Jurnal Fisika Unand (JFU)
Vol. 15, No. 2, Maret 2026, hal. 236 – 243
ISSN: 2302-8491 (Print); 2686-2433 (Online)
https://doi.org/10.25077/jfu.15.2.236-243.2026

Open Access

Sintesis Hijau dan Karakterisasi Nanopartikel ZnO Menggunakan Ekstrak Daun Kelapa Sawit (*Elaeis guineensis*)

Daniel Hizhar, Sri Handani*, Elvaswer
Departemen Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Andalas, Kampus Unand Limau Manis, Padang, Sumatera Barat 25163

Info Artikel

Histori Artikel:
Diajukan: 20 Januari 2026
Direvisi: 25 Februari 2026
Diterima: 31 Maret 2026

Kata kunci:
daun kelapa sawit
Elaeis guineensis
karakterisasi
nanopartikel ZnO
sintesis hijau

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk menyintesis nanopartikel seng oksida (ZnO) melalui sintesis hijau menggunakan ekstrak daun kelapa sawit sebagai agen pereduksi dan penstabil alami. Metode sintesis hijau dilakukan dengan memanfaatkan senyawa fitokimia dalam ekstrak daun kelapa sawit untuk mereduksi prekursor zinc acetate dihydrate menjadi nanopartikel ZnO. Karakterisasi struktur kristal, gugus fungsi, dan morfologi dilakukan menggunakan X-ray Diffraction (XRD), Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR), dan Field Emission Scanning Electron Microscopy (FESEM). Hasil XRD menunjukkan bahwa nanopartikel ZnO memiliki struktur kristal heksagonal wurtzite tanpa fase pengotor dengan ukuran kristalit 22,20 nm. Analisis FTIR mengonfirmasi keberadaan ikatan Zn–O serta gugus organik dari ekstrak daun kelapa sawit. Citra FESEM memperlihatkan morfologi partikel berbentuk sferis hingga quasi-sferis dengan kecenderungan teraglomerasi serta ukuran partikel 84,40 nm yang terdistribusi secara merata. Hasil ini menunjukkan bahwa ekstrak daun kelapa sawit efektif digunakan dalam sintesis hijau nanopartikel ZnO.

Keywords:
Characterization
Elaeis guineensis
green synthesis
palm oil leaf
ZnO nanoparticles

Penulis Korespondensi:
Sri Handani
Email: srihandani@sci.unand.ac.id

This study aims to synthesize zinc oxide (ZnO) nanoparticles through a green synthesis approach using palm oil leaf extract as a natural reducing and stabilizing agent. The green synthesis method utilizes phytochemical compounds present in the palm oil leaf extract to reduce zinc acetate dihydrate precursor into ZnO nanoparticles. The crystal structure, functional groups, and morphology of the synthesized ZnO nanoparticles were characterized using X-ray Diffraction (XRD), Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR), and Field Emission Scanning Electron Microscopy (FESEM), respectively. The XRD results indicate that the ZnO nanoparticles exhibit a hexagonal wurtzite crystal structure without impurity phases, with an average crystallite size of 22.20 nm. FTIR analysis confirms the presence of Zn–O bonds along with residual organic functional groups originating from the palm oil leaf extract. FESEM images reveal spherical to quasi-spherical particle morphology with agglomerated structures and a uniformly distributed average particle size of 84.40 nm. These results demonstrate that palm oil leaf extract is effective for the green synthesis of ZnO nanoparticles.

Copyright © 2026 Author(s).

I. PENDAHULUAN

Nanopartikel seng oksida (ZnO) merupakan material semikonduktor yang banyak diteliti dan diaplikasikan dalam berbagai bidang dibandingkan dengan oksida logam lainnya, seperti TiO_2 dan SnO_2, karena memiliki sejumlah keunggulan sifat fisik dan kimia. ZnO memiliki celah pita energi lebar sebesar 3,37 eV dan energi ikatan eksiton yang tinggi (60 meV), yang lebih besar dibandingkan beberapa oksida semikonduktor lain, sehingga memungkinkan stabilitas eksiton pada suhu kamar dan meningkatkan efisiensi perangkat optoelektronik (Borysiewicz, 2019). ZnO juga memiliki mobilitas elektron yang tinggi, transparansi optik yang baik, stabilitas termal dan mekanik yang tinggi, serta kemampuan luminesensi kuat pada suhu kamar (Raha & Ahmaruzzaman, 2022). Keunggulan-keunggulan ini menjadikan ZnO lebih unggul dalam aplikasi seperti sensor gas, perangkat optoelektronik, fotovoltaik, dan material fungsional lainnya dibandingkan material oksida logam lain (Franco et al., 2022; Waqas Alam et al., 2025).

Metode sintesis konvensional nanopartikel ZnO umumnya melibatkan penggunaan bahan kimia berbahaya dan proses yang tidak ramah lingkungan (Shafey, 2020). Kondisi ini mendorong pengembangan pendekatan sintesis hijau yang memanfaatkan bahan alami dalam sintesis nanomaterial. Bahan alami yang sering digunakan adalah ekstrak daun tanaman, karena mengandung polifenol, flavonoid, terpenoid, dan alkaloid yang mampu mereduksi ion logam sekaligus membentuk lapisan (*capping*) yang mencegah aglomerasi serta mengontrol pertumbuhan nanopartikel ZnO (Abdelbaky et al., 2022; Handani et al., 2020; Karam & Abdulrahman, 2022; Villagrán et al., 2024).

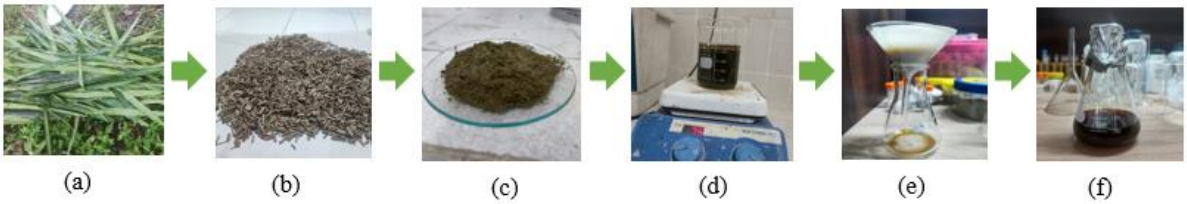
Daun kelapa sawit (*Elaeis guineensis*) merupakan bahan alami yang menjanjikan untuk sintesis hijau karena selain ketersediaannya yang melimpah, juga kaya akan senyawa fitokimia. Ekstrak daun kelapa sawit mengandung polifenol yang tinggi, flavonoid, serta metabolit sekunder lainnya seperti alkaloid, saponin dan terpenoid (Ariyanti et al., 2024; Sulistiarini et al., 2022; Tow et al., 2021). Bebeapa penelitian sebelumnya yang telah berhasil menggunakan ekstrak daun kelapa sawit untuk sintesis nanopartikel, antara lain ZnO (Atikha & Adawiyah, 2017), Au (Tausif et al., 2018), Ag (Diaz-López et al., 2025) dan TiO_2 (Putri et al., 2025).

Meskipun ada penelitian sebelumnya telah melaporkan sintesis nanopartikel ZnO menggunakan ekstrak daun kelapa sawit, tetapi penelitian tersebut masih berfokus pada optimasi kondisi sintesis dan karakterisasi yang terbatas. Selain itu, masih terbatasnya penelitian yang mengkaji hubungan antara biomolekul ekstrak daun kelapa sawit dengan karakteristik struktural, gugus fungsi, dan morfologi nanopartikel ZnO yang dihasilkan. Berdasarkan hal tersebut, penelitian ini bertujuan untuk mensintesis nanopartikel ZnO menggunakan ekstrak daun kelapa sawit serta melakukan karakterisasi komprehensif menggunakan XRD, FTIR, dan FESEM untuk memahami peran biomolekul dalam pembentukan dan pertumbuhan nanopartikel ZnO, serta menjadi pertimbangan untuk pengembangan metode sintesis nanomaterial.

II. METODE

2.1 Ekstraksi Daun Kelapa Sawit

Tahapan yang dilakukan pada ekstraksi daun kelapa sawit ditunjukkan pada Gambar 1. Proses dimulai dengan pengumpulan, pencucian dan pemotongan daun. Daun dikeringkan pada suhu ruang hingga kadar air menurun. Daun kering kemudian digiling dan ditapis menjadi serbuk halus. Sebanyak 20 g serbuk daun dilarutkan ke dalam 300 mL akuades, dipanaskan pada suhu 75^0C selama 30 menit sambil diaduk menggunakan pengaduk magnetik. Larutan disaring menggunakan kertas saring Whatman No. 42 untuk memperoleh ekstrak daun kelapa sawit.

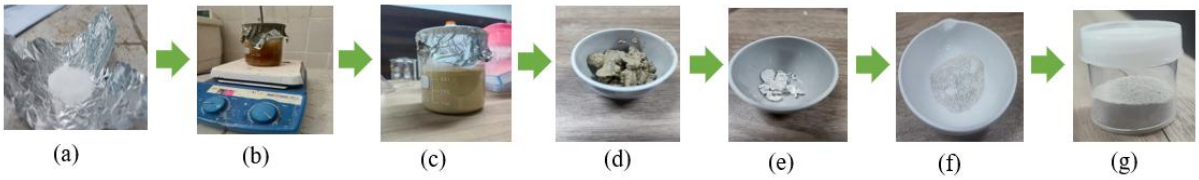


Gambar 1 Proses persiapan ekstrak daun kelapa sawit (a) pengumpulan daun, (b) pengeringan, (c) penghalusan, (d) pelarutan dengan akuades (e) penyaringan dan (f) ekstrak daun kelapa sawit.

2.2 Sintesis Hijau Nanopartikel ZnO

Pada penelitian ini, variabel tetap meliputi konsentrasi prekursor *zinc acetate dihydrate* 0,1 M, suhu sintesis 70^0C, dan waktu pengadukan selama 60 menit. Variabel terkontrol meliputi pH larutan yang dijaga pada rentang 8–9 serta suhu kalsinasi 450^0C selama 4 jam. Variabel respon yang diamati adalah struktur kristal, gugus fungsi, morfologi, serta ukuran kristalit dan ukuran partikel nanopartikel ZnO yang dihasilkan.

Tahapan sintesis hijau nanopartikel ZnO ditunjukkan pada Gambar 2. *Zinc acetate dihydrate* dilarutkan dalam akuades dengan konsentrasi 0,1 M. Ekstrak daun kelapa sawit ditambahkan secara *dropwise* menggunakan pipet tetes ke dalam larutan prekursor sambil diaduk pada suhu 70^0C. Pengaturan pH dilakukan dengan penambahan NaOH 0,5 M hingga larutan mencapai pH 8–9. Pengadukan dilanjutkan selama 60 menit agar diperoleh larutan homogen selama proses penumbuhan nanopartikel. Larutan dibiarkan pada suhu ruang untuk proses penuaan/*aging* selama 12–24 jam. Endapan dipisahkan menggunakan sentrifugasi, dicuci berulang dengan akuades dan etanol, dan dikeringkan pada suhu 80^0C selama 12 jam. Endapan yang telah kering kemudian dikalsinasi pada suhu 450^0C selama 4 jam sehingga diperoleh nanopartikel ZnO.



Gambar 2 Proses sintesis hijau nanopartikel ZnO menggunakan ekstrak daun kelapa sawit (a) *zinc acetate dihydrate*, (b) prekursor dengan penambahan ekstrak daun kelapa sawit dan NaOH, (c) *aging*, (d) endapan setelah sentrifugasi dan pencucian, (e) hasil pengeringan, (f) hasil kalsinasi dan (g) nanopartikel ZnO hasil sintesis hijau

2.3 Karakterisasi

Karakterisasi nanopartikel ZnO hasil sinstesis hijau menggunakan ekstrak daun kelapa sawit dilakukan dengan pengujian *X-ray Diffraction* (XRD), *Fourier Transform Infrared Spectroscopy* (FTIR), dan *Field Emission Scanning Electron Microscopy* (FESEM). Pengujian XRD dilakukan untuk menganalisis struktur kristal dan ukuran kristalit, FTIR untuk menganalisis gugus fungsi yang terbentuk dan FESEM untuk menganalisis morfologi dan ukuran partikel yang dihasilkan. Pengujian XRD dan FTIR dilakukan di Laboratorium Sentral, Universitas Andalas dan FESEM dilakukan di Laboratorium Terpadu, Universitas Negeri Padang.

III. HASIL DAN DISKUSI

3.1 Analisis Struktur Kristal

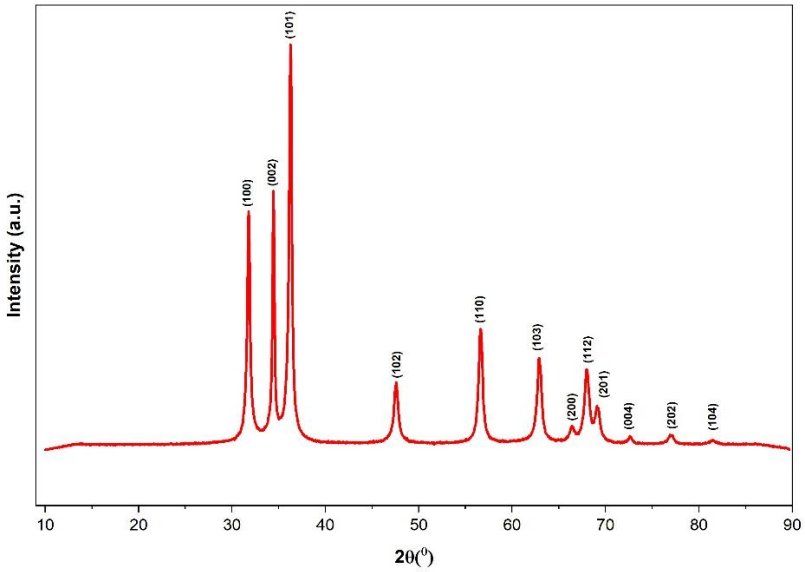
Struktur kristal nanopartikel ZnO hasil sintesis hijau menggunakan ekstrak daun kelapa sawit dianlisis berdasarkan pola difraksi hasil XRD, ditampilkan pada Gambar 3. Pola difraksi yang diperoleh menunjukkan puncak-puncak difraksi khas ZnO pada bidang kristal (100), (002), (101), (102), (110), (103), (112), (201), (004), (202), dan (104). Seluruh puncak tersebut sesuai dengan struktur kristal heksagonal wurtzite ZnO berdasarkan standar ICDD PDF No. 04-015-4060. Kesesuaian posisi dan indeks Miller puncak-puncak difraksi ini mengonfirmasi bahwa fase kristal ZnO berhasil terbentuk melalui proses sintesis hijau.

Tidak ditemukannya puncak tambahan lain pada pola difraksi menunjukkan bahwa nanopartikel ZnO yang dihasilkan merupakan fasa ZnO murni tanpa keberadaan fase pengotor senyawa oksida lainnya. Hal ini mengindikasikan bahwa penggunaan ekstrak daun kelapa sawit sebagai agen pereduksi dan penstabil mendukung pembentukan struktur kristal wurtzite secara efektif. Puncak-puncak difraksi yang relatif tajam dan jelas juga menunjukkan tingkat kristalinitas yang cukup tinggi pada nanopartikel ZnO yang dihasilkan (Abdelbaky et al., 2022; Karam & Abdulrahman, 2022).

Ukuran kristalit nanopartikel ZnO dihitung menggunakan persamaan Scherrer, yaitu:

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

dimana D: ukuran kristal nanopartikel (nm). κ: konstanta Scherrer (0,9), λ: panjang gelombang sinar-X (1,54 Å), β: *Full Width at Half Maximum* (FWHM) puncak difraksi (radian) dan θ: sudut difraksi sinar-X (derajat). Pengukuran kristalit dilakukan berdasarkan tiga puncak difraksi utama, yaitu bidang (100), (002), dan (101). Ketiga puncak ini dipilih karena memiliki intensitas tertinggi serta pemisahan puncak yang jelas, sehingga memungkinkan penentuan nilai *full width at half maximum* (FWHM) secara lebih akurat. Berdasarkan Tabel 1, diperoleh ukuran kristalit rata-rata 22,20 nm menunjukkan bahwa proses sintesis hijau yang dilakukan mampu menghasilkan ZnO dalam bentuk nanokristalin.



Gambar 3 Pola difraksi sinar-X nanopartikel ZnO hasil sintesis hijau

Tabel 1. Parameter kristal dan ukuran kristalit nanopartikel ZnO

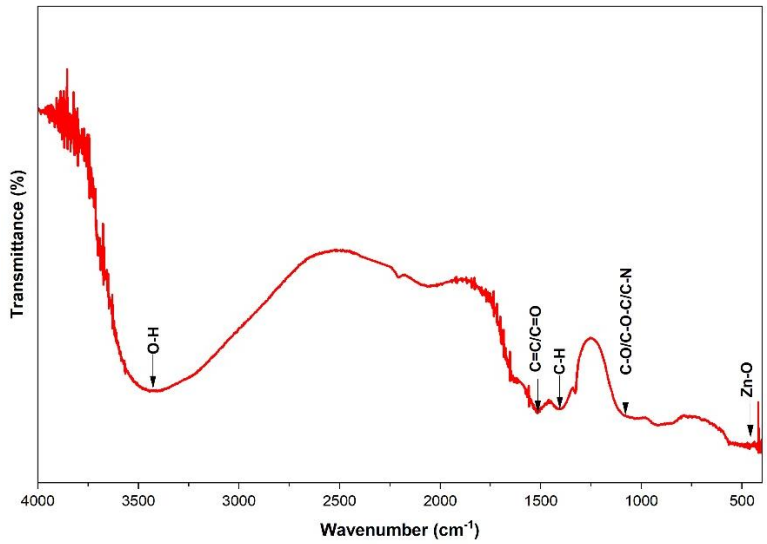
Indeks Miller (hkl)	2θ (⁰)	d (Å)	FWHM	D (nm)	D Rata-rata (nm)
	31,779	2,814	0,448	18,453	22,20
100	34,435	2,602	0,285	29,196	
002	36,257	2,476	0,441	18,939	
101					

3.2 Analisis Gugus Fungsi

Spektrum FTIR nanopartikel ZnO hasil sintesis hijau menggunakan ekstrak daun kelapa sawit ditampilkan pada Gambar 4. Spektrum menunjukkan pita serapan lebar pada bilangan gelombang sekitar 3400–3500 cm^{-1} yang berkaitan dengan getaran peregangan gugus hidroksil (–OH). Pita ini berasal dari molekul air teradsorpsi serta senyawa fenolik dan alkohol yang terkandung dalam ekstrak daun kelapa sawit. Keberadaan gugus –OH menunjukkan keterlibatan biomolekul dalam proses reduksi ion Zn^{2+} sekaligus berperan sebagai agen penstabil selama pertumbuhan nanopartikel.

Pita serapan pada kisaran 1600–1650 cm^{-1} dikaitkan dengan getaran C=O atau C=C aromatik dari senyawa polifenol dan flavonoid. Pita ini mengindikasikan bahwa sebagian biomolekul masih terikat atau teradsorpsi pada permukaan nanopartikel ZnO setelah proses sintesis. Selain itu, pita pada kisaran 1380–1450 cm^{-1} berkaitan dengan getaran gugus C–H, sedangkan pita pada sekitar 1000–1150 cm^{-1} dikaitkan dengan getaran C–O atau C–O–C yang umumnya berasal dari alkohol dan polisakarida dalam ekstrak daun (Abdelbaky et al., 2022; Atikha & Adawiyah, 2017). Kehadiran pita-pita organik tersebut menunjukkan bahwa ekstrak daun kelapa sawit berfungsi sebagai *capping agent* alami yang membantu mengontrol pertumbuhan dan stabilitas nanopartikel.

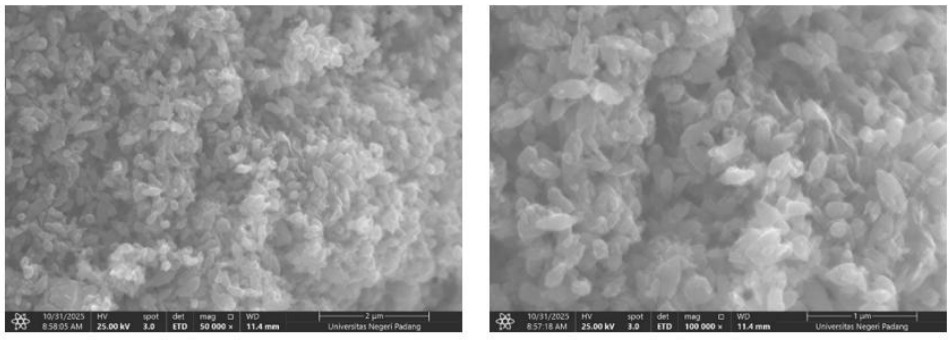
Pita serapan khas yang muncul pada bilangan gelombang di bawah 600 cm^{-1} dikaitkan dengan vibrasi ikatan Zn–O, yang merupakan ciri utama pembentukan fase ZnO (Abdelbaky et al., 2022; Karam & Abdulrahman, 2022). Kemunculan pita Zn–O yang jelas bersama dengan pita-pita organik permukaan menunjukkan bahwa nanopartikel ZnO berhasil terbentuk melalui mekanisme sintesis hijau, dengan biomolekul tanaman berperan dalam pengendalian nukleasi dan pertumbuhan partikel tanpa mengganggu pembentukan struktur kristal ZnO.



Gambar 4 Spektrum FTIR nanopartikel ZnO hasil sintesis hijau menggunakan ekstrak daun kelapa sawit.

3.3 Analisis Morfologi

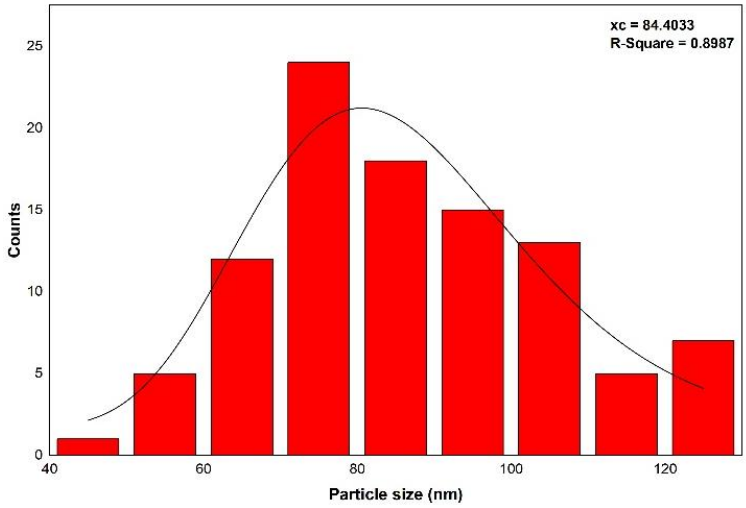
Morfologi nanopartikel ZnO hasil sintesis hijau menggunakan ekstrak daun kelapa sawit dianalisis menggunakan FESEM. Citra FESEM, seperti pada Gambar 5, menunjukkan bahwa nanopartikel ZnO memiliki bentuk sferis hingga quasi-sferis dengan kecenderungan membentuk aglomerat. Pembentukan aglomerat ini merupakan karakteristik umum pada nanopartikel ZnO yang disintesis melalui metode berbasis larutan, khususnya sintesis hijau yang melibatkan senyawa organik sebagai agen penstabil. Gaya tarik antarmolekul, terutama gaya van der Waals antarpartikel nano, mendorong terjadinya pengelompokan partikel menjadi struktur agregat selama proses pengeringan dan kalsinasi. Keberadaan senyawa fitokimia dalam ekstrak daun kelapa sawit, seperti polifenol dan flavonoid, berperan dalam mengendalikan proses nukleasi dan pertumbuhan nanopartikel ZnO (Putri et al., 2025). Senyawa-senyawa tersebut berfungsi sebagai *capping agent* alami yang menurunkan energi permukaan partikel dan membatasi pertumbuhan kristal, sehingga menghasilkan partikel dengan ukuran nano dan distribusi ukuran yang relatif homogen (Atikha & Adawiyah, 2017; Tausif et al., 2018).



(a) (b)

Gambar 5 Citra FESEM nanopartikel ZnO hasil sintesis hijau menggunakan ekstrak daun kelapa sawit pada perbesaran (a) 50.000 x dan (b) 100.000 x

Analisis distribusi ukuran partikel berdasarkan histogram pada Gambar 6 menunjukkan rentang ukuran partikel yang relatif sempit dengan kecocokan terhadap kurva distribusi Gaussian yang memiliki nilai koefisien determinasi (R^2) sebesar 0,8987. Nilai R^2 yang mendekati 1 menunjukkan bahwa data ukuran partikel memiliki kesesuaian yang baik terhadap distribusi normal. Selain itu, citra FESEM pada beberapa area pengamatan menunjukkan ukuran partikel yang tidak berbeda secara signifikan. Hal ini mengindikasikan bahwa partikel ZnO yang dihasilkan terdistribusi relatif homogen. Hasil ini mengindikasikan bahwa setiap partikel tersusun atas beberapa kristalit kecil yang berkoalesensi membentuk satu agregat partikel (Khan et al., 2024). Fenomena ini konsisten dengan hasil karakterisasi struktural yang menunjukkan kristalinitas ZnO yang tinggi, sekaligus mengonfirmasi bahwa proses sintesis hijau menghasilkan nanopartikel ZnO bersifat polikristalin dengan struktur permukaan yang dipengaruhi oleh residu biomolekul ekstrak daun kelapa sawit. Hal ini didukung oleh hasil spektrum FTIR yang menunjukkan keberadaan gugus fungsi organik seperti –OH dan C–O pada permukaan nanopartikel, yang mengindikasikan adanya molekul organik dari ekstrak daun yang berperan sebagai capping agent alami.



Gambar 6 Distribusi ukuran partikel ZnO hasil sintesis hijau menggunakan ekstrak daun kelapa sawit

IV. KESIMPULAN

Penelitian ini berhasil mensintesis nanopartikel ZnO melalui metode sintesis hijau menggunakan ekstrak daun kelapa sawit sebagai agen pereduksi dan penstabil alami. Karakterisasi XRD menunjukkan bahwa nanopartikel ZnO yang dihasilkan memiliki struktur kristal heksagonal wurtzite dengan fasa murni dan ukuran kristalit pada 22,20 nm, yang menandakan bahwa proses nukleasi dan pertumbuhan kristal berlangsung secara terkendali. Analisis FTIR mengonfirmasi keberadaan gugus fungsi –OH, C=O, dan C–O yang berasal dari senyawa fitokimia ekstrak daun kelapa sawit, yang menunjukkan keterlibatan biomolekul dalam proses reduksi ion Zn^{2+} serta penstabilan permukaan nanopartikel. Analisis morfologi menggunakan FESEM memperlihatkan partikel berbentuk sferis hingga quasi-sferis dengan ukuran partikel 84,40 nm, yang lebih besar dibandingkan ukuran kristalit, mengindikasikan bahwa partikel tersusun dari beberapa kristalit yang terkoalesensi membentuk agregat. Berdasarkan analisis hasil karakterisasi, diperoleh bahwa ekstrak daun kelapa sawit berperan efektif dalam mengontrol pertumbuhan dan stabilitas nanopartikel ZnO. Dengan demikian, metode sintesis hijau ini terbukti mampu menghasilkan nanopartikel ZnO nanokristalin dan berpotensi dikembangkan lebih lanjut sebagai material fungsional.

UCAPAN TERIMA KASIH

Tidak ada.

KONFLIK KEPENTINGAN

Penulis menyatakan tidak terdapat konflik kepentingan.

PERNYATAAN PENDANAAN

Penelitian ini tidak memperoleh pendanaan khusus.

PERNYATAAN PENGGUNAAN AI GENERATIF DAN TEKNOLOGI BERBASIS AI

GPT hanya digunakan untuk mengoreksi kesalahan tata bahasa dan tipografi. Penulis bertanggung jawab penuh atas isi dan integritas publikasi.

DAFTAR PUSTAKA

Abdelbaky, A. S., Abd El-Mageed, T. A., Babalghith, A. O., Selim, S., & Mohamed, A. M. H. A. (2022). Green Synthesis and Characterization of ZnO Nanoparticles Using Pelargonium odoratissimum (L.) Aqueous Leaf Extract and Their Antioxidant, Antibacterial and Anti-inflammatory Activities. *Antioxidants*, *11*(8). https://doi.org/10.3390/antiox11081444

Ariyanti, M., Farida, F., & Umiyati, U. (2024). Review: Metabolit Sekunder pada Kelapa Sawit. *Paspalum: Jurnal Ilmiah Pertanian*, *12*(1), 207. https://doi.org/10.35138/paspalum.v12i1.709

Atikha, U., & Adawiyah, R. (2017). Synthesis of Zinc Oxide from Oil Palm Leaves by Green Sol-Gel Method : Effect of Concentration Variation. *Faculty of Chemical Engineering, Universiti Teknologi Mara*. https://ir.uitm.edu.my/id/eprint/120797/

Borysiewicz, M. A. (2019). ZnO as a Functional Material, a Review. *Crystals*, *9*. https://doi.org/10.3390/cryst9100505

Diaz-López, J. B., De la Cruz-Gumeta, D., Alvarado-Arguello, G., Rico-Domínguez, O., Valdez-Rodríguez, E., Hernández-Ovalle, K., Luján-Hidalgo, M. C., Cruz-Rodríguez, R. I., & Meza-Gordillo, R. (2025). Optimization of silver nanoparticles synthesis using Elaeis guineensis Jacq. residue extract and their antibacterial activity against Pseudomonas aeruginosa. *Journal of Materials Science: Materials in Engineering*, *20*(1). https://doi.org/10.1186/s40712-025-00305-9

Franco, M. A., Conti, P. P., Andre, R. S., & Correa, D. S. (2022). A review on chemiresistive ZnO gas sensors. *Sensors and Actuators Reports*, *4*(January), 100100. https://doi.org/10.1016/j.snr.2022.100100

Hameed, H., Waheed, A., Sharif, M. S., Saleem, M., Afreen, A., Tariq, M., Kamal, A., Al-onazi, W. A., Al Farraj, D. A., Ahmad, S., & Mahmoud, R. M. (2023). Green Synthesis of Zinc Oxide (ZnO) Nanoparticles from Green Algae and Their Assessment in Various Biological Applications. *Micromachines*, *14*(5). https://doi.org/10.3390/mi14050928

Handani, S., Dahlan, D., & Arief, S. (2020). Enhanced structural , optical and morphological properties of ZnO thin film using green chemical approach. *Vacuum*, *179*(May), 109513. https://doi.org/10.1016/j.vacuum.2020.109513

Karam, S. T., & Abdulrahman, A. F. (2022). Green Synthesis and Characterization of ZnO Nanoparticles by Using Thyme Plant Leaf Extract. *Photonics*, *9*(8), 594. https://doi.org/10.3390/photonics9080594

Khan, M. W. A., Shaalan, N. M., Ahmed, F., Sherwani, S., Aljaafari, A., Alsukaibi, A. K. D., Alenezi, K. M., & Al-Motair, K. (2024). Gas Sensing Performance of Zinc Oxide Nanoparticles Fabricated via Ochradenus baccatus Leaf. *Chemosensors*, *12*(2), 28. https://doi.org/10.3390/chemosensors12020028

Putri, S. E., Oktaviana, A., Dinar Rorensya, C. A., Nurfani, E., Maryanti, E., Annas, D., Nikmatullah, M., Apriandanu, D. O. B., & Saputra, I. S. (2025). Effect of Elaeis guineensis Jacq. Leaf extracts concentration in the optical, structure, morphology analysis of titanium dioxide nanoparticles. *Results in Surfaces and Interfaces*, *18*(October 2024), 100391. https://doi.org/10.1016/j.rsurfi.2024.100391

Raha, S., & Ahmaruzzaman, M. (2022). ZnO nanostructured materials and their potential applications: progress, challenges and perspectives. *Nanoscale Advances*, *4*(8), 1868–1925. https://doi.org/10.1039/d1na00880c

Shafey, A. M. El. (2020). Green synthesis of metal and metal oxide nanoparticles from plant leaf extracts and their applications: A review. In *Green Processing and Synthesis* (Vol. 9, Nomor 1, hal. 304–339). De Gruyter Open Ltd. https://doi.org/10.1515/gps-2020-0031

Sulistiarini, R., Helmi, H., & Narsa, A. C. (2022). Elaeis guineensis Jacq. leaves are a potential biomass for herbal medicine resources: A mini review. *Journal of Applied Pharmaceutical Science*, *12*(10), 147–155. https://doi.org/10.7324/JAPS.2022.121016

Tausif, A., Mohamad Azmi, B., Muhammad, I., Muhammad, M., Hafiz Muhammad, Asghar, A., & Sekhar, B. (2018). Green synthesis of stabilized spherical shaped gold nanoparticles using novel aqueous Elaeis guineensis (oil palm) leaves extract. *Journal of Molecular Structure*, *1159*, 167–173. https://doi.org/10.1016/j.molstruc.2017.11.095

Tow, W. K., Goh, A. P. T., Sundralingam, U., Palanisamy, U. D., & Sivasothy, Y. (2021). Flavonoid composition and pharmacological properties of elaeis guineensis jacq. Leaf extracts: A systematic review. In *Pharmaceuticals* (Vol. 14, Nomor 10). MDPI. https://doi.org/10.3390/ph14100961

Villagrán, Z., Anaya-Esparza, L. M., Velázquez-Carriles, C. A., Silva-Jara, J. M., Ruvalcaba-Gómez, J. M., Aurora-Vigo, E. F., Rodríguez-Lafitte, E., Rodríguez-Barajas, N., Balderas-León, I., & Martínez-Esquivias, F. (2024). Plant-Based Extracts as Reducing, Capping, and Stabilizing Agents for the Green Synthesis of Inorganic Nanoparticles. *Resources*, *13*(6). https://doi.org/10.3390/resources13060070

Waqas Alam, M., Sharma, A., Sharma, A., Kumar, S., Mohammad Junaid, P., & Awad, M. (2025). VOC Detection with Zinc Oxide Gas Sensors: A Review of Fabrication, Performance, and Emerging Applications. *Electroanalysis*, *37*(1), 1–18. https://doi.org/10.1002/elan.202400246