

Sintesis dan Analisis Absorpsi UV-Vis Nanokomposit ZnO@CQD (Carbon Quantum Dots)

Nabila Fadia Haya, Astuti*, Sri Rahayu Alfitri Usna
Laboratorium Fisika Material, Departemen Fisika
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Andalas
Kampus Unand Limau Manis, Padang, 25163, Indonesia

Info Artikel	ABSTRAK
<p>Histori Artikel: Diajukan: 01 September 2023 Direvisi: 25 Januari 2024 Diterima: 18 Maret 2024</p>	<p>Penelitian tentang sintesis dan analisis absorpsi UV-Vis nanokomposit ZnO@CQD telah dilakukan. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisa absorpsi UV-Vis ZnO terhadap penambahan larutan CQD. Sampel yang digunakan yaitu nanopartikel ZnO dan nanokomposit ZnO@CQD dengan variasi volume CQD 10 ml, 20 ml, dan 30 ml. Metode yang digunakan untuk pembuatan ZnO dan CQD adalah metode hidrotermal, sedangkan penggabungan ZnO@CQD dilakukan dengan metode sonikasi. Karakterisasi sampel menggunakan <i>x-ray diffraction</i> (XRD), <i>fourier transform infrared</i> (FTIR), dan spektrofotometer UV-Vis. Hasil karakterisasi XRD menunjukkan ZnO dan ZnO@CQD (30 ml) memiliki struktur kristal wurtzite hexagonal untuk ZnO dan cubic untuk CQD. Ukuran kristal ZnO sebesar 27,27 nm, sementara ZnO@CQD (30 ml) 40,86 nm. Hasil uji FTIR pada variasi ZnO@CQD terdapat ikatan Zn-O yang menunjukkan terbentuk ZnO dan ikatan C=C menunjukkan terbentuknya CQD. Analisis hasil karakterisasi UV-Vis didapatkan rentang cahaya UV pada panjang gelombang 300-400 nm, sedangkan pada rentang panjang gelombang 400-700 nm absorpsi mengalami peningkatan karena variasi larutan CQD. Perhitungan nilai celah pita energi menggunakan metode touch plot didapatkan celah pita energi untuk ZnO sebesar 3,15 eV, sedangkan celah pita energi ZnO@CQD 10 ml, 20 ml, dan 30 ml berturut-turut adalah 3,17 eV, 3,12 eV, dan 3,16 eV.</p>
<p>Kata kunci: CQD hidrotermal sonikasi ZnO</p>	
<p>Keywords: CQD hydrothermal Sonication ZnO</p>	
<p>Penulis Korespondensi: Astuti Email: astuti@sci.unand.ac.id</p>	<p><i>Synthetic research on and analysis of UV-Vis absorption of ZnO@CQD nanocomposites has been carried out. This research aims to analyze the UV-Vis Absorption of ZnO when adding a CQD solution. The samples used were ZnO nanoparticles and ZnO@CQD nanocomposites with varying CQD volumes of 10 ml, 20 ml, and 30 ml. The method used to manufacture ZnO and CQD is the hydrothermal method, while the incorporation of ZnO@CQD is carried out using the sonication method. Sample characterization using X-ray diffraction (XRD), Fourier Transform Infrared (FTIR), and UV-Vis spectrophotometer. The XRD characterization results show that ZnO and ZnO@CQD (30 ml) have a hexagonal wurtzite crystal structure for ZnO and cubic for CQD. The crystal size of ZnO is 27.27 nm, while ZnO@CQD (30 ml) is 40.86 nm. The FTIR test results on variations of ZnO@CQD contain Zn-O bonds which indicate the formation of ZnO and C=C bonds indicate the formation of CQD. Analysis of the UV-Vis characterization results showed that the UV light range was at a wavelength of 300-400 nm, while in the wavelength range of 400-700 nm, the absorption increased due to variations in the CQD solution. Calculation of the energy band gap value using the touch plot method shows that the energy band gap for ZnO is 3.15 eV, while the energy band gap for ZnO@CQD 10 ml, 20 ml, and 30 ml is 3.17 eV, 3.12 eV, and 3.16 eV respectively.</i></p>

Copyright © 2024 Author(s). All rights reserved

I. PENDAHULUAN

Nanopartikel ZnO merupakan senyawa anorganik yang memiliki energi eksiton sebesar 60 MeV dan celah pita energi 3,37 eV (Rauwel dkk., 2016). Dari nilai celah pita energi tersebut ZnO dapat diaplikasikan sebagai material luminesens. Karakterisasi absorpsi yang dihasilkan sangat bergantung pada kondisi permukaan nanopartikel ZnO. Oleh karena itu, modifikasi permukaan diperlukan untuk meningkatkan sifat absorpsi UV-Vis dari ZnO. Pada beberapa penelitian telah dilakukan modifikasi permukaan ZnO, seperti menggunakan *graphene oxide* (GO) (Abbasi dkk., 2020; Sodeifian & Behnood, 2020), Fe₃O₄ (Gupta dkk., 2021; Novita & Astuti, 2023), SiO₂ (Prasanna dkk., 2020), polivinil alkohol (PVA) (EL-Dafrawy dkk., 2021), Tembaga II Oksida (CuO) (Shinde dkk., 2022; H. Xu dkk., 2023), *carbon nanotubes* (CNT) (Li dkk., 2012), dan lain-lain.

Prasanna dkk., (2020) melapisi permukaan ZnO dengan SiO₂ menggunakan metode koplesipitasi untuk aplikasi *bioimaging* dan *drug delivery*. Nanokomposit ZnO/SiO₂ yang dihasilkan menunjukkan viabilitas sel yang tinggi, biokompatibilitas, dan sifat absorpsi yang tinggi sehingga cocok untuk aplikasi *bioimaging* dan *drug delivery*. Penelitian lain yaitu Gupta dkk., (2021) melakukan sintesis Fe₃O₄@ZnO dengan metode hidrotermal untuk aplikasi *bioimaging*. ZnO berperan sebagai material *shell* sedangkan Fe₃O₄ sebagai *core*. Secara keseluruhan hasil karakterisasi nanokomposit menunjukkan potensi signifikan untuk digunakan dalam hipertemia magnetik dan *bio-imaging*. EL-Dafrawy dkk., (2021) juga melakukan modifikasi permukaan pada ZnO dengan melapisi PVA menggunakan metode sol-gel. Penambahan PVA ke permukaan ZnO dapat meningkatkan sifat fotokatalis dan biologis ZnO murni sehingga ZnO/PVA cocok digunakan untuk aplikasi *bioimaging*.

Material lain yang dapat menghasilkan sifat absorpsi adalah *carbon quantum dots* (CQD). CQD merupakan nanopartikel karbon yang ukurannya lebih kecil dari 10 nm. Fatimah dkk., (2018) melakukan sintesis CQD berbahan dasar organik dan limbah organik dengan metode *green synthesis* berbasis *microwave*. Bahan organik yang digunakan berupa sawi, kentang, biji jagung, dan limbah organik (kulit jagung dan tongkol jagung). Karakterisasi *photoluminisens* (PL) CQD menunjukkan bahwa panjang gelombang absorpsi dan ukuran celah pita energi yang relatif sama untuk semua bahan yaitu 500 nm dan 2,46 eV. Pada penelitian ini ditemukan perbedaan intensitas cahaya UV pada sampel CQD disebabkan oleh kepadatan molekul penyusunnya.

Berdasarkan penelitian yang telah diuraikan tersebut, maka pada penelitian ini dikembangkan nanokomposit ZnO@CQD dengan variasi larutan CQD yaitu 10 ml, 20 ml, dan 30 ml. Tujuan penelitian yaitu untuk mengetahui absorpsi UV-Vis ZnO terhadap pengaruh variasi volume CQD yang dianalisa berdasarkan hasil karakterisasi *x-ray diffraction* (XRD), *fourier transform infrared* (FTIR), dan spektrofotometer UV-Vis. Proses sintesis ZnO dan CQD menggunakan metode hidrotermal, karena mampu menghasilkan partikel dengan tingkat kristal yang tinggi dan pengontrolan yang lebih baik dari segi ukuran dan bentuk. Sintesis CQD menggunakan daun pisang kering kemudian digabungkan dengan ZnO menggunakan metode sonikasi. Kelebihan metode sonikasi yaitu dapat memecah agregat kristal yang memiliki ukuran besar menjadi agregat kristal yang memiliki ukuran kecil

II. METODE

2.1 Sintesis Nanopartikel ZnO

Sintesis ZnO dilakukan dengan menggunakan metode hidrotermal. ZnO dibuat dengan mencampurkan Zn(NO₃)₂.6H₂O dan NaOH, dimana rasio massa molar yang digunakan yaitu 1:2. Sebanyak 0,5 M Zn(NO₃)₂.6H₂O dilarutkan ke dalam 50 ml *aquades* dan 1 M NaOH dilarutkan dalam 10 ml *aquades*. Larutan Zn(NO₃)₂.6H₂O diaduk menggunakan *magnetic stirrer* dengan kecepatan putaran 300 rpm, kemudian ditambahkan sedikit demi sedikit larutan NaOH menggunakan pipet tetes hingga didapatkan pH 11. Sampel dimasukkan ke dalam *autoclave* dan dipanaskan pada suhu 80 °C selama tiga jam menggunakan oven. Selanjutnya sampel disaring menggunakan kertas saring *whatsman* No.1 dan dicuci menggunakan *aquades* sebanyak dua kali. Setelah itu, sampel dimasukkan ke dalam *furnace* dan dipanaskan pada temperatur 200 °C selama 12 jam. Endapan sampel yang telah kering digerus menggunakan mortar dan alu sehingga sampel berbentuk nanopartikel ZnO.

2.2 Sintesis CQD

Sintesis CQD dilakukan dengan menggunakan metode hidrotermal. Daun pisang dikeringkan di bawah cahaya matahari secara langsung. Selanjutnya daun pisang dipotong menjadi ukuran yang lebih kecil sekitar 1 cm dan dimasukkan ke dalam cawan porselen, lalu ditutup menggunakan aluminium foil. Daun pisang lalu dikeringkan menggunakan furnace pada suhu 200 °C selama satu jam. Setelah itu, daun pisang kering dihaluskan menggunakan mortar dan alu, kemudian disaring menggunakan ayakan 300 mesh. Daun pisang dikarbonisasi dalam furnace pada suhu 400 °C selama satu jam lalu digerus kembali dengan mortar dan alu. Serbuk daun pisang ditimbang sebanyak 0,5 g dan dilarutkan dalam 50 ml larutan aquades. Larutan daun pisang dimasukkan ke dalam autoclave dan dipanaskan pada suhu 180 °C selama 12 jam. Selanjutnya larutan disaring menggunakan kertas saring whatsmen No.1 dan didapatkan larutan CQD.

2.3 Sintesis ZnO@CQD

Sintesis ZnO@CQD dilakukan dengan menimbang 0,3 g serbuk ZnO yang dilarutkan ke dalam 10 ml larutan CQD. Kemudian larutan disonikasi selama 90 menit, larutan dimasukkan ke dalam cawan porselen dan ditutup rapat dengan aluminium foil. Selanjutnya larutan dipanaskan menggunakan oven pada suhu 180 °C selama 15 jam. Endapan yang telah kering digerus menggunakan mortar dan alu sehingga terbentuk serbuk ZnO@CQD. Langkah ini diulang kembali dengan menggunakan massa larutan CQD sebanyak 20 ml dan 30 ml.

Nanokomposit ZnO@CQD dikarakterisasi dengan tiga jenis pengujian yaitu XRD, FTIR, dan UV-Vis. Untuk menentukan ukuran kristal pada sampel digunakan Persamaan Debye Scherrer yang didasarkan pada pelebaran puncak difraksi sinar-X. Persamaan Debye Scherrer dalam analisa secara matematis ditulis pada Persamaan 1.

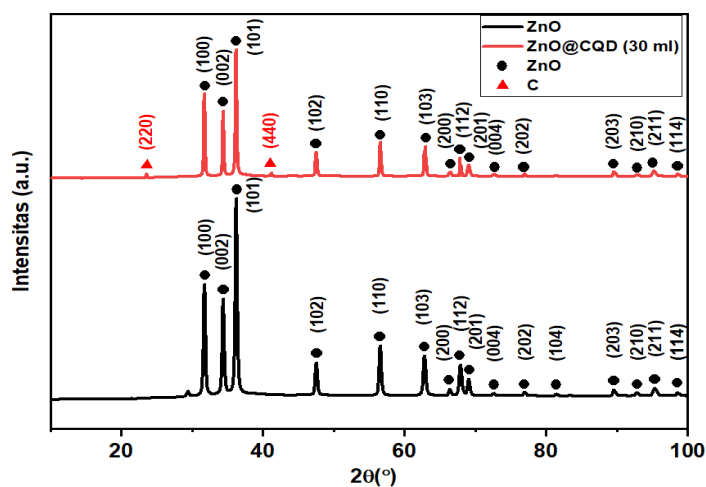
$$D = K \frac{\lambda}{B \cos \theta} \quad (1)$$

dengan D adalah ukuran kristal (nm), λ adalah panjang gelombang sinar-X (nm), θ adalah sudut difraksi, B adalah lebar puncak saat intensitas setengah maksimum (rad), dan K adalah konstanta dimensi kristal (0,9).

III. HASIL DAN DISKUSI

3.1 Analisa Struktur dan Ukuran Kristal

Karakterisasi XRD bertujuan untuk menentukan struktur dan ukuran kristal pada ZnO dan ZnO@CQD (30 ml). Pola difraksi sinar-X sampel uji ditunjukkan pada Gambar 1 dan dibandingkan dengan pola difraksi yang terdapat pada data ICDD (*Internasional for Diffraction Database*).



Gambar 1 Grafik hasil uji XRD

Berdasarkan Gambar 1, puncak difraksi maksimum nanopartikel ZnO berada pada puncak $2\theta = 36,23^\circ$, dengan bidang hkl (101). Fasa yang terbentuk adalah ZnO dan struktur kristal berupa wurzite hexagonal dengan parameter kisi $a = b = 3,2533 \text{ \AA}$ dan $c = 5,2072 \text{ \AA}$. Nanokomposit ZnO@CQD (30

ml) menunjukkan puncak difraksi maksimum pada sudut $2\theta = 36,22^\circ$. Struktur kristal ZnO yaitu *wurtzite hexagonal* dengan parameter kisi $a = b = 3,2533 \text{ \AA}$ dan $c = 5,2072 \text{ \AA}$, dan CQD berstruktur *cubic* dengan parameter kisi $a = b = c = 12,3800 \text{ \AA}$.

Ukuran kristal nanopartikel ZnO dan nanokomposit ZnO@CQD (30 ml) ditentukan dengan menggunakan Persamaan Debye Scherrer pada Persamaan 1. Ukuran kristal nanopartikel ZnO dan nanokomposit ZnO@CQD (30 ml) ditunjukkan oleh Tabel 1.

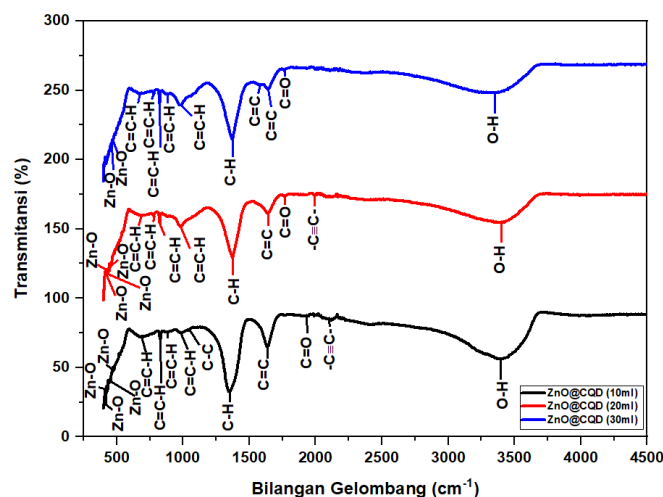
Tabel 1 Ukuran kristal

Variasi Sampel	K	λ (nm)	B (rad)	Cos θ	D (nm)
ZnO	0,9	0,15406	0,15406	0,95042	27,27
ZnO@CQD (30 ml)	0,9	0,15406	0,15406	0,95047	40,86

Berdasarkan Tabel 1 ukuran kristal ZnO ditemukan sebesar 27,27 nm sementara nanokomposit ZnO@CQD memiliki ukuran kristal 40,86 nm. Ukuran kristal ZnO@CQD (30 ml) lebih besar dibandingkan ukuran kristal ZnO, yang menunjukkan bahwa penambahan CQD dapat meningkatkan ukuran kristal. Peningkatan ukuran kristal terjadi karena pembentukan heterostruktur dari CQD (Mandal dkk., 2021).

3.2 Analisa Gugus Fungsi FTIR

Karakterisasi FTIR bertujuan untuk melihat gugus molekul yang terdapat pada nanokomposit ZnO@CQD. Spektrum FTIR menggunakan bilangan gelombang 400 cm^{-1} hingga 4500 cm^{-1} . Hasil pengujian menunjukkan puncak transmisi yang berkaitan dengan energi vibrasi yang terlihat pada Gambar 2.



Gambar 2 Grafik hasil FTIR

Berdasarkan Gambar 2 nanokomposit ZnO@CQD (10 ml) menunjukkan bilangan gelombang $3392,79 \text{ cm}^{-1}$ memiliki gugus O-H (hidroksil). Gugus fungsi O-H mengindikasikan adanya air sebagai pelarut. Puncak serapan pada bilangan gelombang $526,57 \text{ cm}^{-1}$ dan $476,42 \text{ cm}^{-1}$ menunjukkan terbentuknya ikatan Zn-O, gugus fungsi C=C memiliki bilangan gelombang $1631,78 \text{ cm}^{-1}$, dan C=O memiliki bilangan gelombang $1934,60 \text{ cm}^{-1}$. Hal ini mengindikasikan telah terbentuknya CQD dengan metode hidrotermal, dimana C=C merupakan gugus fungsi terpenting dalam material CQD (J. J. Xu dkk., 2023).

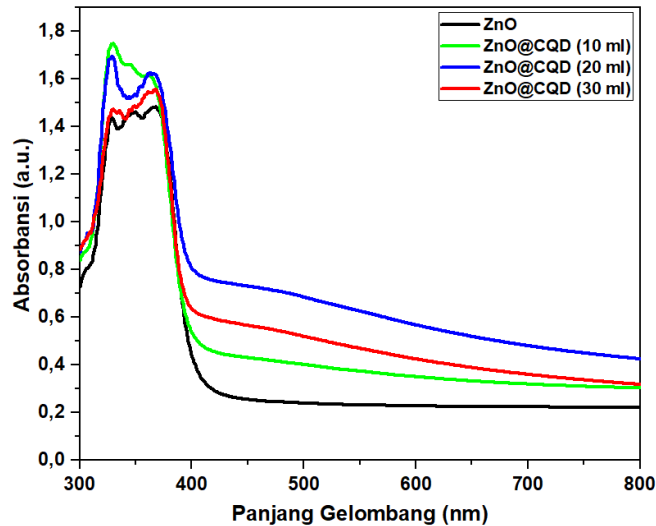
Nanokomposit ZnO@CQD (20 ml) memiliki gugus fungsi O-H pada $3369,64 \text{ cm}^{-1}$ yang menunjukkan penyerapan molekul air dalam nanopartikel ZnO. Ikatan gugus C=C berada pada panjang gelombang $1641,42 \text{ cm}^{-1}$. Daerah serapan pada bilangan gelombang $1764,87 \text{ cm}^{-1}$ menunjukkan adanya gugus fungsi C=O. Gugus fungsi C-H terbentuk pada panjang gelombang $1373,32 \text{ cm}^{-1}$ dan gugus fungsi Zn-O pada bilangan gelombang $524,64 \text{ cm}^{-1}$ dan $457,13 \text{ cm}^{-1}$ (Liang dkk., 2020).

Nanokomposit ZnO@CQD (30 ml) menunjukkan adanya gugus O-H pada bilangan gelombang $3338,78 \text{ cm}^{-1}$. Puncak serapan pada bilangan gelombang $1764,87 \text{ cm}^{-1}$ menunjukkan terbentuknya ikatan C=O. Gugus fungsi C=C terbentuk pada bilangan gelombang $1583,56 \text{ cm}^{-1}$ dan $1641,42 \text{ cm}^{-1}$. Gugus

fungsi Zn-O pada bilangan gelombang $522,71\text{ cm}^{-1}$ dan $503,42\text{ cm}^{-1}$. Hasil FTIR memperlihatkan adanya gugus fungsi C=C yang merupakan komponen inti dari CQD, sementara gugus fungsi O-H dan C=O bersifat konstitutif (permukaan) (Bozetine dkk., 2021). Hasil ini mengindikasikan bahwa nanokomposit ZnO@CQD berhasil terbentuk dengan 30 ml CQD. Semakin besar volume larutan CQD yang ditambahkan pada nanopartikel ZnO maka gugus fungsi C=C yang muncul akan semakin banyak.

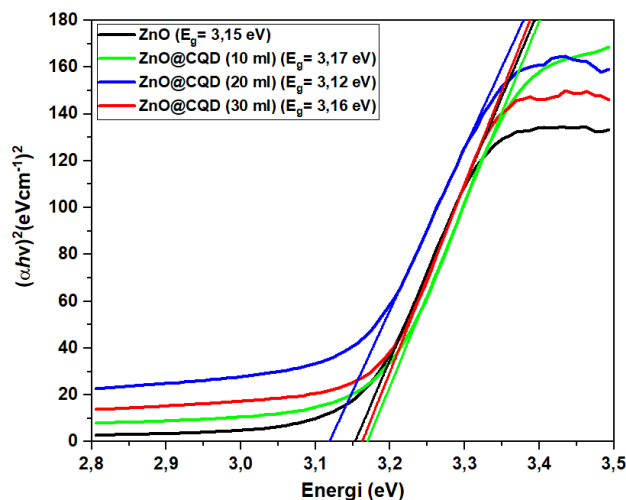
3.3 Analisis Nilai Absorpsi dan Celah Pita Energi

Karakterisasi spektrofotometer UV-Vis digunakan untuk menentukan nilai lebar celah pita energi nanopartikel ZnO dan nanokomposit ZnO@CQD. Hasil karakterisasi UV-Vis menampilkan nilai panjang gelombang (nm) terhadap absorbansi (a.u). Pengukuran spektrum absorbansi nanopartikel ZnO dan nanokomposit ZnO@CQD ditunjukkan oleh Gambar 3.



Gambar 3 Grafik hasil UV-Vis

Berdasarkan Gambar 3 dapat dilihat bahwa nanopartikel ZnO dan nanokomposit ZnO@CQD menyerap cahaya dari rentang 300 nm sampai 400 nm, hal ini berarti ZnO dan ZnO@CQD memiliki rentang absorpsi pada daerah UV. Perbedaan puncak emisi UV pada sampel ZnO dan ZnO@CQD dengan larutan CQD yang bervariasi disebabkan oleh interaksi antara molekul CQD dengan permukaan ZnO. Pada rentang panjang gelombang 400-700 nm puncak absorpsi mengalami peningkatan karena variasi larutan CQD. Hal ini mengindikasikan bahwa penggabungan CQD dapat memicu terjadinya aglomerasi internal ZnO dan menyebabkan penyerapan cahaya yang bertambah untuk variasi CQD yang tinggi dalam sampel ZnO@CQD (J. J. Xu dkk., 2023).



Gambar 4 Grafik nilai celah pita energi

Untuk mendapatkan nilai celah pita energi, data spektrum absorpsi yang didapatkan diolah menggunakan metode *tauc plot*. Pengukuran celah pita energi nanopartikel ZnO dan variasi nanokomposit ZnO@CQD dapat dilihat pada Gambar 4. Berdasarkan Gambar 4 nilai celah pita energi nanopartikel ZnO dengan menggunakan metode *tauc plot* adalah 3,15 eV. Peningkatan volume larutan CQD terhadap ZnO tidak merubah nilai celah pita energi secara signifikan, dimana nilai celah pita energi ZnO@CQD dengan variasi volume CQD 10 ml, 20 ml, dan 30 ml berturut-turut adalah 3,17 eV, 3,12 eV, dan 3,16 eV. Perbedaan nilai celah pita energi antara nanokomposit ZnO dan ZnO@CQD yang berbeda menunjukkan bahwa volume CQD pada nanokomposit dapat mempengaruhi sifat elektronik dan struktur pita material. Nilai celah pita energi yang kecil dapat mempermudah eksitasi elektron karena energi yang dibutuhkan lebih sedikit. Nanokomposit ZnO@CQD menunjukkan penyerapan dalam rentang UV dan menunjukkan potensi untuk aplikasi UV-Vis (Olimpiani & Astuti, 2016).

IV. KESIMPULAN

Hasil karakterisasi XRD menunjukkan ZnO dan ZnO@CQD (30 ml) memiliki struktur kristal *wurtzite hexagonal* untuk ZnO dan *cubic* untuk CQD. Ukuran kristal ZnO sebesar 27,27 nm, sementara ZnO@CQD (30 ml) 40,86 nm. Karakterisasi FTIR pada nanokomposit ZnO@CQD 10 ml, 20 ml, dan 30 ml terdapat ikatan Zn-O yang menunjukkan terbentuknya ZnO, dan ikatan C=C menunjukkan terbentuknya CQD. Karakterisasi UV-Vis didapatkan rentang absorpsi pada daerah UV dan dilakukan perhitungan menggunakan metode *touc plot* sehingga didapatkan nilai celah pita energi ZnO adalah 3,15 eV. Sedangkan nilai celah pita energi nanokomposit ZnO@CQD 10 ml, 20 ml, dan 30 ml berturut-turut adalah 3,17 eV, 3,12 eV, dan 3,16 eV.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih penulis ucapkan kepada semua pihak yang telah berperan dalam penelitian, baik dalam bentuk bantuan dana, perizinan, konsultan, maupun membantu dalam pengolahan data.

DAFTAR PUSTAKA

- Abbasi, S., Ahmadpoor, F., Imani, M., & Ekrami-Kakhki, M. S. (2020). Synthesis of magnetic Fe₃O₄@ZnO@graphene oxide nanocomposite for photodegradation of organic dye pollutant. *International Journal of Environmental Analytical Chemistry*, 100(2), 225–240. <https://doi.org/10.1080/03067319.2019.1636038>
- Bozetine, H., Meziane, S., Aziri, S., Berkane, N., Allam, D., Boudinar, S., & Hadjersi, T. (n.d.). *Facile and green synthesis of a ZnO/CQDs/AgNPs ternary heterostructure photocatalyst: study of the methylene blue dye photodegradation*. <https://doi.org/10.1007/s12034-021-02353-1S>
- EL-Dafrawy, S. M., Tarek, M., Samra, S., & Hassan, S. M. (2021). Synthesis, photocatalytic and antidiabetic properties of ZnO/PVA nanoparticles. *Scientific Reports*, 11(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-021-90846-8>
- Fatimah, S., Isnaeni, I., & Tahir, D. (2018). Sintesis dan Karakterisasi Fotoluminisens Carbon Dots Berbahan Dasar Organik dan Limbah Organik. *POSITRON*, 7(2), 37. <https://doi.org/10.26418/positron.v7i2.22660>
- Gupta, J., Hassan, P. A., & Barick, K. C. (2021). Core-shell Fe₃O₄@ZnO nanoparticles for magnetic hyperthermia and bio-imaging applications. *AIP Advances*, 11(2). <https://doi.org/10.1063/9.0000135>
- Li, H., Kang, Z., Liu, Y., & Lee, S. T. (2012). Carbon nanodots: Synthesis, properties and applications. *Journal of Materials Chemistry*, 22(46), 24230–24253. <https://doi.org/10.1039/c2jm34690g>
- Liang, H., Tai, X., Du, Z., & Yin, Y. (2020). Enhanced photocatalytic activity of ZnO sensitized by carbon quantum dots and application in phenol wastewater. *Optical Materials*, 100(October 2019), 109674. <https://doi.org/10.1016/j.optmat.2020.109674>
- Mandal, S. K., Paul, S., Datta, S., & Jana, D. (2021). Nitrogenated CQD decorated ZnO nanorods towards rapid photodegradation of rhodamine B: A combined experimental and theoretical approach. *Applied Surface Science*, 563. <https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2021.150315>

- Novita, D., & Astuti, A. (2023). Sintesis dan Karakterisasi Sifat Optik Nanokomposit Fe₃O₄@CQD (Carbon Quantum Dots). *Jurnal Fisika Unand*, 12(2), 310–315. <https://doi.org/10.25077/jfu.12.2.310-315.2023>
- Olimpiani, I., & Astuti. (2016). Efek Doping Senyawa Alkali Terhadap Celah Pita Energi Nanopartikel ZnO. *Jurnal Fisika Unand*, 5(2), 115–121.
- Prasanna, A. P. S., Venkataprasanna, K. S., Pannerselvam, B., Asokan, V., Jeniffer, R. S., & Venkatasubbu, G. D. (2020). Multifunctional ZnO/SiO₂ Core/Shell Nanoparticles for Bioimaging and Drug Delivery Application. *Journal of Fluorescence*, 30(5), 1075–1083. <https://doi.org/10.1007/s10895-020-02578-z>
- Rauwel, P., Salumaa, M., Aasna, A., Galeckas, A., & Rauwel, E. (2016). A Review of the Synthesis and Photoluminescence Properties of Hybrid ZnO and Carbon Nanomaterials. *Journal of Nanomaterials*, 2016. <https://doi.org/10.1155/2016/5320625>
- Shinde, R. S., Khairnar, S. D., Patil, M. R., Adole, V. A., Koli, P. B., Deshmane, V. V., Halwar, D. K., Shinde, R. A., Pawar, T. B., Jagdale, B. S., & Patil, A. V. (2022). Synthesis and Characterization of ZnO/CuO Nanocomposites as an Effective Photocatalyst and Gas Sensor for Environmental Remediation. *Journal of Inorganic and Organometallic Polymers and Materials*, 32(3), 1045–1066. <https://doi.org/10.1007/s10904-021-02178-9>
- Sodeifian, G., & Behnood, R. (2020). Hydrothermal Synthesis of N-Doped GQD/CuO and N-Doped GQD/ZnO Nanophotocatalysts for MB Dye Removal Under Visible Light Irradiation: Evaluation of a New Procedure to Produce N-Doped GQD/ZnO. *Journal of Inorganic and Organometallic Polymers and Materials*, 30(4), 1266–1280. <https://doi.org/10.1007/s10904-019-01232-x>
- Xu, H., Fan, P., & Xu, L. (2023). CuO/ZnO/CQDs@PAN Nanocomposites with Ternary Heterostructures for Enhancing Photocatalytic Performance. *Catalysts*, 13(1). <https://doi.org/10.3390/catal13010110>
- Xu, J. J., Lu, Y. N., Tao, F. F., Liang, P. F., & Zhang, P. A. (2023). ZnO Nanoparticles Modified by Carbon Quantum Dots for the Photocatalytic Removal of Synthetic Pigment Pollutants. *ACS Omega*, 8(8), 7845–7857. <https://doi.org/10.1021/acsomega.2c07591>