.

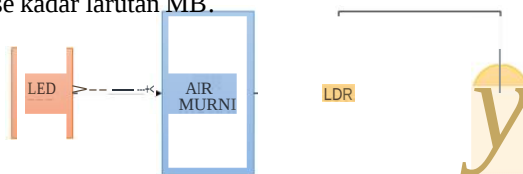
3.5 Proses Pengambilan Data dan Pengukuran Konsentrasi MB

Proses pengambilan data dimulai dengan menyiapkan 20 ml MB kedalam dua buah *beaker glass* berukuran 50 ml. Kemudian salah satu *beaker glass* dicampurkan dengan 20 mg nanopartikel ZnO. Selanjutnya kedua *beaker glass* ini dimasukan kedalam box yang berisi sinar UV dan hot plate magnetic stirrer untuk proses penyinaran. Stirrer di set dengan kecepatan 90 rpm agar nanopartikel pada *beaker glass* tidak mengendap. Proses penyinaran dilakukan berdasarkan waktu yang telah ditentukan. Gambar 3.1 menunjukan proses penyinaran kedua *beaker glass* oleh sinar UV.



Gambar 0.1 Proses Penyinaran dengan Sinar UV

Setelah disinari, masing-masing *beaker glass* dimasukan kedalam botol sentrifugasi, kemudian disentrifugasi selama 30 menit dengan kecepatan 3000 rpm. Selanjutnya, sample MB yang terdapat pada masing-masing botol sentrifugasi dimasukan kedalam *cuvette* untuk mengetahui konsentrasi MB tersisa. Pengukuran konsentrasi MB dilakukan sebelum dan setelah proses penyinaran. Hal ini bertujuan untuk membandingkan kondisi awal MB sebelum terdegradasi. Alat pengukur konsentrasi MB ini telah tersedia di Laboratorium PSTNT BATAN Bandung. Gambar 3.2 menunjukan cara kerja alat ukur untuk proses pengambilan data. Alat ini bekerja seperti UV-Vis. Alat ini, mendeteksi banyaknya cahaya yang ditangkap oleh LDR, sebelumnya cahaya yang dipancarkan oleh LED merah menembus *cuvette* yang didalamnya berisi sampel larutan yang akan diukur presentase kadar larutan MB.



Gambar 0.2 Cara Kerja Alat Ukur untuk Proses Pengambilan Data

4. Pembahasan dan Analisis

Pada bab ini akan dibahas mengenai mekanisme pengolahan data yang telah diperoleh dari hasil penelitian, karakteristik fotokatalitik nanopartikel ZnO, beserta analisisnya.

4.1 Hasil Sintesis Nanopartikel ZnO

Dari proses sintesis nanopartikel ZnO diperoleh pH ekstrak belimbing wuluh 1.76 dengan kandungan asam sitrat per 100 gr belimbing wuluh sebanyak 17.66 gr. Kemudian ekstrak belimbing wuluh dijadikan *chelating agent*. Melalui proses sol-gel didapatkan nanopartikel ZnO berupa serbuk berwarna putih sebanyak 2.377 gr seperti pada Gambar 4.1. Nanopartikel ZnO yang telah didapat kemudian dikarakterisasi dengan menggunakan *X-Ray Diffraction* (XRD) untuk mengetahui struktur kristalnya, *Transmission Electron Microscopy* (TEM) untuk mengetahui ukuran nanopartikel ZnO dan Karakterisasi Fotokatalitik.

4.2 Karakterisasi Nanopartikel ZnO

4.2.1 Karakterisasi X-Ray Diffraction (XRD)

Berdasarkan hasil karakterisasi dengan menggunakan *X-Ray Diffraction* dan pengolahan hasil dengan *software X-Powder*, didapatkan kesesuaian antara kurva yang terdapat dalam PDF2 file Zinc O (76-704) dengan *space group* pmc nomer 186. Kemudian data base diolah menggunakan *software Powder Cell*. Sehingga, didapatkan Gambar 4.2 dengan garis berwarna hitam menunjukkan puncak-puncak dari nanopartikel ZnO pada data base dengan penurunan intensitas sebesar 10 kali. Dan Gambar 4.2 dengan garis berwarna merah menunjukkan puncak-puncak dari hasil sistesis nanopartikel ZnO dalam penelitian ini. Pada Tabel 4.1 menunjukkan puncak 2θ dan nilai hkl yang mengindikasikan keberadaan kristal ZnO berstruktur *wurtzite*, dan dengan rumus *scherrer* yang terdapat pada persamaan 2.3 didapatkan ukuran nanopartikel ZnO sebesar 261.695 ± 0.0017 nm dengan data yang terlampir pada Lampiran 3. Kelebihan dari struktur nanopartikel ZnO yang berstruktur kristal ini, memudahkan eksitasi elektron karena struktur kristal tersusun berulang.



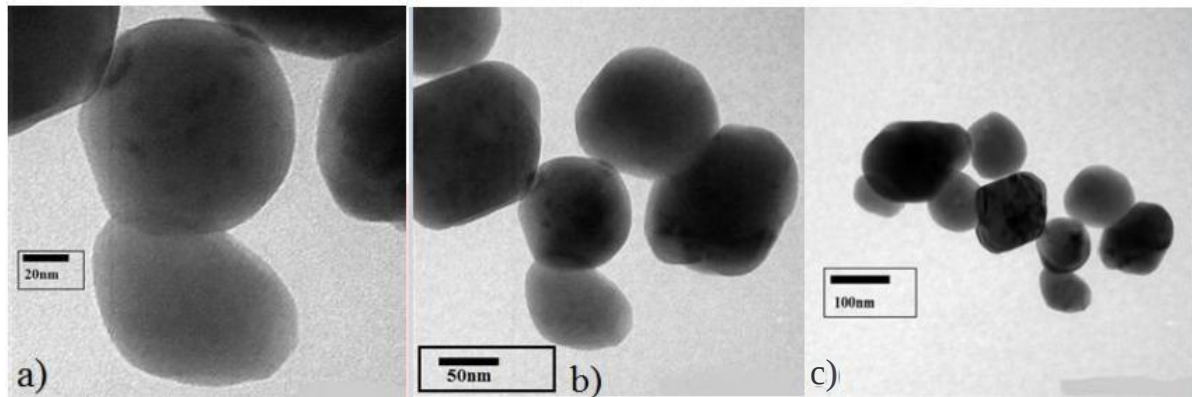
Gambar 0.1 Hasil Karakterisasi XRD Nanopartikel ZnO

Tabel 0.1 Puncak 2θ dan Nilai hkl

2θ	hkl
31.77°	[1 0 0]
34.39°	[0 0 2]
36.21°	[1 0 1]
47.55°	[1 0 2]
56.59°	[1 1 0]
62.85°	[1 0 3]
67.95°	[1 1 2]
69.07°	[2 0 1]

4.2.2 Karakterisasi Transmission Electron Microscopy (TEM)

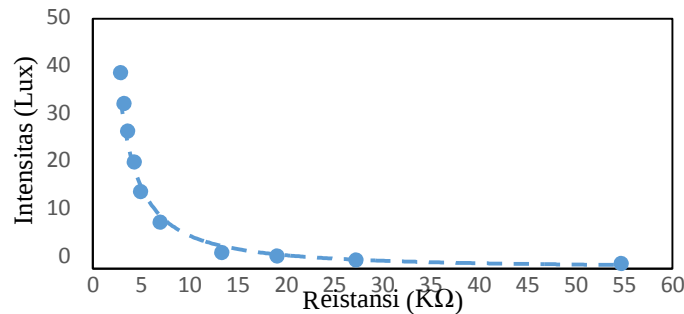
Berdasarkan hasil uji TEM yang telah dilakukan, didapatkan ukuran partikel ZnO 80.26 ± 1.22 nm. Karakterisasi TEM ini menggunakan JEOL 1400 yang ada di Jurusan Kimia FMIPA UGM. Terlihat nanopartikel ZnO terlihat sedikit menumpuk, hal ini dikarenakan kecenderungan dari nanopartikel yang sulit berpisah antara satu dengan lainnya. Gambar 4.2 a) menunjukkan nanopartikel ZnO dengan skala 20 nm. Gambar. 4.2 b) menunjukkan nanopartikel ZnO dengan skala 50 nm, dan Gambar 4.2 c) menunjukkan nanopartikel ZnO dengan skala 100 nm.



Gambar 0.2 a) Nanopartikel ZnO Skala 20 nm, b) Nanopartikel ZnO Skala 50nm, c) Nanopartikel ZnO Skala 100 nm

4.2.3 Karakterisasi Sifat Fotokatalitik Nanopartikel ZnO

Sebelumnya dilakukan karakterisasi pada alat ukur untuk mengetahui karakteristik pengaruh intensitas terhadap reseitansi. Didapatkan persamaan pengaruh resistansi terhadap intensitas LED dari Gambar 4.3 sebagai berikut :



$$y = 135.51x^{-1.311} \quad (4.2)$$

Dimana :

Y = Intensitas (Lux)

X = Resistansi (KΩ)

Gambar 0.3 Grafik Karakterisasi Alat Ukur Konsentrasi MB

Kemudian, dari persamaan yang telah didapat, untuk mengetahui persentase MB tersisa dalam proses degradasi dilakukan dengan cara mengubah nilai resistansi awal sebelum dan sesudah MB disinari oleh sinar UV. Selanjutnya persentase MB tersisa dihitung dengan menggunakan rumus sebagai berikut :

$$\text{---} \quad (4.2)$$

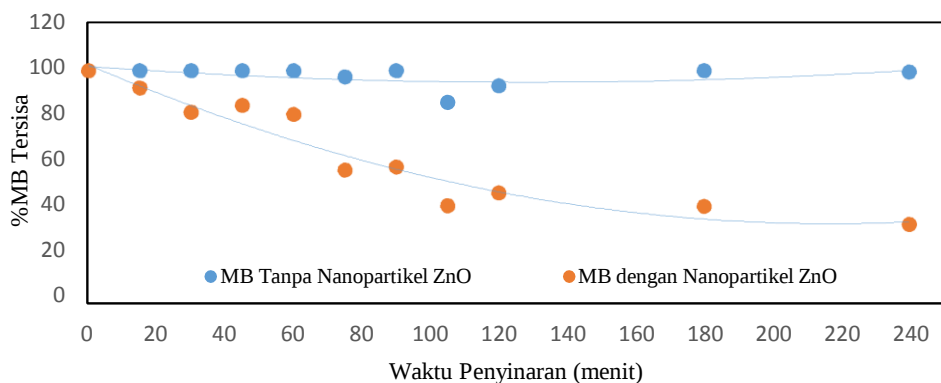
Dimana :

I_0 = Intensitas LED setelah cahaya melewati larutan, sebelum proses penyinaran oleh sinar UV.

I_1 = Intensitas LED setelah cahaya melewati larutan, setelah proses penyinaran oleh sinar UV.

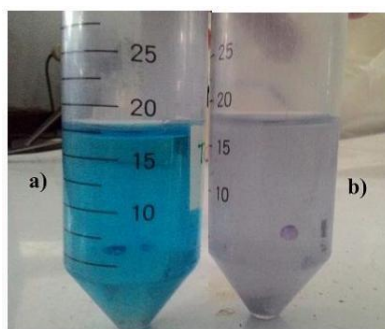
I_A = Intensitas LED saat cahaya melewati air murni.

Berdasarkan hasil penyinaran larutan MB dengan variasi waktu yang telah ditentukan, didapatkan grafik konsentrasi ZnO yang telah terdegradasi terhadap waktu penyinaran Gambar 4.4 dari gambar tersebut terlihat bahwa penambahan nanopartikel ZnO berpengaruh terhadap larutan MB yang terdegradasi daripada larutan MB yang tidak ditambahkan oleh nanopartikel ZnO dalam lama waktu penyinaran yang sama.

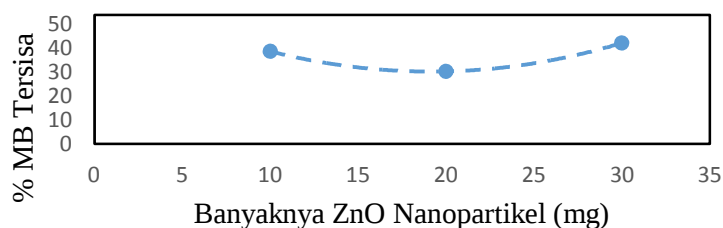


Gambar 0.4 Grafik Pengaruh Waktu Penyinaran Terhadap Konsentrasi MB Terdegradasi

Gambar 4.3 menunjukkan bahwa penyinaran optimum pada waktu 240 menit dengan konsentrasi MB yang terdegradasi (33.27 ± 0.97)%. Lamanya waktu penyinaran menyebabkan banyak elektron yang berpindah dari pita valensi ke pita konduksi semakin banyak, sehingga akan banyak superhidroksida yang akan terbentuk, yang berfungsi untuk mendegradasi MB. Hal ini ditunjukkan pada Gambar 4.5 dan 4.6 yang memperlihatkan perbedaan warna larutan metil biru yang disinari dengan tambahan nanopartikel ZnO dan tanpa nanopartikel ZnO. Sebagaimana reaksi yang akan terjadi pada saat proses degradasi larutan MB ditunjukkan pada reaksi 2.1-2.6



Gambar 0.5 a) Larutan MB Setelah Disinari 240 Menit Tanpa Nanopartikel ZnO
Gambar 0.6 b) Larutan MB Setelah Disinari 240 Menit dengan Nanopartikel ZnO



Gambar 0.6 Grafik Pengaruh Penambahan Konsentrasi Nanopartikel ZnO Terhadap MB

Dari Gambar 4.6 terlihat bahwa larutan MB yang ditambahkan nanopartikel ZnO dengan variasi yang berbeda, menunjukkan hasil yang berbeda. Penambahan nanopartikel ZnO sebanyak 20mg menunjukkan hasil larutan MB terdegradasi lebih baik dibandingkan dengan penambahan nanopartikel ZnO dengan jumlah 20 mg dan 30mg. Hal ini dikarenakan jika nanopartikel ZnO ditambahkan dalam jumlah yang sedikit, akan bekerja kurang optimum karena eksitasi elektron yang terjadi hanya sedikit dan tidak sebanding dengan banyaknya larutan MB yang akan didegradasi. Namun jika nanopartikel ZnO dicampurkan dalam jumlah yang banyak, akan menyebabkan penyinaran tidak optimum, hal ini dikarenakan saat penyinaran berlangsung nanopartikel ZnO saling tumpang tindih menyebabkan terjadinya kejenuhan, sehingga eksitasi elektron yang terjadi hanya sedikit. Akibatnya tidak banyak superhidroksida yang akan terbentuk yang berfungsi untuk mendegradasi larutan MB.

4. Kesimpulan

Sintesis Nanopartikel ZnO dengan menggunakan ekstrak belimbing wuluh berhasil dilakukan dengan ukuran rata-rata 80.26 ± 1.22 nm. Nanopartikel ZnO kemudian digunakan sebagai fotokatalis untuk mendegradasi larutan MB, dan menyisakan konsentrasi metil biru sebanyak $(33.27 \pm 0.97)\%$ pada waktu penyinaran 240 menit dengan konsentrasi 20 mg nanopartikel ZnO didalam 20ml larutan metil biru 10 ppm. Penambahan nanopartikel ZnO dalam jumlah 10 mg dan 30 mg menyebabkan MB yang terdegradasi tidak optimal akibat kurangnya nanopartikel untuk mendegradasi jumlah polutan dan jika nanopartikel ditambahkan dalam jumlah yang banyak, dapat menyebabkan kejenuhan. Akibatnya tidak banyak superhidroksida yang akan terbentuk yang berfungsi untuk mendegradasi larutan MB.

Daftar Pustaka

- [1] F. Intan, "Pengaruh Zat Warna Limbah Tekstil terhadap Air Tanah," <https://faneniintan.wordpress.com/2013/03/25/engaruh-zat-warna-limbah-tekstil-terhadap-air-tanah/>, 2013.
- [2] K. Lee, Z. A. Saipolbahri, B. H. Guan and H. Soleimani, "Organic Sol-Gel Method in The Synthesis and Characterization of Zinc Oxide Nanoparticles," *American Journal of Applied Sciences* 11, vol. VI, p. 959, 2014.
- [3] R. Hutabarat, Sintesis dan Karakterisasi Fotokatalis Fe-ZnO Berbasis Zeolit Alam, Jakarta: Universitas Indonesia, 2012.
- [4] S. Darajat and H. Aziz, "Repository Universitas Andalas," Maret 2008. [Online]. Available: http://repository.unand.ac.id/1570/1/Syukri_Darajat_ok.doc. [Accessed 22 Desember 2015].
- [5] S. S. Kumar, P. Venkateswarlu, V. R. Rao and G. N. Rao, "Synthesis, Characterization and Optical Properties," *International Nano Letters a Springer Open Journal*, no. Synthesis, characterization and optical properties, p. 1, 2013.
- [6] F. A. Malini and E. M. M. Putri, "Kinetika Oksidasi Fotokatalitik Metilen Biru dengan Katalis Semikonduktor TiO₂," *Jurnal Sains dan Seni Pomits*, vol. 2, pp. 1-7, 2014.
- [7] B. R. Fernandez, Sintesis Nanopartikel, Padang: Universitas Andalas, 2011.
- [8] Q. A'YuninLathifah, "Uji Efektifitas Ekstrak Kasar Senyawa Antibakteri pada Buah Belimbing Wuluh (Averrhoa Bilimbi L.) dengan Variasi Pelarut," Universitas Islam Negeri Malang, Malang, 2008.
- [9] S. Widodo, "Teknologi Sol Gel pada Pembuatan Nano Kristalin," *Seminar Nasional Rekayasa Kimia dan Proses*, no. REKAYASA KIMIA DAN PROSES, pp. E-20-2, 2010.
- [10] N. P. D. d. P. S. I Gusti Ayu Adesia Saraswati, "Fotodegradasi Zat Warna Tekstil Congo Red dengan Fotokatalis ZnO-Arang Aktif dan Sinar Ultraviolet (UV)," *JURNAL KIMIA*, vol. 9, pp. 175-182, 2015.
- [11] T. P. Wendari, "Slide Share," 2016. [Online]. Available: <http://www.slideshare.net/TioPW/nanopartikel-nanosains-nanoteknologi>. [Accessed 24 November 2016].
- [12] M. G. N. K. R. A. A. M. Nirmala, "Photocatalytic Activity of ZnO Nanopowders Synthesized by DC Thermal Plasma," *African Journal of Basic & Applied Sciences*, vol. II, p. 161, 2010.
- [13] R. G., Karakterisasi Nanopartikel ZnO Hasil Sintesis dengan Metode Presipitasi dan Perlakuan Pra-Hidrothermal, Depok: Universitas Indonesia, 2011.
- [14] G. Ramahdita, Karakterisasi Nanopartikel ZnO Hasil Sintesis dengan Metode Presipitasi dan Perlakuan Pra-Hidrothermal, Jakarta: Universitas Indonesia, 2011.