

ANALISIS CELAH ENERGI OPTIK NANOROD ZINC OXIDE YANG DITUMBUHKAN PADA ZINC FOIL MENGGUNAKAN TEKNIK HIDROTERMAL

Anindita Prameswari Safitri^{1, a)}, Adinda Salsabila Khansa¹, Nurfina Yudasari³,
Iwan Sugihartono^{b)}

¹Departemen Fisika, Universitas Negeri Jakarta, Jl. Rawamangun Muka, Rawamangun, Jakarta Timur 13220, Indonesia.

²Pusat Riset Fotonika, Lembaga Penelitian dan Inovasi, Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN), Kawasan Sains dan Teknologi B.J. Habibie, Tangerang Selatan, Banten 15314, Indonesia.

Email: ^{a)}aninditaprameswarisafitri_1306621010@mhs.unj.ac.id, ^{b)} iwan-sugihartono@unj.ac.id

Abstrak

Penelitian ini melakukan sintesis dan karakterisasi sifat optik nanorod zinc oxide (ZnO) yang ditumbuhkan pada substrat zinc foil menggunakan metode hidrotermal. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh variasi waktu pertumbuhan terhadap morfologi dan nilai celah pita energi (band gap) ZnO. Sintesis dilakukan pada suhu 95 °C dengan waktu pertumbuhan 4, 8, 12, 16, 20, dan 24 jam menggunakan Zn foil yang bertindak sebagai substrat. Karakterisasi dilakukan menggunakan *X-ray Diffraction* (XRD), *Scanning Electron Microscopy* (SEM), dan *UV-Vis Diffuse Reflectance Spectroscopy* (DRS). Hasil menunjukkan bahwa semua sampel memiliki struktur kristal wurtzite dengan orientasi dominan bidang (002). Morfologi nanorod semakin padat dan teratur pada waktu 12–24 jam. Nilai *band gap* meningkat dari 3,11 eV menjadi 3,24 eV, dan menunjukkan kestabilan pada durasi pertumbuhan 12–24 jam. Dengan demikian, waktu pertumbuhan hidrotermal memengaruhi struktur dan sifat optik ZnO, di mana durasi 16–24 jam menghasilkan kualitas terbaik untuk aplikasi optoelektronik.

Kata-kata kunci: ZnO, Nanorod, Hidrotermal, Band Gap, Sifat optik.

Abstract

This study reports the synthesis and optical characterization of zinc oxide (ZnO) nanorods grown on zinc foil substrates via the hydrothermal method. The objective is to investigate the effect of growth duration on the morphology and optical band gap of ZnO. The synthesis was conducted at 95 °C for 4, 8, 12, 16, 20, and 24 hours, using Zn foil as both the substrate and Zn²⁺ source. Characterizations were performed using X-ray Diffraction (XRD), Scanning Electron Microscopy (SEM), and UV-Vis Diffuse Reflectance Spectroscopy (DRS). The results show that all samples exhibit a wurtzite crystal structure with a dominant (002) orientation. The nanorod morphology becomes denser and more uniform at growth durations of 12–24 hours. The band gap increased from 3.11 eV to 3.24 eV, with stable values observed between 12 and 24 hours. Therefore, hydrothermal growth time influences the structural and optical properties of ZnO, with 16–24 hours identified as the optimal duration for optoelectronic applications.

Keywords: ZnO, nanorods, hydrothermal, band gap, optical properties.

PENDAHULUAN

Dalam beberapa tahun terakhir, material nano-semikonduktor telah menjadi fokus penelitian yang berkembang pesat karena sifat-sifat unggul yang dimilikinya serta potensi penerapannya di berbagai bidang, seperti sensor, katalis, perangkat fotoelektronik, dan teknologi fotovoltaik. Nanomaterial dikenal memiliki karakteristik khas dalam hal optik, struktur, elektronik, dan termal, yang menjadikannya menarik untuk dikaji baik dalam penelitian dasar maupun pengembangan aplikasi [1]. Salah satu material semikonduktor tipe-n yang banyak menarik perhatian adalah zinc oxide (ZnO). Material ini dikenal serbaguna dan memiliki potensi aplikasi yang luas di bidang teknologi karena sejumlah kelebihanannya. ZnO memiliki celah pita langsung sebesar 3,37 eV, berlimpah di alam, tidak beracun, stabil secara elektrokimia. Tak hanya itu, ZnO juga memiliki energi ikatan eksiton yang relatif tinggi (60 meV) pada suhu kamar, serta menunjukkan stabilitas mekanik, kimia, dan termal yang baik [2]. Sifat optik dan elektriknya pun sangat unggul, ditambah lagi dengan tingkat biokompatibilitas yang tinggi sehingga aman digunakan dalam berbagai sistem, termasuk yang berbasis biologis. Dengan berbagai karakteristik tersebut, ZnO banyak digunakan dalam berbagai aplikasi, seperti dioda pemancar cahaya (LED), perangkat fotovoltaik, sel surya, sensor gas, perangkat piezoelektrik, elektroda transparan, dan fotokatalis [3].

Sifat optik dan listrik ZnO sangat dipengaruhi oleh faktor-faktor seperti struktur kristal, ukuran, bentuk, serta konsentrasi cacat dalam materialnya. Faktor-faktor ini menentukan sejauh mana ZnO dapat menyerap cahaya, memancarkan fotoluminesensi, dan menghantarkan listrik, sehingga sangat relevan untuk aplikasi di bidang optoelektronik, sensor, dan fotokatalisis. Untuk mendapatkan karakteristik material yang sesuai dengan kebutuhan aplikasi tersebut, telah dikembangkan berbagai metode sintesis ZnO, seperti hidrotermal [4], ablasi laser [5], gelombang mikro [6], chemical vapor deposition (CVD) [7], elektrokimia [8], dan sol-gel [9], serta beberapa metode lainnya. Selain itu, struktur nano ZnO dapat dibentuk dalam berbagai bentuk seperti nanopartikel [10], nanorod [11], nanobelt [12], nanosheet [13], nanotube [14], dan nanowire [15]. Salah satu alasan utama ZnO dibuat dalam berbagai bentuk adalah untuk menghasilkan luas permukaan spesifik yang besar sehingga memungkinkan lebih banyak kontak untuk berinteraksi. Oleh karena itu, pengendalian proses pertumbuhan dan pembentukan struktur ZnO menjadi hal yang penting dan menarik untuk diteliti dalam perkembangan riset material saat ini.

Dari berbagai metode yang ada, metode hidrotermal menjadi salah satu teknik yang menarik untuk digunakan, disebabkan oleh berbagai keunggulan yang dimilikinya, seperti biaya yang rendah, tidak memerlukan peralatan yang rumit, serta dapat digunakan untuk mendeposisikan berbagai jenis material pada beragam jenis substrat. Keunggulan-keunggulan tersebut menjadikan metode ini sangat sesuai untuk proses deposisi dalam skala luas, khususnya dalam memodifikasi sifat film tipis melalui pengaturan dan pengendalian parameter eksperimental selama proses deposisi [16]. Selain itu, metode ini mampu menghasilkan film tipis dengan kualitas yang baik karena proses pertumbuhannya yang berlangsung lambat. Pertumbuhan yang lambat ini memungkinkan orientasi kristalit yang lebih baik, serta perbaikan struktur butir dan konfigurasi kristal. Perubahan pada parameter hidrotermal, seperti suhu dan waktu pertumbuhan, dapat menghasilkan variasi pada panjang dan diameter ZnO nanorod (NRs), yang selanjutnya akan memengaruhi sifat morfologi, kualitas kristal, nilai celah pita energi (*bandgap*) [19].

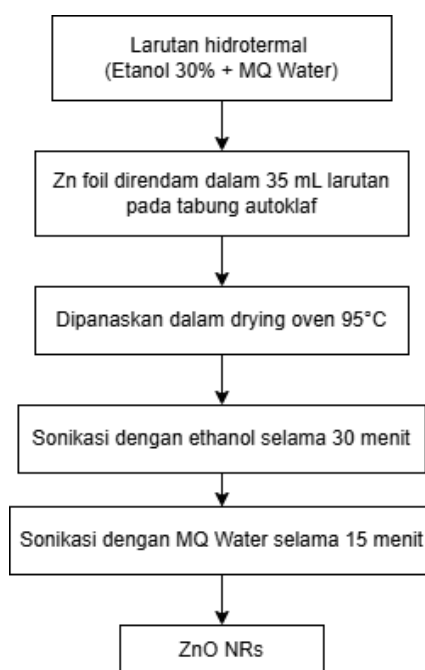
Dalam penelitian ini, akan dilakukan sintesis nanorod ZnO di atas substrat zinc foil menggunakan metode hidrotermal dengan variasi waktu pertumbuhan. Proses sintesis dilakukan tanpa penambahan lapisan awal (*seed layer*), karena zinc foil berperan ganda sebagai substrat sekaligus sumber ion Zn^{2+} . Hal ini memungkinkan pertumbuhan langsung nanorod ZnO di permukaan logam. Untuk mengamati pengaruh waktu pertumbuhan terhadap morfologi nanorod ZnO, dilakukan karakterisasi menggunakan Scanning Electron Microscope (SEM). Sementara itu, untuk menganalisis sifat optiknya, khususnya nilai celah pita energi, digunakan metode Tauc plot berdasarkan data reflektansi yang diperoleh dari pengukuran menggunakan spektrofotometer UV-Vis. Melalui analisis ini, penelitian bertujuan untuk memahami hubungan antara durasi pertumbuhan dengan perubahan morfologi dan karakteristik optik ZnO nanorod yang dihasilkan.

METODOLOGI

Persiapan ZnO Nanorods (ZnO NRs)

Pertumbuhan nanostruktur ZnO dilakukan di atas substrat foil seng (Zn foil) yang diperoleh dari Nilaco Corp (Jepang), dengan ketebalan 0,20 mm dan kemurnian 99,2%. Proses sintesis dilakukan dalam dua tahap utama. Pada tahap pertama, Zn foil dipotong menjadi ukuran 1,5 cm × 1,5 cm. Selanjutnya, dilakukan proses pembersihan dengan metode sonikasi menggunakan etanol selama 30 menit untuk menghilangkan kotoran atau kontaminan pada permukaan substrat. Setelah proses pembersihan, substrat dikeringkan dan disimpan dalam cawan petri hingga siap digunakan pada tahap berikutnya.

Tahap kedua meliputi proses pertumbuhan nanostruktur ZnO menggunakan metode hidrotermal. Larutan prekursor disiapkan dengan mencampurkan etanol 30% dan air deionisasi (MQ water). Substrat Zn foil kemudian ditempatkan secara horizontal di dalam tabung autoklaf dan direndam dalam 35 mL larutan hidrotermal yang telah disiapkan. Proses reaksi hidrotermal dilakukan di dalam oven pada suhu 95°C dengan variasi waktu reaksi selama 4, 8, 12, 16, 20, dan 24 jam. Setelah proses hidrotermal selesai, nanorod ZnO (ZnO NRs) yang terbentuk dibersihkan kembali melalui sonikasi dalam etanol selama 30 menit, kemudian dibilas dengan air deionisasi (MQ water) selama 15 menit. Sampel ZnO NRs yang telah bersih kemudian dikeringkan dan disimpan dalam cawan petri hingga siap untuk analisis selanjutnya.



GAMBAR 1. Diagram alir proses sintesis ZnO Nanorods.

Karakterisasi Struktur dan Optik

Karakterisasi terhadap sampel yang telah disintesis dilakukan untuk mengetahui sifat kristalinitas, morfologi permukaan, dan karakter optiknya. Uji kristalinitas dilakukan menggunakan difraksi sinar-X (XRD) dengan sumber radiasi Cu K α ($\lambda = 1,5406 \text{ \AA}$) tanpa perlakuan tambahan terhadap sampel. Pengamatan terhadap morfologi dan komposisi unsur permukaan dilakukan menggunakan *Scanning Electron Microscopy* (SEM). Sampel dipotong menjadi ukuran 5 × 5 mm agar dapat dipasang pada holder alat SEM. Sementara itu, sifat optik sampel diperoleh melalui pengukuran menggunakan *UV-*

Vis Diffuse Reflectance Spectroscopy (DRS). Data reflektansi yang diperoleh digunakan untuk menentukan energi celah pita (*bandgap*) optik dari material menggunakan metode plot Tauc.

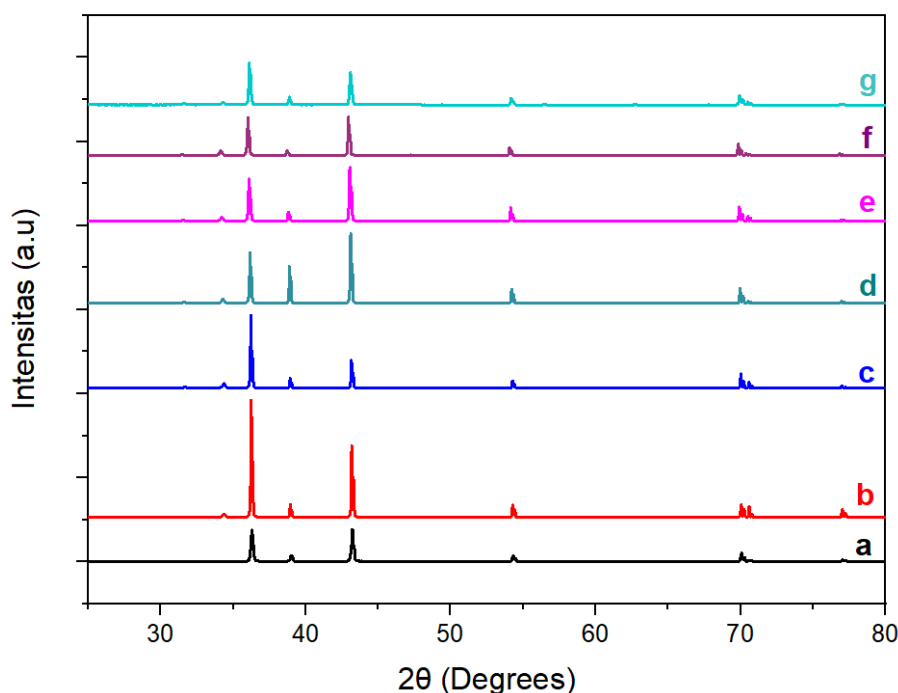
$$(\alpha h\nu)^2 = A(h\nu - E_g)^2 \quad (1)$$

Di mana α adalah koefisien serapan, $h\nu$ merupakan energi foton datang, A adalah konstanta yang bergantung pada material, dan E_g adalah energi celah pita optik (dalam satuan eV). Nilai n menunjukkan jenis transisi elektronik, yaitu sebesar $\frac{1}{2}$ untuk transisi langsung yang diizinkan dan 2 untuk transisi tidak langsung. Dalam penelitian ini digunakan $n = \frac{1}{2}$ karena ZnO termasuk material dengan transisi langsung.

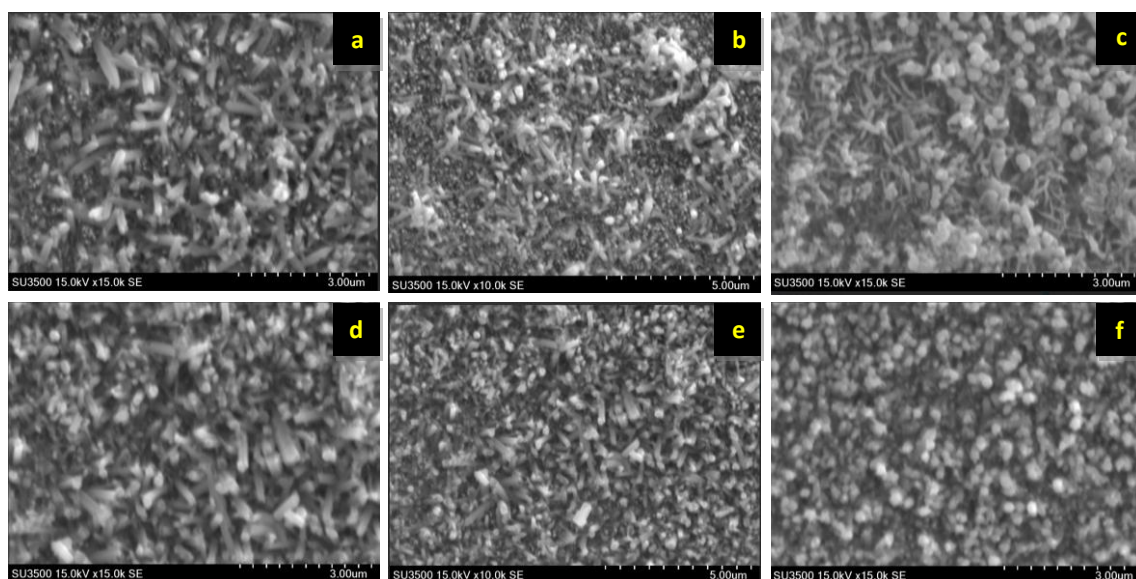
HASIL DAN PEMBAHASAN

Struktur Kristal dan Morfologi ZnO NRs

Analisis struktur kristal dilakukan menggunakan difraksi sinar-X (XRD) untuk mengidentifikasi fasa kristalin dan orientasi pertumbuhan ZnO (Gambar 2). Hasil menunjukkan pola difraksi untuk Zn foil dan sampel ZnO yang disintesis pada berbagai waktu pertumbuhan. Semua pola difraksi menampilkan puncak-puncak khas dari struktur kristal heksagonal wurtzite ZnO yang sesuai dengan kartu ICSD 98-006-7848. Puncak utama yang muncul pada sekitar $2\theta = 34,5^\circ$, $36,17^\circ$, dan $38,8^\circ$ masing-masing dikaitkan dengan bidang (100), (002), dan (101), yang merupakan indikasi kuat dari pembentukan ZnO fase tunggal. Intensitas puncak yang semakin tajam dan meningkat pada waktu pertumbuhan yang lebih lama menunjukkan peningkatan kristalinitas. Selain itu, dominasi puncak (002) pada sampel ZnO 12 jam mengindikasikan adanya orientasi pertumbuhan preferensial sejajar arah c-axis, yang umum ditemukan pada struktur ZnO berbentuk nanorod. Tidak terdeteksi adanya fasa impuritas, menunjukkan bahwa proses hidrotermal berhasil mengkonversi permukaan Zn foil menjadi ZnO secara efektif.



GAMBAR 2. Pola difraksi sinar-X dari nanorod ZnO yang disintesis pada substrat Zn foil pada suhu 95 °C dengan variasi waktu pertumbuhan hidrotermal: (a) Zn foil, (b) 4 jam, (c) 8 jam, (d) 12 jam, (e) 16 jam, (f) 20 jam, dan (g) 24 jam.



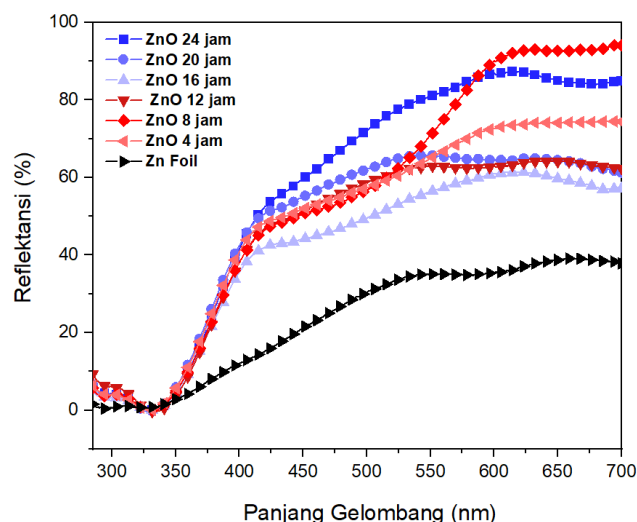
GAMBAR 3. Hasil SEM nanorod ZnO yang disintesis pada substrat Zn foil pada suhu 95 °C dengan variasi waktu pertumbuhan hidrotermal: (a) 4 jam, (b) 8 jam, (c) 12 jam, (d) 16 jam, (e) 20 jam, dan (f) 24 jam.

Hasil SEM menunjukkan evolusi morfologi ZnO nanorod (ZnO NRs) yang ditumbuhkan pada substrat Zn foil dengan variasi waktu hidrotermal (Gambar 3). Pada waktu pertumbuhan 4 dan 8 jam, nanorod mulai terbentuk namun masih pendek, jarang, dan belum homogen. Hal ini mengindikasikan tahap awal pertumbuhan di mana nukleasi belum optimal. Seiring bertambahnya waktu (12–20 jam), nanorod tumbuh lebih rapat, menutupi permukaan dengan morfologi yang lebih seragam. Struktur nanorod menjadi lebih panjang dan padat. Pada 24 jam, permukaan menunjukkan susunan nanorod yang paling teratur dan homogen, menandakan bahwa kondisi pertumbuhan telah mencapai kestabilan morfologi. Hasil ini selaras dengan reflektansi yang tinggi dan nilai band gap yang stabil, bahwa waktu pertumbuhan mempengaruhi keteraturan dan kerapatan nanorod secara signifikan.

Sifat Optik ZnO

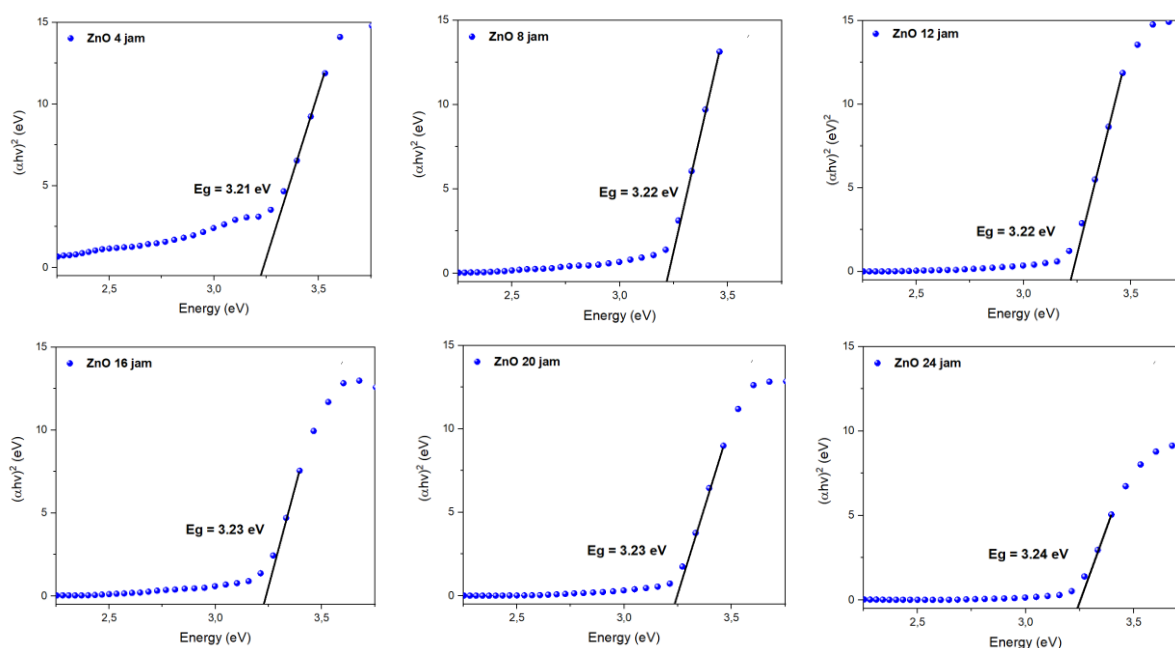
Sifat optik ZnO NRs dianalisis melalui pengukuran spektrum reflektansi dalam rentang panjang gelombang 300–700 nm (Gambar 3). Hasil pengukuran menunjukkan bahwa reflektansi meningkat seiring bertambahnya waktu pertumbuhan hidrotermal. Sampel ZnO NRs 20 dan 24 jam menunjukkan reflektansi tertinggi, mengindikasikan bahwa struktur nanorod yang lebih panjang dan rapat menghasilkan hamburan cahaya yang lebih besar. Peningkatan reflektansi pada panjang gelombang 400–700 nm mencerminkan peningkatan kemampuan permukaan untuk memantulkan cahaya akibat morfologi permukaan yang semakin berkembang.

Pada sampel dengan waktu pertumbuhan lebih lama, seperti 20 jam dan 24 jam, reflektansi meningkat secara stabil dan menampilkan kurva yang halus, menandakan bahwa nanorod telah tumbuh dengan morfologi yang seragam dan orientasi yang terarah. Sebaliknya, pada sampel dengan waktu pertumbuhan yang lebih singkat, khususnya 4 jam dan 8 jam, terlihat adanya fluktuasi atau ketidakteraturan pada kurva reflektansi di beberapa rentang panjang gelombang. Fluktuasi ini kemungkinan besar disebabkan oleh pertumbuhan awal ZnO NRs yang belum stabil, di mana struktur nanorod masih pendek, belum homogen, dan belum terbentuk secara penuh. Hal ini menghasilkan permukaan yang tidak merata secara optik, sehingga menyebabkan pantulan cahaya yang tidak konsisten. Selain itu, ketidakteraturan ini juga bisa berasal dari ketidakteraturan orientasi kristal, keberadaan mikrocacat, atau tingkat kekasaran permukaan yang tinggi pada tahap awal pertumbuhan. Terjadinya fluktuatif ini menjadi indikasi bahwa waktu pertumbuhan minimal belum tercapai untuk menghasilkan lapisan ZnO NRs dengan kualitas optik yang baik.



GAMBAR 4. Spektrum reflektansi ZnO nanorod (ZnO NRs) yang ditumbuhkan pada substrat zinc foil dengan variasi waktu pertumbuhan hidrotermal

Nilai energi *band gap* berdasarkan fungsi Kubelka-Munk, yang dihitung dari data reflektansi difus. Metode ini umum digunakan untuk memperkirakan *band gap* material semikonduktor dalam bentuk lapisan tipis atau serbuk, termasuk ZnO. Karena ZnO merupakan semikonduktor dengan transisi langsung (*direct allowed*), maka analisis dilakukan dengan mengekstrapolasi bagian linear dari grafik Tauc terhadap sumbu energi foton. Hasil analisis menunjukkan bahwa nilai *band gap* meningkat seiring bertambahnya waktu pertumbuhan (Gambar 5). Band gap Zn foil sebagai substrat awal menunjukkan nilai 3,11 eV, kemudian meningkat menjadi 3,21 eV untuk ZnO 4 jam dan mencapai 3,24 eV untuk ZnO 24 jam. Hal ini menandakan bahwa lapisan ZnO hasil sintesis memberikan kontribusi utama terhadap sifat optik material. Nilai *band gap* berada pada kisaran 3,21–3,24 eV masih sesuai dengan karakteristik ZnO sebagai semikonduktor tipe-n dengan *direct band gap* lebar. Seluruh sampel menunjukkan karakteristik semikonduktor yang baik dan layak untuk diaplikasikan dalam berbagai perangkat optoelektronik, seperti fotodetektor ultraviolet, fotokatalis, dan lapisan aktif dalam sel surya.



GAMBAR 5. Nilai band gap ZnO nanorod (ZnO NRs) yang ditumbuhkan pada substrat zinc foil dengan variasi waktu pertumbuhan hidrotermal

SIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian, dapat disimpulkan bahwa pertumbuhan nanorod ZnO pada substrat ZnO berhasil disintesis dalam bentuk nanorod di atas substrat zinc foil menggunakan metode hidrotermal pada suhu 95 °C dengan variasi waktu pertumbuhan 4 hingga 24 jam. Hasil karakterisasi XRD menunjukkan bahwa seluruh sampel memiliki struktur kristal heksagonal wurtzite tanpa fasa impuritas, dengan orientasi dominan pada bidang (002) yang mengindikasikan arah pertumbuhan sejajar sumbu c. Hasil SEM memperlihatkan bahwa morfologi nanorod mengalami evolusi signifikan seiring pertambahan waktu reaksi. Pada waktu pendek (4–8 jam), nanorod belum terbentuk sempurna, sedangkan pada waktu 12–24 jam, struktur nanorod lebih padat, homogen, dan terarah, menunjukkan pertumbuhan yang lebih stabil. Pengukuran UV-Vis dan analisis menggunakan metode Kubelka-Munk menunjukkan bahwa nilai energi celah pita (band gap) meningkat dari 3,11 eV (Zn foil) menjadi 3,21 eV (ZnO 4 jam), dan mencapai 3,24 eV pada waktu pertumbuhan 24 jam. Nilai ini mencerminkan transisi langsung khas ZnO dan menunjukkan kualitas optik yang baik. Stabilitas nilai band gap pada durasi 12–24 jam menandakan kondisi pertumbuhan yang optimal dan seragam.

Secara keseluruhan, variasi waktu hidrotermal berpengaruh terhadap morfologi dan sifat optik ZnO nanorod, dengan waktu 16–24 jam memberikan hasil paling stabil untuk aplikasi optoelektronik seperti fotodetektor, sel surya, dan fotokatalis.

UCAPAN TERIMAKASIH

Ucapan terima kasih disampaikan kepada Program Studi Fisika dan Lembaga Penelitian BRIN yang telah bersedia memberikan fasilitas yaitu Laboratorium Material Fisika dan ruang diskusi untuk mendukung penelitian sehingga penulis dapat menyelesaikan penelitian ini dengan baik. Ucapan terimakasih juga disampaikan untuk staf Laboratorium Riset Universitas Indonesia (UPP) yang telah bersedia memberikan fasilitas pengujian untuk mendukung kelancaran penelitian ini.

REFERENSI

- [1] K. Gautam, I. Singh, P. K. Bhatnagar, and K. R. Peta, "The effect of growth temperature of seed layer on the structural and optical properties of ZnO nanorods," *Superlattices and Microstructures*, 2016, vol.93, pp. 101-108.
- [2] A. Abdulrahman, S. Ahmed, and M. Almessiere, "Effect if The Growth Time on The Optical Properties of ZnO Nanorods Grown by Low Temperature Method," *Digest Journal of Nanomaterials and Biostructures*, 2017, vol. 12, no. 4, pp. 1001–1009.
- [3] S. Agarwal, L. K. Jangir, K. S. Rathore, M. Kumar, and K. Awasthi, "Morphology-dependent structural and optical properties of ZnO nanostructures," *Applied physics. A, Materials science & processing*, 2019, vol. 125, no. 8.
- [4] V. Gerbriers *et al.*, "Hydrothermal synthesis of ZnO nanostructures with controllable morphology change," *CrystEngComm*, 2020, vol. 22, no. 8, pp. 1346–1358.
- [5] N. Yudasari *et al.*, "Laser-assisted deposition of Ag on self-sourced growth ZnO nanorods as reusable photocatalysts for water purification," *Inorganic Chemistry Communications*, 2022, vol. 146, pp. 110065–110065.
- [6] K. R. Ahammed *et al.*, "Microwave assisted synthesis of zinc oxide (ZnO) nanoparticles in a noble approach: utilization for antibacterial and photocatalytic activity," *SN Applied Sciences*, 2020, vol. 2, no. 5.

- [7] I. A. Ahmad and Y. H. Mohammed, "Synthesis of ZnO nanowires by thermal chemical vapor deposition technique: Role of oxygen flow rate," *Micro and Nanostructures*, 2023, vol. 181, p. 207628.
- [8] C. V. Manzano, L. Philippe, and A. Serrà, "Recent progress in the electrochemical deposition of ZnO nanowires: synthesis approaches and applications," *Critical Reviews in Solid State and Materials Sciences*, 2021, vol. 47, no. 5, pp. 772–805.
- [9] K. Davis, R. Yarbrough, M. Froeschle, J. White, and H. Rathnayake, "Band gap engineered zinc oxide nanostructures via a sol–gel synthesis of solvent driven shape-controlled crystal growth," *RSC Advances*, 2019, vol. 9, no. 26, pp. 14638–14648.
- [10] M. J. Haque, M. M. Bellah, M. R. Hassan, and S. Rahman, "Synthesis of ZnO nanoparticles by two different methods & comparison of their structural, antibacterial, photocatalytic and optical properties," *Nano Express*, 2020, vol. 1, no. 1, p. 010007.
- [11] B. Ahmad, M. Irfa, M. I. Khan, M. Atif, I. Ahmad, and A. Sharif, "Synthesis and characterization of ZnO nanorods via hydrothermal route for wastewater recycling," *Journal of Ovonic Research*, 2024, vol. 20, no. 6, pp. 779–792.
- [12] X-B. Jin *et al.*, "Porous and single-crystalline ZnO nanobelts: fabrication with annealing precursor nanobelts, and gas-sensing and optoelectronic performance," *Nanotechnology*, 2016, vol. 27, no. 35, pp. 355702–355702.
- [13] P. Supraja, R. K. R, S. Mishra, D. Haranath, P. R. Sankar, and K. Prakash, "A simple and low-cost approach for the synthesis and fabrication of ZnO nanosheet-based nanogenerator for energy harvesting and sensing," *Engineering Research Express*, 2021, vol. 3, no. 3, p. 035022.
- [14] A. Alameer, "Structural and optical properties of ZnO nanotube synthesis via novel method," *Results in Physics*, 2017, vol. 7, pp. 1498–1503.
- [15] Y. Zhang, M. K. Ram, E. K. Stefanakos, and D. Y. Goswami, "Synthesis, Characterization, and Applications of ZnO Nanowires," *Journal of Nanomaterials*, 2012, vol. 2012, pp. 1–22.
- [16] P. Rattanawarinchai *et al.*, "Growth time dependence on photoelectrochemical property of zinc oxide nanorods prepared by hydrothermal synthesis," *Surface Review and Letters*, 2018, vol. 25, no. Supp01, pp. 1840001–184000.
- [17] C. Wang *et al.*, "Synthesis of nanostructural ZnO using hydrothermal method for dye-sensitized solar cells," *Science China Technological Sciences*, 2010, vol. 53, no. 4, pp. 1146–1149,