

DOI: doi.org/10.21009/03.1301.FA19

STUDI BAND GAP ENERGI STRUKTUR NANO ZnO DARI POLA REFLEKTANSI

Syeha Lutfiah^{1,a)}, Iwan Sugihartono^{1,b)}, Rahmat Setiawan Mohar^{2,c)}, Isnaeni^{2,d)},
Maykel Manawan^{3,e)}

¹Program Studi Fisika, FMIPA, Universitas Negeri Jakarta, Jalan Rawamangun Muka, Jakarta 13220, Indonesia

²Pusat Riset Fotonika, Badan Riset dan Inovasi Nasional, Kawasan Sains dan Teknologi B.J. Habibie, Tangerang Selatan, Banten

³Pusat Riset Material Maju, Badan Riset dan Inovasi Nasional, Kawasan Sains dan Teknologi B.J. Habibie, Tangerang Selatan, Banten

Email: ^{a)}syehalutfiah0852@gmail.com; ^{b)}iwan-sugihartono@unj.ac.id; ^{c)}rahm028@brin.go.id;
^{d)}isnaeni@brin.go.id; ^{e)}maykeltem@gmail.com

Abstrak

Struktur nano *Zinc Oxide* (ZnO) telah berhasil disintesis dengan menggunakan metode hidrotermal. Seluruh prekursor dicampur dan diaduk menggunakan *ultrasonic cleaner* selama 10 menit sampai sampel tercampur secara homogen. Kemudian, sampel dimasukkan ke dalam autoklaf *stainless steel* berlapis teflon dan dipanaskan pada suhu 100°C selama 6 jam. Karakterisasi sifat optik struktur nano ZnO dilakukan menggunakan uji UV-Vis *diffuse reflectance spectrophotometer*. Selanjutnya akan dilakukan analisis sifat optik yang mengacu pada pola reflektansi sehingga dapat ditentukan besar energi celah pita struktur nano ZnO menggunakan teknik *Tauc Plot*. Hasil analisis *Tauc Plot* menunjukkan bahwa energi celah pita ZnO berada pada 2.97 eV.

Kata kunci: Struktur nano ZnO, hidrotermal, sifat optik, reflektansi, celah pita

Abstract

Nanostructured Zinc Oxide (ZnO) has been successfully synthesized using hydrothermal method. All precursors were mixed and stirred using an ultrasonic cleaner for 10 minutes until the sample was homogeneously mixed. Then, the samples were put into a Teflon-coated stainless steel autoclave and heated at 100°C for 6 hours. Characterization of the optical properties of ZnO nanoparticles was carried out using UV-Vis Diffuse Reflectance spectrophotometer test. Furthermore, the optical properties will be analyzed referring to the reflectance pattern so that the band gap energy of ZnO nanoparticles can be determined using the Tauc Plot technique. The results of Tauc Plot analysis show that the band gap energy of ZnO nanoparticles is at 2.97 eV.

Keywords: Nanostructured ZnO, hydrothermal, optical properties, reflectance, band gap

PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi semakin meningkat dengan adanya penemuan-penemuan baru yang dapat mempermudah hidup manusia. Salah satu perkembangan teknologi saat ini adalah yang berbasis nanoteknologi [1]. Nanoteknologi adalah sebuah cabang ilmu yang berfokus pada material berdimensi

nano yaitu dalam orde 1 hingga 100 nanometer [2]. Selain itu, kemajuan teknologi nano dapat digunakan untuk mengontrol sifat material berskala nano. Salah satu jenis material yang mudah disintesis menjadi berbagai morfologi dalam skala nano adalah *Zinc Oxide* (ZnO). ZnO memiliki berbagai bentuk struktur nano diantaranya *nanorods* [3], *nanowire* [4], *nanotube* [3], *nanodiscs* [5], dan *nanosheet* [6].

ZnO merupakan material semikonduktor tipe-n yang memiliki celah pita energi 3.4 eV, koefisien serapan tinggi, fotokatalis yang baik, dan memiliki mobilitas pembawa muatan yang baik [7][8][9]. ZnO sebagai unsur yang memiliki stabilitas termal tinggi, ekonomis, dan tidak beracun juga dapat ditumbuhkan pada temperatur substrat yang relatif rendah (200-400°C). Sehingga, ZnO dapat digunakan dalam berbagai aplikasi seperti sensor gas, fotoanoda pada sel surya [10], laser UV [11], *nanogenerator* [12], *photodetector* [11], dan fotokatalis [13].

Dalam mensintesis ZnO, terdapat banyak metode yang dapat dilakukan, salah satunya yaitu metode hidrotermal. Hidrotermal dapat didefinisikan sebagai reaksi kimia heterogen dengan pelarut berbasis air yang memiliki kelarutan tinggi, suhu relatif rendah, dan memiliki tekanan lebih besar dari 1 atm dalam sistem tertutup. Sehingga, hal tersebut dapat digunakan untuk melakukan kontrol struktur dan morfologi [14][15]. Pada penelitian sebelumnya, semakin meningkat waktu reaksi dan suhu reaksi pada perlakuan hidrotermal, nilai celah pita akan berkurang seiring dengan bertambahnya ukuran kristal. Hal ini diakibatkan oleh peningkatan laju nukleasi dan pertumbuhan struktur nano ZnO [16].

Artikel ini berisi tentang laporan hasil sintesis struktur nano ZnO menggunakan metode hidrotermal pada suhu 100°C yang dikarakterisasi menggunakan UV-Vis *diffuse reflectance spectrophotometer*. Selanjutnya, analisis dari hasil karakterisasi sifat optik akan dilakukan secara sistematis.

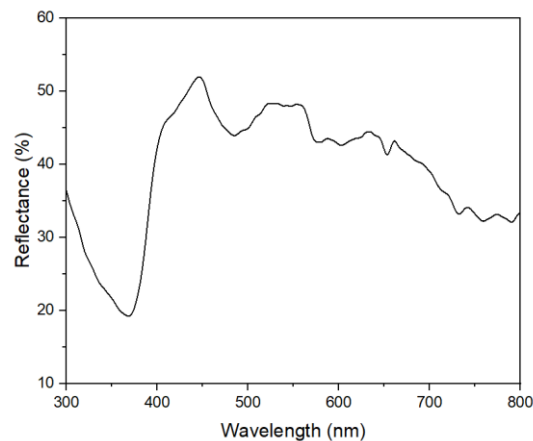
METODOLOGI

Struktur nano ZnO ini disintesis dengan menggunakan metode hidrotermal. Larutan *Zinc Acetate Dihydrate* ($\text{Zn}(\text{CH}_3\text{COO})_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) (0.1 M) dibuat dalam 60 ml metanol sambil disonikasi. Ke dalam larutan ini, 30 ml larutan *Sodium Hydroxide* (NaOH) (0.2 M) dibuat dalam metanol yang dilakukan pengadukan dengan menggunakan *ultrasonic cleaner*. Larutan ini dipindahkan ke dalam autoklaf *stainless steel* berlapis teflon dan dipanaskan pada suhu 100°C selama 6 jam di bawah tekanan autogen. Kemudian dibiarkan dingin secara alami hingga suhu kamar. Setelah reaksi selesai, serbuk padatan putih yang dihasilkan dicuci dengan metanol, disaring dan kemudian dikeringkan secara alami hingga suhu kamar.

Sampel hasil sintesis ini akan dilakukan uji karakterisasi UV-Vis *diffuse reflectance spectrophotometer* dengan sumber cahaya lampu deuterium halogen. Pengujian karakterisasi ini dilakukan untuk mendapatkan informasi tentang sifat optik yang terbentuk dari sampel struktur nano ZnO serta untuk mendapatkan nilai reflektansi dan celah pita energi dengan panjang gelombang 300-800 nm.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Dalam penelitian ini struktur nano ZnO berhasil disintesis dengan menggunakan metode hidrotermal pada suhu 100°C selama 6 jam. Selanjutnya, karakterisasi dengan menggunakan UV-Vis *diffuse reflectance spectrophotometer* dilakukan untuk mengetahui sifat reflektansi struktur nano ZnO pada suhu ruang. Karakterisasi dilakukan pada panjang gelombang 300-800 nm, spektrum reflektansi teramati pada panjang gelombang tertentu. Gambar 1 menunjukkan spektrum reflektansi struktur nano ZnO,



Gambar 1. Spektrum reflektansi struktur nano ZnO

Dapat dilihat pada Gambar 1 terjadi peningkatan pada panjang gelombang 375-400 nm dan tertinggi pada panjang gelombang 400-800 nm. Perbedaan nilai reflektansi optis yang berada pada daerah ultraviolet (300-400 nm) mengindikasikan terjadinya serapan cahaya (absorpsi). Dari gambar spektrum reflektansi terlihat kurva tajam yang dikenal sebagai tepi absorpsi (*absorption edge*) yang berkaitan dengan kemiringannya mengindikasikan besar celah pita energi. Sedangkan, reflektansi yang terjadi pada panjang gelombang 400-800 nm diprediksikan berasal dari morfologi struktur nano ZnO dan kontribusi *doping* Na atau sebaran defek yang berada di antara celah pita energi. Kemudian, besar celah pita energi dapat diperkirakan menggunakan perhitungan Kubelka-Munk dan diolah dengan metode *Tauc Plot*. Metode *Tauc* didasarkan pada asumsi bahwa koefisien penyerapan yang bergantung pada energi α dapat dinyatakan dengan persamaan (1) berikut:

$$(\alpha hv)^{1/\gamma} = B(hv - E_g) \quad (1)$$

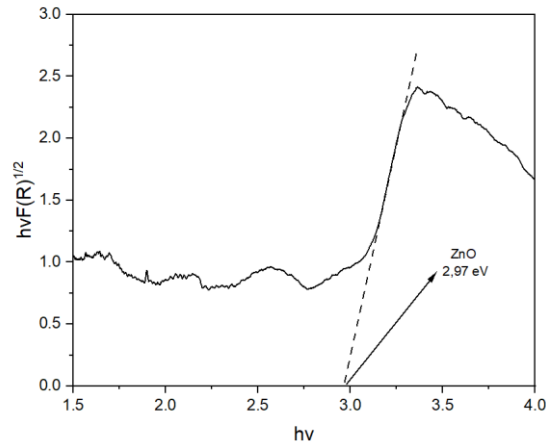
dengan h adalah konstanta Planck, v adalah frekuensi foton, E_g adalah energi celah pita, dan B adalah konstanta. Faktor γ bergantung pada sifat transisi elektron dan sama dengan $1/2$ atau 2 untuk celah pita transisi langsung dan tidak langsung [17]. Celah pita energi biasanya ditentukan dari spektrum pantulan yang menyebar. Menurut teori Kubelka-Munk yang dipresentasikan pada tahun 1931 [18], spektrum reflektansi yang diukur dapat diubah menjadi spektrum serapan yang sesuai dengan menerapkan fungsi Kubelka-Munk yaitu pada persamaan (2) berikut ini:

$$F(R_\infty) = \frac{K}{S} = \frac{(1-R_\infty)^2}{2R_\infty} \quad (2)$$

dengan $R_\infty = \frac{R_{\text{sample}}}{R_{\text{standard}}}$ adalah reflektansi spesimen dengan ketebalan tak terhingga, sedangkan K dan S masing-masing adalah koefisien serapan dan hamburan [19]. $F(R_\infty)$ disubstitusikan sebagai pengganti α ke dalam persamaan (1), maka diperoleh bentuk persamaan (3) sebagai berikut:

$$(F(R_\infty)hv)^{1/\gamma} = B(hv - E_g) \quad (3)$$

Gambar 1 menunjukkan spektrum reflektansi ZnO yang dikonversikan menggunakan persamaan 1. Selanjutnya, spektrum tersebut diplot terhadap energi foton. Daerah yang menunjukkan peningkatan serapan cahaya yang curam dan linier seiring dengan peningkatan energi merupakan karakteristik material semikonduktor [20]. Titik potong sumbu-x dari kesesuaian linier *Tauc Plot* memberikan prediksi celah pita energi.



Gambar 2. Celah pita energi struktur nano ZnO

Berdasarkan grafik pada Gambar 2. didapatkan nilai celah pita energi sebesar 2.97 eV yang lebih rendah dibandingkan ZnO komersial (3.37 eV). Penurunan celah pita energi ini dimungkinkan akibat proses sintesis, kalsinasi, penambahan NaOH, dan efek penambahan *doping*. Secara teoritis ketika semikonduktor di-*doping* dengan unsur yang memiliki kelebihan elektron maka akan muncul energi donor, sehingga energi yang dibutuhkan elektron untuk pindah dari pita valensi menuju pita konduksi (*band gap*) menurun [21]. Senyawa NaOH dapat menurunkan celah pita energi sehingga mampu menyerap cahaya tampak. Hal ini relevan dengan penelitian sebelumnya bahwa adanya senyawa NaOH menyebabkan peningkatan eksitasi elektron dari pita valensi. Sehingga, hal tersebut akan menyebabkan lebar celah pita energi berkurang [22]. Sedangkan dalam penelitian lain, dilaporkan bahwa berkurangnya celah pita energi disebabkan oleh adanya kekosongan elektron pada Co 3d. Maka akan menyebabkan interaksi pertukaran elektron Co dalam orbital d dengan elektron O₂ pada orbital s dan Zn pada orbital p [23]. Hal tersebut mengakibatkan pergeseran energi Fermi menuju energi konduksi. Fenomena ini disebut dengan Efek Burstein-Moss. Efek tersebut mengkompensasi interaksi pertukaran transisi antar orbit sp-d [24].

KESIMPULAN

Dari penelitian ini dapat disimpulkan bahwa ZnO dapat disintesis menggunakan metode hidrotermal. Berdasarkan hasil uji UV-Vis *diffuse reflectance* diperoleh celah pita energi ZnO sebesar 2.97 eV yang lebih rendah dibandingkan ZnO komersial (3.37 eV). Penurunan celah pita energi ini dapat terjadi karena proses sintesis, kalsinasi, dan penambahan NaOH. Hal ini relevan dengan penelitian sebelumnya bahwa adanya senyawa NaOH menyebabkan peningkatan dari pita valensi yang menyebabkan lebar celah pita energi mengecil. Hasil pada penelitian ini diperoleh secara keseluruhan sesuai dengan literatur.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih disampaikan kepada program pemberian Bantuan Biaya Peningkatan Mutu Pendidikan yaitu Kartu Jakarta Mahasiswa Unggul (KJMU). Ucapan terima kasih juga disampaikan kepada Pusat Riset Fotonika, Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN).

REFERENSI

- [1] Affandy, H. 2020. Integrasi Nanoteknologi Dalam Pembelajaran Di Era Society 5.0: Kajian dari Perspektif Pembelajaran Fisika. *Jurnal Materi dan Pembelajaran Fisika*, 10(2), 97-104.
- [2] Gehrke, P. J., & Gehrke, P. J. 2018. Public understanding of nanotechnology: how publics know. *Nano-Publics: Communicating Nanotechnology Applications, Risks, and Regulations*, 21-37.

- [3] L. Schlur, J. R. Calado and D. Spitzer. 2018. "Synthesis of Zinc Oxide Nanorods or Nanotubes on One Side of a Microcantilever," *The Royal Society of Chemistry*.
- [4] I. Wallace, O. V. Eshu, O. B. Chukwunonso and U. C. Okoro. 2015. "Synthesis and Characterization of Zinc Oxide (ZnO) Nanowire," *Journal of Nanomedicine and Nanotechnology*, vol. VI, no. 5.
- [5] C. X. Xu, G. P. Zhu, J. Kasim, S. T. Tan, Y. Yang, X. Li, Z. X. Shen and X. W. Sun. 2008. "Spatial Distribution of Defect in ZnO Nanodisks," *Current Applied Physics*, vol. IX, pp. 571-576.
- [6] S. W. Kim, N. T. Khoa, J. W. Yun, D. v. Thuan, J. E. Kim and S. H. Hahn. 2016. "Hierarchical ZnO Nanosheets/Nanodisks Hydrothermally Grown on Microrod Backbones," *Material Chemistry and Physics*, pp. 1-8.
- [7] Tenailleau, C., Salek, G., Le, T. L., Duployer, B., Demai, J. J., Dufour, P., & Guillemet-Fritsch, S. (2017). Heterojunction p-Cu₂O/ZnO-n solar cell fabricated by spark plasma sintering. *Materials for Renewable and Sustainable Energy*, 6, 1-7.
- [8] Bi, S., Li, Y., Liu, Y., Ouyang, Z., & Jiang, C. (2018). Physical properties of 2D and 3D ZnO materials fabricated by multi-methods and their photoelectric effect on organic solar cells. *Journal of Science: Advanced Materials and Devices*, 3(4), 428–432.
- [9] Hernowo, A., & Nurhasanah, I. (2019). Kristalinitas Dan Ukuran Nanopartikel ZnO Yang Dikalsinasi Pada Temperatur 100Oc Dan 200Oc. *Berkala Fisika*, 22(4), 125-131.
- [10] M. Bicer, M. Gokcen and E. Orhan. 2022. "Fabrication and Photoanode Performance of ZnO Nanoflowers in ZnO-based DyeSensitized Solar Cells," *Optical Materials*, vol. 131.
- [11] A. S. Z. Lahewil, S. H. Zyoud, N. M. Ahmed, A. F. Omar and N. Z. N. Azman. 2022. "Synthesis ZnO Nanoclusters Micro Active Area using Continues Wave Blue Laserassisted Chemical Bath Deposition based on UV Photodetector," *Optik*, vol. 260.
- [12] Y. Anggraeni, N. Mufti and A. Taufiq. 2017. "Performa Nanogenerator ZnO Nanorods dan PLA pada Substrat Stainless Steel," *Seminar Nasional Fisika dan Pembelajarannya 2017*.
- [13] T. C. Raganata, H. Aritonang and E. Suryanto. 2019. "Sintesis Fotokatalis Nanopartikel ZnO untuk Mendegradasi Zat Warna Methylene Blue," *Chem. Prog*, vol. 12, no. 2, pp. 54-58.
- [14] Saragi, T., Purba, Y. R., Du, S. A., Oktaviani, M., Susilawati, T., Risdiana, R., & Bahtiar, A. 2016. Karakteristik Nanopartikel ZnO: Studi Efek Pelarut pada Proses Hidrotermal. *Jurnal Material dan Energi Indonesia*, 6(01), 31-35.
- [15] Lestari, V. P., Abrar, & Fathona, I. W. (2019). Sintesis Nanostruktur ZnO Dengan Metode Hidrotermal Untuk Aplikasi Sensor Gas Butana. *E-Proceeding of Engineering*, 6 (2), 5375–5382.
- [16] Wasly, H. S., El-Sadek, M. S. A., & Henini, M. (2018). Influence of reaction time and synthesis temperature on the physical properties of ZnO nanoparticles synthesized by the hydrothermal method. *Applied Physics A: Materials Science and Processing*, 124 (1).
- [17] Tauc, J.; Grigorovici, R.; Vancu, A. 1966. Optical Properties And Electronic Structure of Amorphous Germanium. *Phys. Status Solidi B*, 15, 627–637.
- [18] Davis, E.; Mott, N. 1970. Conduction in non-crystalline systems V. Conductivity, optical absorption and photoconductivity in amorphous semiconductors. *Philos. Mag.* 22, 0903–0922.
- [19] Mott, N. F.; Davis, E. A. 2012. *Electronic Processes in Non-Crystalline Materials*; OUP Oxford.
- [20] Makuła, P., Pacia, M., & Macyk, W. (2018). How to correctly determine the band gap energy of modified semiconductor photocatalysts based on UV–Vis spectra. *The journal of physical chemistry letters*, 9(23), 6814-6817.
- [21] Agus, L., & Eso, R. 2023. Pengaruh penambahan mangan alam terhadap daya absorpsi cahaya tampak pada keramik TiO₂. *Einstein's: Research Journal of Applied Physics*, 1(1), 1-8.
- [22] P. Winget et al., "Defect-driven interfacial electronic structures at an organic/metal-oxide semiconductor heterojunction," *Advanced Materials*, vol. 26, no. 27, pp. 4711-4716, 2014
- [23] Iwan, S., Fauzia, V., Umar, A. A., & Sun, X. W. (2016, April). Room temperature photoluminescence properties of ZnO nanorods grown by hydrothermal reaction. In *AIP Conference Proceedings* (Vol. 1729, No. 1). AIP Publishing.
- [24] Manurung, P., Suprihatin, S., & Liani, F. 2024. Peningkatan Fungsi Daun Chaya sebagai Agen Reduksi pada Sintesis Seng Nanopartikel. *Jurnal Teori dan Aplikasi Fisika*, 39-48.