

Pengaruh Konsentrasi Ekstrak Daun Cermai terhadap Karakteristik dan Sifat Listrik Nanopartikel Al_2O_3 yang Disintesis Menggunakan Metode *Green*

Nurul Titian Lestari^{1*}, Lalu Ahmad Didik Meiliyadi¹, Muh. Wahyudi¹

¹Tadris Fisika, Fakultas Tarbiyah dan Keguruan, Universitas Islam Negeri Mataram, Indonesia

Article Info

Article history:

Received May 25, 2026

Revised May 30, 2026

Accepted May 31, 2026

Available Online June 2, 2026

Keywords:

FTIR

Dielectric constant

Morphology

Resistivity

SEM-EDX

Kata Kunci:

FTIR

Konstanta dielektrik

Morfologi

Resistivitas

SEM-EDX

ABSTRACT

Aluminum oxide (Al_2O_3) nanoparticles are a widely studied material due to their excellent dielectric and electrical insulation properties and their potential for application in electronic devices. However, research on the synthesis of Al_2O_3 using a green synthesis method based on cermai leaf extract (*Phyllanthus acidus*) remains very limited, particularly studies examining the effect of extract concentration on the morphology and electrical properties of the material. Therefore, this study aims to synthesize Al_2O_3 nanoparticles using cermai leaf extract as a reducing agent and stabilizer and to analyze the effect of varying extract concentrations on the morphological characteristics and electrical properties of the resulting nanoparticles. The synthesis was carried out with extract concentrations of 10%, 15%, and 20%. Material characterization was performed using Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR), Scanning Electron Microscopy-Energy Dispersive X-ray (SEM-EDX), and electrical property testing through capacitance and electrical resistance measurements. The results of the study showed that an increase in extract concentration caused the particle size to decrease from 2158.1 nm to 1018.5 nm, accompanied by a decrease in resistivity from $4.25 \times 10^4 \Omega\text{m}$ to $2.10 \times 10^4 \Omega\text{m}$ and an increase in the dielectric constant from 17.35 to 25.15. The FTIR spectrum confirmed the formation of Al-O bonds, while SEM-EDX analysis showed a predominance of aluminum and oxygen in the synthesized material. The research results indicate.

ABSTRAK

Nanopartikel aluminium oksida (Al_2O_3) merupakan material yang banyak dikembangkan karena memiliki sifat dielektrik dan isolasi listrik yang baik serta berpotensi diaplikasikan pada perangkat elektronik. Namun, penelitian sintesis Al_2O_3 menggunakan metode *green synthesis* berbasis ekstrak daun cermai (*Phyllanthus acidus*) masih sangat terbatas, terutama yang mengkaji pengaruh konsentrasi ekstrak terhadap morfologi dan sifat listrik material. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk mensintesis nanopartikel Al_2O_3 menggunakan ekstrak daun cermai sebagai agen pereduksi dan penstabil serta menganalisis pengaruh variasi konsentrasi ekstrak terhadap karakteristik morfologi dan sifat listrik nanopartikel yang dihasilkan. Sintesis dilakukan dengan variasi konsentrasi ekstrak sebesar 10%, 15%, dan 20%. Karakterisasi material dilakukan menggunakan Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR), Scanning Electron Microscopy-Energy Dispersive X-ray (SEM-EDX), serta pengujian sifat listrik melalui pengukuran kapasitansi dan hambatan listrik. Hasil penelitian menunjukkan bahwa peningkatan konsentrasi ekstrak menyebabkan ukuran butir menurun dari 2158,1 nm menjadi 1018,5 nm, disertai penurunan resistivitas dari $4,25 \times 10^4 \Omega\text{m}$ menjadi 2,10



$\times 10^4 \Omega\text{m}$ dan peningkatan konstanta dielektrik dari 17,35 menjadi 25,15. Spektrum FTIR mengonfirmasi terbentuknya ikatan Al-O, sedangkan analisis SEM-EDX menunjukkan dominasi unsur aluminium dan oksigen pada material hasil sintesis. Hasil penelitian membuktikan bahwa konsentrasi ekstrak daun cermai berpengaruh terhadap ukuran butir dan sifat listrik Al_2O_3 yang dihasilkan. Kebaruan penelitian ini terletak pada pemanfaatan ekstrak daun cermai sebagai agen *green synthesis* Al_2O_3 serta pengkajian hubungan antara variasi konsentrasi ekstrak dengan karakteristik morfologi dan sifat listrik material, yang masih jarang dilaporkan. Temuan ini menunjukkan potensi penggunaan sumber daya alam lokal sebagai alternatif ramah lingkungan dalam pengembangan material dielektrik berbasis Al_2O_3 .



How to cite: Lestari, N. T., Meiliyadi, L. A. D., Wahyudi, M. (2026). Pengaruh Konsentrasi Ekstrak Daun Cermai terhadap Karakteristik dan Sifat Listrik Nanopartikel Al_2O_3 yang Disintesis Menggunakan Metode Green. *Indonesian Journal of Review and Research in Physics*, 1(1), 44-57

INTRODUCTION

Nanoteknologi merupakan bidang yang berkembang pesat karena kemampuannya menghasilkan material dengan sifat fisik, kimia, dan listrik yang berbeda secara signifikan dibandingkan material skala bulk. Material dalam skala nano memiliki luas permukaan yang besar serta efek kuantum yang dominan sehingga menunjukkan peningkatan reaktivitas, stabilitas, dan kinerja fungsional pada berbagai aplikasi teknologi modern (Paramita, 2024). Salah satu material nano yang banyak dikembangkan adalah aluminium oksida (Al_2O_3) yang memiliki stabilitas termal tinggi, ketahanan korosi yang baik, kekerasan mekanik tinggi, serta sifat dielektrik yang unggul. Karakteristik tersebut menjadikan Al_2O_3 berpotensi diaplikasikan sebagai bahan isolator listrik, substrat elektronik, sensor, serta komponen pada perangkat penyimpanan energi (Wangsa et al., 2024).

Sintesis nanopartikel Al_2O_3 secara konvensional umumnya dilakukan melalui metode sol-gel, hydrothermal, precipitation, dan chemical vapor deposition (CVD). Namun, metode tersebut memerlukan suhu tinggi, penggunaan bahan kimia beracun, serta biaya produksi yang relatif besar sehingga kurang mendukung prinsip keberlanjutan lingkungan (Singh et al., 2018). Oleh karena itu, metode *green synthesis* menjadi alternatif yang semakin banyak dikembangkan karena memanfaatkan senyawa bioaktif dari tumbuhan sebagai agen pereduksi dan penstabil nanopartikel. Pendekatan ini dinilai lebih ramah lingkungan, ekonomis, serta mampu mengurangi penggunaan bahan kimia sintetis yang berpotensi mencemari lingkungan (Lestari et al., 2024). Perkembangan penelitian terbaru menunjukkan bahwa berbagai ekstrak tumbuhan telah berhasil digunakan dalam sintesis nanopartikel oksida logam. Ekstrak delima, bit merah, dan seder dilaporkan mampu menghasilkan nanopartikel ZnO dengan aktivitas fotokatalitik yang tinggi melalui metode *green synthesis* (Mousa et al., 2024). Selain itu, ekstrak *Hyphaene thebaica* berhasil digunakan dalam sintesis nanopartikel MgO dengan ukuran partikel yang relatif kecil dan stabilitas yang baik (Muhaymin et al., 2024). Kajian terbaru juga menunjukkan bahwa pemanfaatan ekstrak tumbuhan sebagai agen pereduksi mampu meningkatkan efisiensi sintesis nanopartikel sekaligus menghasilkan material dengan karakteristik yang lebih homogen dan berkelanjutan.

Daun cermai (*Phyllanthus acidus*) dipilih dalam penelitian ini karena mengandung berbagai metabolit sekunder seperti flavonoid, tanin, alkaloid, saponin, dan senyawa fenolik yang berpotensi berperan sebagai agen pereduksi sekaligus *capping agent* alami dalam pembentukan nanopartikel (Ernawati et al., 2023). Senyawa flavonoid dan fenolik diketahui memiliki gugus hidroksil yang mampu mendonorkan elektron untuk mereduksi ion logam menjadi partikel berukuran nano. Selain itu, keberadaan senyawa bioaktif tersebut dapat membantu menghambat

aglomerasi sehingga nanopartikel yang terbentuk memiliki ukuran lebih kecil dan distribusi yang lebih merata. Pemanfaatan daun cermai juga didukung oleh ketersediaannya yang melimpah di Indonesia, biaya yang rendah, serta belum banyak dimanfaatkan sebagai bahan sintesis nanopartikel Al_2O_3 sehingga memiliki potensi besar sebagai sumber daya lokal yang bernilai tambah.

Beberapa penelitian terdahulu telah melaporkan keberhasilan penggunaan ekstrak tumbuhan dalam sintesis nanopartikel oksida logam. Penelitian oleh (Aliannezhadi et al., 2024) Rohmah et al. (2022) menunjukkan bahwa nanopartikel ZnO yang disintesis menggunakan ekstrak daun kelor memiliki ukuran partikel yang lebih kecil dibandingkan metode kimia konvensional. Selanjutnya, penelitian oleh (Rohmah et al., 2022) melaporkan bahwa penggunaan ekstrak delima dan bit merah pada sintesis ZnO menghasilkan nanopartikel dengan aktivitas fotokatalitik yang meningkat secara signifikan. Penelitian lain yang dilakukan oleh (Muhaymin et al., 2024) menunjukkan bahwa sintesis MgO menggunakan ekstrak *Hyphaene thebaica* menghasilkan nanopartikel yang stabil dan berpotensi diaplikasikan pada bidang lingkungan. Meskipun demikian, sebagian besar penelitian tersebut masih berfokus pada nanopartikel ZnO dan MgO serta lebih banyak mengkaji sifat optik, antibakteri, maupun fotokatalitik material. Penelitian mengenai sintesis nanopartikel Al_2O_3 menggunakan ekstrak daun cermai dan pengaruhnya terhadap sifat listrik material masih sangat terbatas.

Karakterisasi sifat listrik nanopartikel Al_2O_3 menjadi aspek penting karena menentukan potensi aplikasinya pada perangkat elektronik dan material dielektrik. Parameter seperti resistansi, resistivitas, kapasitansi, dan konstanta dielektrik sangat dipengaruhi oleh ukuran partikel, struktur mikro, serta tingkat homogenitas material (Mohamed et al., 2026). Semakin kecil ukuran partikel, luas permukaan material akan semakin besar sehingga dapat memengaruhi mekanisme polarisasi dan perpindahan muatan listrik pada material (Regis et al., 2023). Oleh karena itu, pengendalian ukuran partikel melalui variasi konsentrasi ekstrak tumbuhan menjadi faktor yang penting untuk menghasilkan nanopartikel Al_2O_3 dengan karakteristik listrik yang optimal.

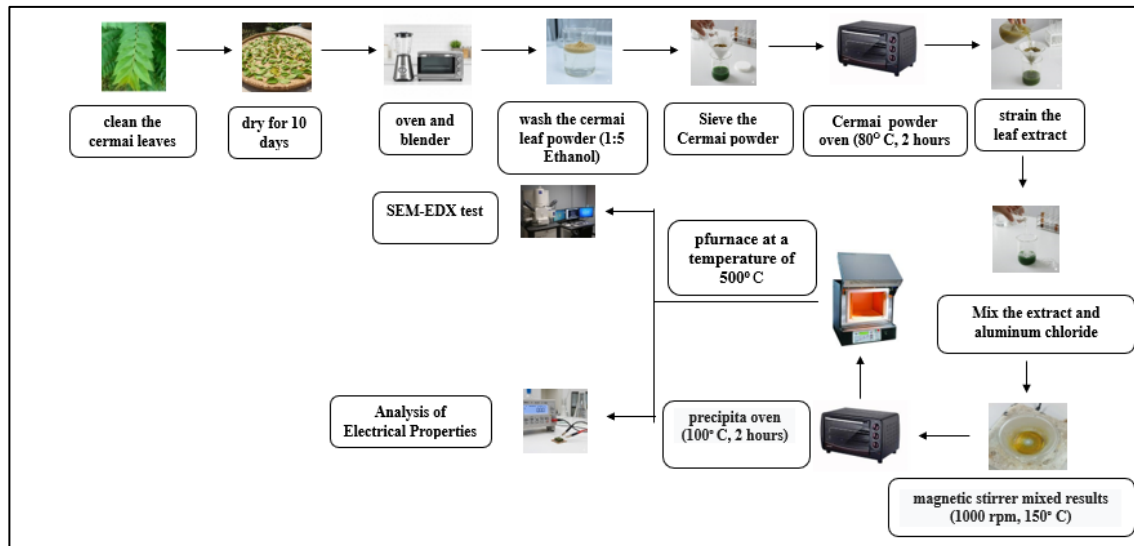
Berdasarkan uraian tersebut, pemanfaatan ekstrak daun cermai sebagai agen *green synthesis* nanopartikel Al_2O_3 , khususnya dalam kajian hubungan antara variasi konsentrasi ekstrak dengan morfologi dan sifat listrik material yang dihasilkan. Sebagian besar penelitian sebelumnya hanya berfokus pada sintesis nanopartikel oksida logam lain dan belum mengkaji secara komprehensif pengaruh konsentrasi ekstrak terhadap parameter listrik nanopartikel Al_2O_3 .

Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk mensintesis nanopartikel Al_2O_3 menggunakan metode *green synthesis* berbasis ekstrak daun cermai dengan variasi konsentrasi ekstrak sebesar 10%, 15%, dan 20%, serta menganalisis pengaruhnya terhadap ukuran butir, morfologi, komposisi unsur, dan sifat listrik material. Hipotesis penelitian ini adalah peningkatan konsentrasi ekstrak daun cermai akan meningkatkan efektivitas proses reduksi dan stabilisasi nanopartikel sehingga menghasilkan ukuran partikel yang lebih kecil, menurunkan nilai resistivitas, serta meningkatkan konstanta dielektrik nanopartikel Al_2O_3 . Kebaruan (*novelty*) penelitian ini terletak pada penggunaan ekstrak daun cermai sebagai agen pereduksi dan penstabil dalam sintesis nanopartikel Al_2O_3 serta analisis keterkaitan antara variasi konsentrasi ekstrak dengan karakteristik morfologi dan sifat listrik material yang masih jarang dilaporkan pada penelitian sebelumnya.

RESEARCH METHOD

Penelitian ini menggunakan metode eksperimen untuk menganalisis pengaruh variasi konsentrasi ekstrak daun cermai (*Phyllanthus acidus*) terhadap karakteristik morfologi, komposisi unsur, dan sifat listrik nanopartikel aluminium oksida (Al_2O_3) yang disintesis melalui metode *green synthesis* seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1. Variabel bebas dalam penelitian ini adalah konsentrasi ekstrak daun cermai sebesar 10%, 15%, dan 20%, sedangkan variabel terikat meliputi ukuran partikel, morfologi permukaan, komposisi unsur, resistivitas, kapasitansi, dan konstanta dielektrik nanopartikel Al_2O_3 (Marpaung et al., 2022). Variabel kontrol yang dijaga tetap selama proses sintesis meliputi pH larutan, suhu kalsinasi, waktu kalsinasi, laju pemanasan,

dan konsentrasi prekursor aluminium. Ekstrak daun cermat diperoleh melalui proses maserasi menggunakan akuades sebagai pelarut. Variasi konsentrasi ekstrak ditentukan berdasarkan perbandingan volume ekstrak terhadap volume total larutan sintesis. Konsentrasi 10%, 15%, dan 20% masing-masing dibuat dengan mencampurkan ekstrak daun cermat sebanyak 10 mL, 15 mL, dan 20 mL ke dalam 100 mL larutan sintesis. Pemilihan rentang konsentrasi tersebut didasarkan pada studi pendahuluan dan penelitian *green synthesis* sebelumnya yang menunjukkan bahwa variasi konsentrasi ekstrak tumbuhan dapat memengaruhi laju reduksi ion logam, proses nukleasi, serta ukuran partikel yang terbentuk (Nisa et al., 2023).



Gambar 1. Diagram Alur Penelitian

Sintesis nanopartikel Al₂O₃ dilakukan menggunakan prekursor aluminium nitrat nonahidrat (Al(NO₃)₃ 9H₂O). Larutan prekursor dicampurkan dengan ekstrak daun cermat sesuai variasi konsentrasi dan diaduk menggunakan *magnetic stirrer* pada suhu 80°C selama 2 jam hingga terbentuk gel. Nilai pH larutan dipertahankan pada pH 8 menggunakan larutan NH₄OH untuk mengoptimalkan proses pembentukan endapan aluminium hidroksida sebagai prekursor Al₂O₃. Endapan yang terbentuk kemudian dicuci menggunakan akuades hingga mencapai pH netral dan dikeringkan pada suhu 100°C selama 12 jam. Proses kalsinasi dilakukan pada suhu 500°C selama 3 jam dengan laju pemanasan 5°C/menit dalam atmosfer udara (*air atmosphere*). Suhu 500°C dipilih karena berdasarkan literatur suhu tersebut telah cukup untuk menghilangkan senyawa organik sisa ekstrak tumbuhan dan menginisiasi pembentukan fase Al₂O₃ tanpa menyebabkan pertumbuhan partikel yang berlebihan akibat sintering. Penggunaan laju pemanasan yang relatif rendah bertujuan untuk menghasilkan distribusi ukuran partikel yang lebih homogen dan meminimalkan aglomerasi (Putri & Mardianingrum, 2023).

Karakterisasi gugus fungsi dilakukan menggunakan Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR) pada rentang bilangan gelombang 400–4000 cm⁻¹. Morfologi permukaan, distribusi ukuran partikel, dan komposisi unsur dianalisis menggunakan Scanning Electron Microscopy-Energy Dispersive X-ray (SEM-EDX). Ukuran partikel rata-rata ditentukan menggunakan perangkat lunak ImageJ berdasarkan minimal 100 partikel yang diamati pada setiap sampel. Pengujian sifat listrik dilakukan menggunakan LCR meter pada frekuensi 1 kHz. Sampel nanopartikel terlebih dahulu dicetak menjadi pelet berbentuk silinder menggunakan tekanan hidrolis. Pengukuran kapasitansi dilakukan dengan variasi jarak antar pelat elektroda sebesar 2 mm, 4 mm, dan 6 mm (Supriyadi et al., 2025).

$$\epsilon_r = \frac{Cd}{\epsilon_0 A} \dots\dots\dots (1)$$

Konstanta dielektrik (ϵ_r) dihitung menggunakan nilai kapasitansi (C) yang diperoleh dari hasil pengukuran LCR meter. Pada persamaan tersebut, C menyatakan kapasitansi dalam satuan

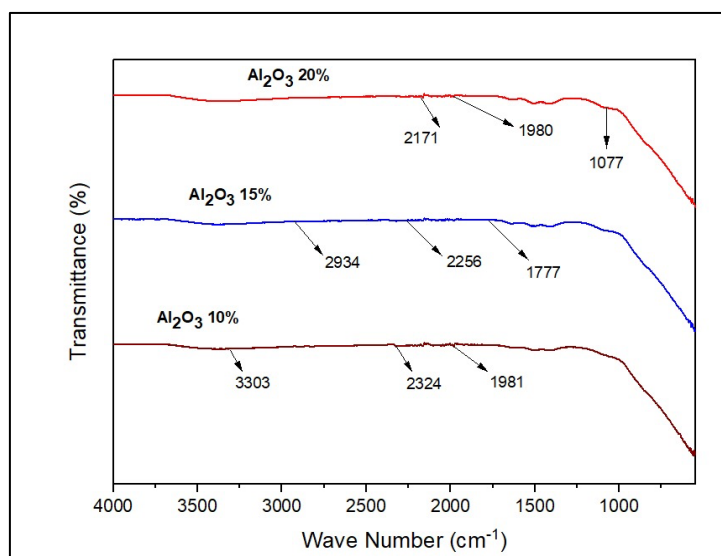
farad (F), d merupakan jarak antar pelat elektroda dalam satuan meter (m), ϵ_0 adalah permitivitas vakum yang bernilai $8,854 \times 10^{-12} \text{F/m}$, sedangkan A merupakan luas penampang elektroda dalam satuan meter persegi (m²). Nilai konstanta dielektrik menggambarkan kemampuan material dalam menyimpan energi listrik ketika berada dalam medan listrik dan digunakan untuk mengevaluasi potensi nanopartikel Al₂O₃ sebagai material dielektrik pada berbagai aplikasi elektronik.

$$\rho = R \frac{A}{L} \dots\dots\dots (2)$$

Resistivitas listrik (ρ) dihitung berdasarkan nilai hambatan listrik (R) yang diperoleh dari hasil pengukuran, dengan mempertimbangkan luas penampang sampel (A) dalam satuan meter persegi (m²) dan ketebalan sampel (L) dalam satuan meter (m). Nilai resistivitas digunakan untuk menggambarkan kemampuan material dalam menghambat aliran arus listrik, yang dinyatakan dalam satuan ohm meter (Ωm) (Didik et al., 2020).

RESULTS AND DISCUSSION

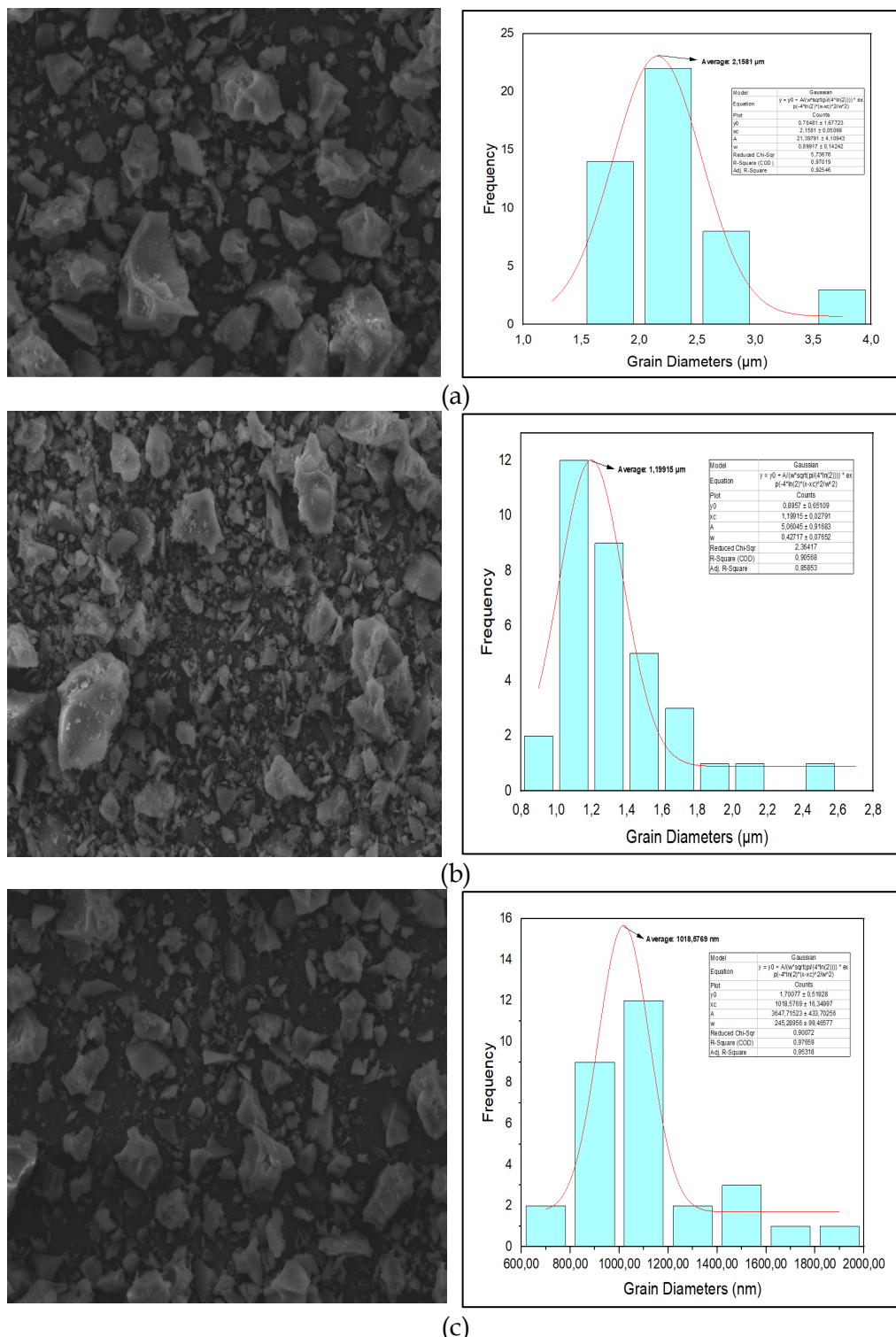
Berdasarkan Gambar 2 nanopartikel Al₂O₃ yang disintesis menggunakan variasi massa ekstrak daun cermai 2 g (10%), 3 g (15%), dan 4 g (20%), menunjukkan keberadaan gugus fungsi yang relatif serupa, namun dengan perbedaan intensitas dan sedikit pergeseran bilangan gelombang. Pada sampel Al₂O₃ 2 g, pita serapan lebar yang muncul pada sekitar 3303 cm⁻¹ mengindikasikan keberadaan gugus hidroksil (-OH) yang berasal dari air teradsorpsi serta senyawa fenolik dalam ekstrak daun cermai. Pita serapan pada daerah 2324 cm⁻¹ dan 1981 cm⁻¹ berkaitan dengan vibrasi gugus karbonil atau residu senyawa organik hasil interaksi biomolekul dengan ion aluminium selama proses sintesis (Meiliyadi et al., 2024). Keberadaan gugus-gugus ini menunjukkan bahwa pada massa ekstrak yang lebih rendah, residu organik masih cukup dominan menempel pada permukaan partikel.



Gambar 2. Hasil FT-IR *Green Synthesis* Ekstrak Daun Cermai

Pada sampel Al₂O₃ 15% dan 20%, intensitas pita serapan gugus -OH dan gugus organik cenderung menurun, yang menandakan berkurangnya residu biomolekul setelah proses kalsinasi. Pita serapan pada daerah 2934 cm⁻¹ dan 2256 cm⁻¹ pada sampel 15% menunjukkan sisa gugus organik, namun dengan intensitas yang lebih rendah dibandingkan sampel 10%. Sementara itu, pada sampel Al₂O₃ 20%, muncul pita serapan yang lebih jelas pada sekitar 1077 cm⁻¹, yang dikaitkan dengan vibrasi ikatan Al-O, menegaskan terbentuknya struktur aluminium oksida yang lebih stabil. Secara keseluruhan, hasil FT-IR menunjukkan bahwa peningkatan massa ekstrak daun cermai berkontribusi terhadap proses reduksi dan stabilisasi partikel pada

tahap awal sintesis, sedangkan proses pemanasan dan kalsinasi berperan penting dalam menghilangkan gugus organik dan memperkuat pembentukan fase Al_2O_3 .



Gambar 3. Morfologi dan Ukuran Rata-Rata *Green Synthesis* Ekstrak Daun Cermai (a) 10%, (b) 15%, (c) 20%

Perhatikan Gambar 3 yang menunjukkan hasil karakterisasi morfologi nanopartikel Al_2O_3 menggunakan Scanning Electron Microscopy (SEM). Citra SEM memperlihatkan bahwa sampel dengan konsentrasi ekstrak daun cermai 10% memiliki partikel berbentuk tidak beraturan (*irregular shape*) dengan tingkat aglomerasi yang cukup tinggi. Partikel-partikel tampak saling menempel membentuk agregat yang lebih besar dan memiliki permukaan yang kasar. Hasil analisis citra menggunakan perangkat lunak ImageJ menunjukkan bahwa ukuran butir berada

pada rentang 1400–3800 nm dengan ukuran rata-rata sebesar 2158,1 nm. Distribusi ukuran partikel yang relatif lebar menunjukkan bahwa proses stabilisasi partikel belum berlangsung optimal sehingga masih terjadi pertumbuhan butir dan aglomerasi antarpartikel.

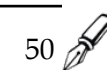
Dibandingkan dengan penelitian Mousa et al. (2024) yang melaporkan ukuran nanopartikel ZnO sebesar 50–200 nm hasil *green synthesis*, ukuran partikel pada penelitian ini masih lebih besar. Perbedaan tersebut diduga disebabkan oleh jumlah senyawa bioaktif pada konsentrasi ekstrak 10% yang belum cukup untuk menghambat pertumbuhan kristal dan mencegah penggabungan partikel. Secara ilmiah, rendahnya konsentrasi ekstrak menghasilkan jumlah inti (*nucleation sites*) yang lebih sedikit sehingga pertumbuhan partikel menjadi lebih dominan dibandingkan proses pembentukan inti baru (Meiliyadi et al., 2022). Akibatnya, terbentuk partikel dengan ukuran lebih besar dan tingkat aglomerasi yang tinggi, yang berpotensi meningkatkan resistivitas serta menurunkan kemampuan polarisasi material (Didik et al., 2021).

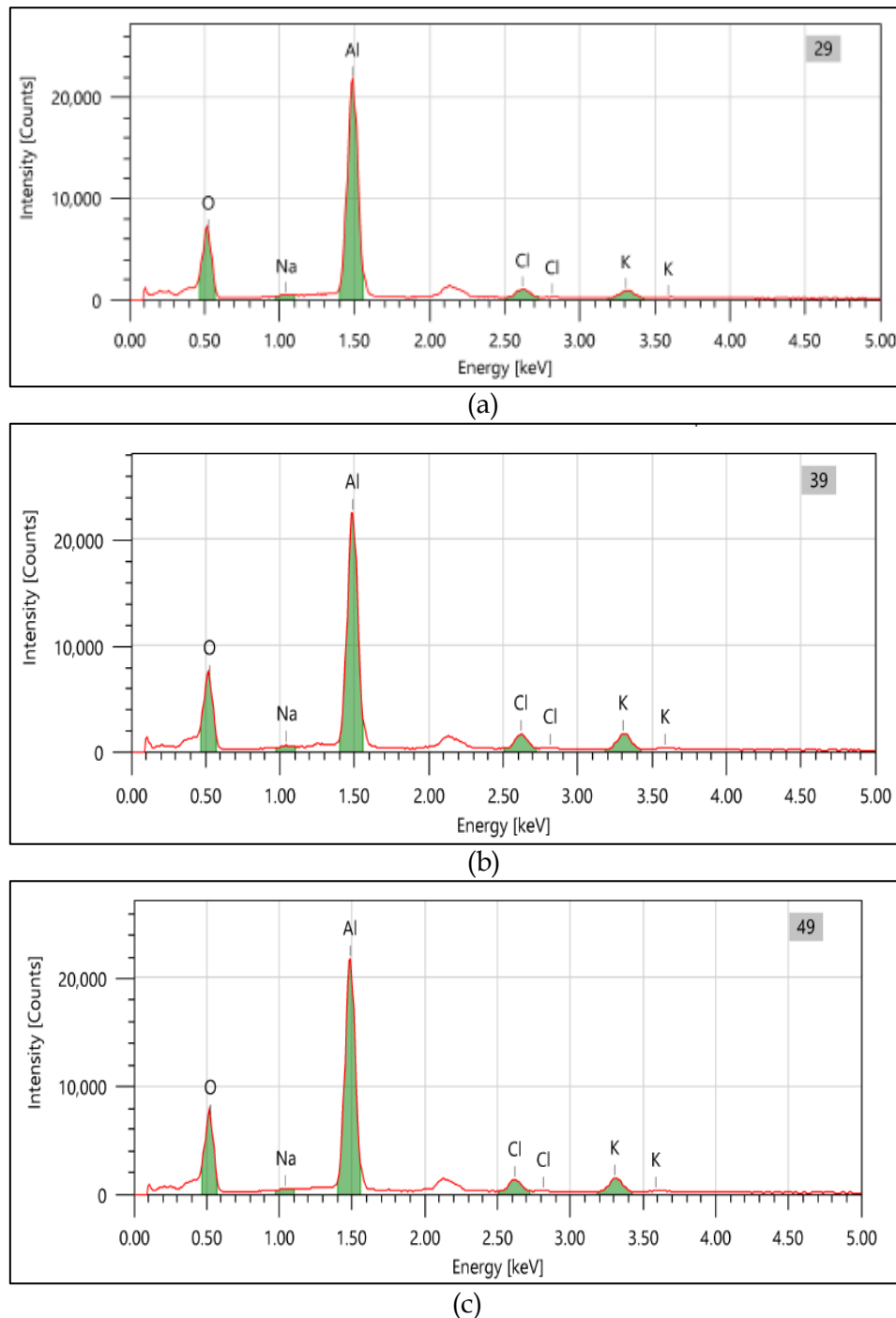
Berdasarkan Gambar 3 (b), sampel Al_2O_3 dengan konsentrasi ekstrak daun cermay 15% menunjukkan distribusi ukuran partikel yang lebih seragam dibandingkan sampel 10%. Tingkat aglomerasi mulai berkurang dan partikel tampak tersebar lebih merata pada permukaan sampel. Hasil analisis menggunakan ImageJ dan Micro-Origin menunjukkan ukuran butir berada pada rentang 900–2600 nm dengan ukuran rata-rata sebesar 1200,3 nm. Kurva distribusi ukuran partikel memiliki puncak yang lebih tajam dan sebaran yang lebih sempit dibandingkan sampel 10%, yang menunjukkan peningkatan homogenitas partikel. Kondisi ini mengindikasikan bahwa peningkatan konsentrasi ekstrak daun cermay menghasilkan jumlah senyawa bioaktif yang lebih banyak sehingga proses stabilisasi partikel berlangsung lebih efektif. Senyawa flavonoid dan fenolik yang berperan sebagai *capping agent* mampu menghambat pertumbuhan kristal dan mengurangi interaksi antarpartikel, sehingga ukuran butir menjadi lebih kecil dan seragam (Gharbi et al., 2024; Saleh et al., 2024; Sayed et al., 2025).

Berdasarkan Gambar 3 (c), sampel dengan konsentrasi ekstrak daun cermay 20% menunjukkan morfologi terbaik dengan ukuran partikel yang lebih kecil, distribusi yang lebih homogen, dan tingkat aglomerasi yang paling rendah. Analisis ukuran butir menunjukkan rentang ukuran sekitar 700–1800 nm dengan ukuran rata-rata sebesar 1018,5 nm. Distribusi ukuran partikel membentuk kurva Gaussian yang lebih simetris dengan dominasi partikel berukuran kecil. Hasil ini menunjukkan bahwa peningkatan konsentrasi ekstrak mempercepat proses nukleasi dan meningkatkan efektivitas biomolekul dalam melapisi permukaan partikel (Meiliyadi et al., 2025). Akibatnya, pertumbuhan kristal dapat ditekan dan penggabungan antarpartikel berkurang. Hasil penelitian ini menunjukkan tren yang sejalan dengan penelitian *green synthesis* sebelumnya, yaitu semakin tinggi konsentrasi ekstrak tumbuhan maka ukuran partikel yang dihasilkan cenderung semakin kecil dan lebih homogen. Ukuran partikel yang lebih kecil pada konsentrasi 20% juga berpotensi meningkatkan luas permukaan spesifik material, sehingga dapat berkontribusi pada peningkatan konstanta dielektrik dan penurunan resistivitas listrik yang diperoleh pada pengujian sifat Listrik (Ikhioya & Nkele, 2024; Laskar & Saha, 2024; Widatalla et al., 2022).

Berdasarkan Gambar 4, spektrum EDX menunjukkan bahwa nanopartikel Al_2O_3 hasil sintesis dengan variasi konsentrasi ekstrak daun cermay (10%, 15%, dan 20%) didominasi oleh puncak unsur aluminium (Al) dan oksigen (O), yang menegaskan terbentuknya aluminium oksida sebagai fase utama material. Selain unsur utama tersebut, terdeteksi pula unsur minor seperti Na, Cl, dan K dengan intensitas relatif rendah, yang diduga berasal dari sisa prekursor aluminium klorida serta kandungan mineral alami dalam ekstrak daun cermay. Secara umum, ketiga spektrum menunjukkan pola yang serupa, menandakan bahwa variasi konsentrasi ekstrak tidak mengubah komposisi unsur utama, tetapi berpengaruh terhadap keberadaan unsur minor pada permukaan partikel.

Perhatikan Tabel 1, yang menyajikan hasil analisis Energy Dispersive X-ray (EDX) pada nanopartikel Al_2O_3 hasil sintesis menggunakan ekstrak daun cermay. Data pada tabel tersebut menunjukkan komposisi unsur penyusun material, khususnya kandungan aluminium (Al) dan oksigen (O) sebagai unsur utama pembentuk aluminium oksida, serta keberadaan unsur minor lainnya yang berasal dari prekursor maupun ekstrak daun cermay.





Gambar 4. Spektrum Hasil EDX *Green Synthesis* Ekstrak Daun Cermai

Tabel 1. Hasil EDX *Green Synthesis* Ekstrak Daun Cermai

No	Ekstrak Daun Cermai	Elemen	Massa (%)	Atom (%)
1	10%	O	37.07±0.54	50.79±0.74
		Al	53.57±0.42	43.52±0.34
2	15%	O	36.83±0.52	51.10±0.72
		Al	48.95±0.38	40.27±0.31
3	20%	O	37.98±0.53	52.18±0.73
		Al	49.54±0.39	40.36±0.32

Berdasarkan Tabel 1, hasil analisis EDX menunjukkan bahwa nanopartikel Al_2O_3 yang disintesis menggunakan ekstrak daun cermai pada variasi konsentrasi 10%, 15%, dan 20%

didominasi oleh unsur aluminium (Al) dan oksigen (O), yang mengonfirmasi keberhasilan pembentukan aluminium oksida sebagai fase utama material. Pada konsentrasi ekstrak 10%, kandungan Al tercatat sebesar 53,57% (massa) dan 43,52% (atom), yang merupakan nilai tertinggi dibandingkan variasi lainnya. Namun, pada konsentrasi ini masih terdeteksi unsur minor seperti Cl, K, dan Na yang menunjukkan adanya residu prekursor serta mineral alami yang berasal dari ekstrak daun cermai. Keberadaan impuritas tersebut dapat memengaruhi sifat listrik material karena atom-atom pengotor berpotensi membentuk cacat kristal (*defect states*) dan pusat perangkap muatan (*charge trapping centers*) pada struktur Al₂O₃. Cacat ini dapat menghambat mobilitas pembawa muatan, meningkatkan hamburan elektron, serta menyebabkan kenaikan nilai resistivitas listrik material. Selain itu, distribusi impuritas yang tidak homogen dapat mengurangi efektivitas polarisasi listrik pada material sehingga berdampak pada penurunan konstanta dielektrik. Oleh karena itu, keberadaan unsur pengotor pada sampel dengan konsentrasi ekstrak 10% menunjukkan bahwa proses pembentukan dan stabilisasi nanopartikel belum berlangsung secara optimal, yang turut berkontribusi terhadap sifat listrik yang kurang baik dibandingkan sampel dengan konsentrasi ekstrak yang lebih tinggi.

Pada konsentrasi ekstrak daun cermai 15% dan 20%, unsur aluminium (Al) dan oksigen (O) tetap mendominasi komposisi material, yang menunjukkan bahwa fase utama Al₂O₃ tetap terbentuk dengan baik. Meskipun persentase Al mengalami sedikit penurunan dibandingkan sampel 10%, peningkatan kandungan unsur minor seperti K dan Cl mengindikasikan adanya interaksi yang lebih intens antara biomolekul ekstrak dengan permukaan nanopartikel selama proses sintesis. Senyawa bioaktif yang terkandung dalam ekstrak daun cermai berperan sebagai *capping agent* yang mampu menghambat pertumbuhan kristal dan mengurangi aglomerasi, sehingga menghasilkan ukuran partikel yang lebih kecil dan distribusi yang lebih homogen. Selain memengaruhi morfologi, keberadaan unsur minor dalam jumlah kecil juga dapat memengaruhi sifat listrik material. Pada konsentrasi yang rendah dan terdistribusi secara homogen, unsur-unsur tersebut dapat meningkatkan polarisasi antarmuka (*interfacial polarization*) yang berkontribusi terhadap peningkatan konstanta dielektrik. Namun, jika jumlahnya berlebihan, impuritas dapat bertindak sebagai pusat hamburan muatan (*scattering centers*) yang menghambat pergerakan pembawa muatan listrik. Pada penelitian ini, dominasi unsur Al dan O serta rendahnya kandungan impuritas menunjukkan bahwa kualitas material Al₂O₃ yang dihasilkan masih terjaga, sementara peningkatan konsentrasi ekstrak lebih berperan dalam memperbaiki homogenitas, mengurangi ukuran butir, dan mendukung peningkatan sifat dielektrik material.

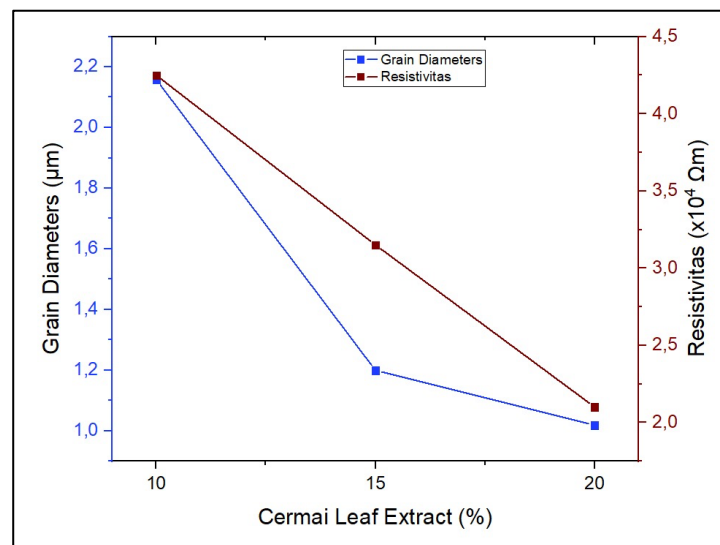
Tabel 2. Kandungan nanopartikel pada Konsentrasi 10%, 15%, dan 20%

No	Ekstrak Daun Cermai	Grain Diameter (µm)	Resistivitas (Ωm)	Konstanta dielektrik (ε _r)
1	10%	2,1581 µm	4,25 × 10 ⁴	17,35
2	15%	1,19915 µm	3,15 × 10 ⁴	23,50
3	20%	1,0185 µm	2,10 × 10 ⁴	25,15

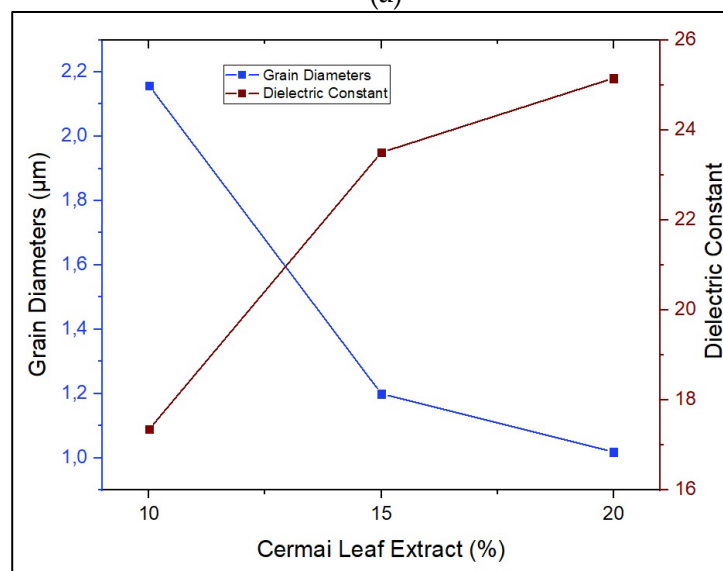
Berdasarkan Tabel 2, terlihat hubungan yang jelas antara variasi konsentrasi ekstrak daun cermai terhadap ukuran butir (*grain diameter*), resistivitas, dan konstanta dielektrik nanopartikel Al₂O₃ hasil *green synthesis*. Seiring meningkatnya konsentrasi ekstrak dari 10% hingga 20%, ukuran butir mengalami penurunan signifikan dari 2158,1 nm menjadi 1018,5 nm. Penurunan ukuran butir ini menunjukkan bahwa senyawa bioaktif dalam ekstrak daun cermai semakin efektif berperan sebagai agen pereduksi dan penstabil (*capping agent*) yang menghambat pertumbuhan kristal dan menekan terjadinya aglomerasi. Meningkatnya jumlah biomolekul menyebabkan lebih banyak inti (*nuclei*) yang terbentuk selama proses sintesis, sehingga pertumbuhan partikel menjadi lebih terkendali dan menghasilkan distribusi ukuran yang lebih homogen.

Perubahan ukuran butir tersebut berpengaruh langsung terhadap sifat listrik material. Nilai resistivitas menurun dari 4,25 × 10⁴ Ωm pada konsentrasi ekstrak 10% menjadi 2,10 × 10⁴ Ωm pada konsentrasi 20%. Secara fisik, ukuran partikel yang lebih kecil dan distribusi yang lebih seragam menghasilkan kontak antarpartikel yang lebih baik serta mengurangi keberadaan

rongga (*voids*) dan daerah tidak homogen dalam material. Kondisi ini memperlancar proses perpindahan muatan melalui jaringan partikel sehingga hambatan terhadap aliran muatan berkurang. Selain itu, berkurangnya aglomerasi menyebabkan distribusi medan listrik di dalam material menjadi lebih merata sehingga nilai resistivitas cenderung menurun.



(a)



(b)

Gambar 5. Grafik Hubungan antara konsentrasi larutan dengan grain diameter dan konstanta dielektrik (a) serta resistivitas (b)

Konstanta dielektrik juga mengalami peningkatan dari 17,35 menjadi 25,15 seiring bertambahnya konsentrasi ekstrak daun cermat. Peningkatan ini berkaitan dengan bertambahnya luas permukaan spesifik akibat ukuran partikel yang lebih kecil. Semakin kecil ukuran partikel, semakin besar jumlah antarmuka (*interfaces*) dan daerah polarisasi yang terbentuk ketika material diberi medan listrik. Fenomena ini meningkatkan polarisasi antarmuka (*Maxwell-Wagner interfacial polarization*), yaitu akumulasi muatan pada batas-batas partikel yang menyebabkan kemampuan material dalam menyimpan energi listrik menjadi lebih tinggi. Selain itu, homogenitas partikel yang lebih baik memungkinkan distribusi muatan yang lebih merata sehingga respons dielektrik material meningkat.

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa peningkatan konsentrasi ekstrak daun cermat tidak hanya berperan dalam mengendalikan ukuran butir nanopartikel Al_2O_3 , tetapi juga memengaruhi mekanisme transport muatan dan polarisasi listrik di dalam material seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5 (a) dan 5 (b). Oleh karena itu, sampel dengan konsentrasi ekstrak

20% menunjukkan karakteristik yang paling baik, yaitu ukuran butir yang lebih kecil, resistivitas yang lebih rendah, dan konstanta dielektrik yang lebih tinggi, sehingga berpotensi untuk diaplikasikan sebagai material dielektrik dan isolator pada perangkat elektronik.

Kedua grafik menunjukkan bahwa peningkatan massa/konsentrasi ekstrak daun cermai (10-20%) berpengaruh signifikan terhadap ukuran butir dan sifat listrik nanopartikel Al_2O_3 . Seiring bertambahnya konsentrasi ekstrak, grain diameter mengalami penurunan yang konsisten, menandakan peran ekstrak sebagai agen penstabil yang efektif dalam menekan pertumbuhan dan aglomerasi partikel. Penurunan ukuran butir ini diikuti oleh penurunan resistivitas, yang mengindikasikan berkurangnya hambatan pergerakan muatan akibat meningkatnya homogenitas partikel dan berkurangnya batas butir. Sebaliknya, konstanta dielektrik menunjukkan tren meningkat seiring mengecilnya ukuran butir, yang berkaitan dengan bertambahnya luas permukaan spesifik sehingga kemampuan material dalam menyimpan muatan listrik menjadi lebih baik. Secara keseluruhan, grafik tersebut menegaskan bahwa peningkatan konsentrasi ekstrak daun cermai menghasilkan nanopartikel Al_2O_3 dengan ukuran lebih kecil, resistivitas lebih rendah, dan konstanta dielektrik lebih tinggi.

Peningkatan konstanta dielektrik seiring penurunan ukuran butir menunjukkan bahwa ukuran partikel memiliki peran penting dalam mekanisme polarisasi material. Ketika ukuran butir mengecil, luas permukaan spesifik dan jumlah antarmuka antarpartikel meningkat, sehingga menyediakan lebih banyak daerah untuk akumulasi muatan listrik. Akumulasi muatan pada batas butir ini memicu terjadinya polarisasi antarmuka (*Maxwell-Wagner interfacial polarization*) yang berkontribusi terhadap peningkatan kemampuan material dalam menyimpan energi listrik. Selain itu, ukuran partikel yang lebih kecil menyebabkan distribusi medan listrik menjadi lebih merata dan memperbesar jumlah dipol yang dapat merespons medan listrik eksternal. Akibatnya, polarisasi total material meningkat yang ditunjukkan oleh kenaikan konstanta dielektrik dari 17,35 pada konsentrasi ekstrak 10% menjadi 25,15 pada konsentrasi 20%. Hasil ini mengindikasikan bahwa pengendalian ukuran butir melalui peningkatan konsentrasi ekstrak daun cermai tidak hanya memperbaiki morfologi nanopartikel Al_2O_3 , tetapi juga meningkatkan performa dielektriknya sehingga lebih potensial untuk diaplikasikan sebagai material penyimpan muatan dan isolator pada perangkat elektronik.

CONCLUSION

Berdasarkan hasil penelitian, dapat disimpulkan bahwa ekstrak daun cermai (*Phyllanthus acidus*) berhasil dimanfaatkan sebagai agen pereduksi dan penstabil dalam sintesis Al_2O_3 melalui metode *green synthesis*, di mana peningkatan konsentrasi ekstrak berpengaruh terhadap morfologi dan sifat listrik material yang dihasilkan. Konsentrasi ekstrak yang lebih tinggi menghasilkan partikel yang lebih kecil dan homogen, yang berkontribusi terhadap penurunan resistivitas serta peningkatan konstanta dielektrik. Temuan ini menunjukkan bahwa senyawa bioaktif dalam ekstrak daun cermai berperan penting dalam mengendalikan proses pembentukan nanopartikel sekaligus memodifikasi karakteristik listrik material. Penelitian ini memberikan implikasi bahwa sumber daya hayati lokal berpotensi dimanfaatkan sebagai alternatif ramah lingkungan dalam sintesis material oksida fungsional. Namun, penelitian ini masih terbatas pada karakterisasi morfologi, komposisi unsur, dan sifat listrik dasar, sehingga diperlukan pengujian lanjutan seperti analisis struktur kristal, luas permukaan spesifik, serta evaluasi sifat dielektrik pada berbagai frekuensi dan temperatur untuk memvalidasi lebih lanjut potensi aplikasinya pada perangkat elektronik dan material dielektrik.

AUTHOR CONTRIBUTIONS

Nurul Titian Lestari berkontribusi dalam penyusunan konsep penelitian, pengumpulan dan analisis data, interpretasi hasil penelitian, serta penulisan dan revisi naskah artikel hingga tahap final. Lalu Ahmad Didik Meiliyadi dan Muh. Wahyudi berperan sebagai pembimbing dalam penyempurnaan konsep, analisis hasil, serta penelaahan akhir naskah. Seluruh penulis telah membaca dan menyetujui versi akhir artikel.



ACKNOWLEDGEMENTS

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Universitas Islam Negeri Mataram yang telah memberikan dukungan akademik, fasilitas, serta motivasi dalam pelaksanaan penelitian dan penyusunan artikel ini. Penulis juga menyampaikan apresiasi kepada semua pihak yang telah membantu secara langsung maupun tidak langsung sehingga penelitian ini dapat diselesaikan dengan baik.

REFERENCES

- Aliannezhadi, M., Mirsanaee, S. Z., Jamali, M., & Shariatmadar, F. (2024). The physical properties and photocatalytic activities of green synthesized ZnO nanostructures using different ginger extract concentrations. *Journal Scientific Report*, 14(2035). https://www.nature.com/articles/s41598-024-52455-z?utm_source=chatgpt.com
- Didik, L. A., Aini, H., & Zohdi, A. (2020). Analisis Perbandingan Kandungan Fe dan Karakteristik Sifat Listrik Pasir Besi Sungai dan Pantai. *Jurnal Fisika Flux*, 17(2), 138-145. <https://doi.org/10.20527/flux.v17i2.7689>
- Didik, L. A., Damayanti, I., Jumliati, J., & Lestari, P. A. (2021). Morphological characteristics and mineral content analysis of magnetic minerals based on river and coastal sand using SEM-EDX. *Jurnal Sains Dasar*, 10(2), 44-50.
- Ernawati, E. E., Suryani, N., Nuramalia, S., & Yustika, R. W. (2023). Standardisasi Ekstrak Buah Cermai (*Phyllanthus Acidus* L . Skeels) dan Aktivitas Inhibisi Enzim Elastase Standardization of Cermai Fruit Extract (*Phyllanthus acidus* L . Skeels) and Elastase Enzyme Inhibition Activity. *J. Kartika Kimia*, 6(2), 145-155. <https://doi.org/10.26874/jkk.v6i2.225>
- Gharbi, A. H., Laouini, S. E., Hemmami, H., Bouafia, A., Gherbi, M. T., Amor, I. Ben, Hasan, G. G., & Abdullah, M. M. S. (2024). Eco-Friendly Synthesis of Al_2O_3 Nanoparticles: Comprehensive. *Coatings*, 14(7), 1-15.
- Ikhioya, I. L., & Nkele, A. C. (2024). Green synthesis and characterization of aluminum oxide nanoparticle using neem leaf extract (*Azadirachta Indica*). *Hybrid Advances*, 5(November 2023), 100141. <https://doi.org/10.1016/j.hybadv.2024.100141>
- Laskar, I., & Saha, R. (2024). Synthesis of aluminum oxide nanoparticles using seeds of *Carica papaya* and evaluation of it for antimicrobial , antioxidant , and photocatalysis activity. *Journal of Analytical Science and Technology*, 15(52), 1-17. <https://doi.org/10.1186/s40543-024-00468-8>
- Lestari, S. A., Nihan, Y. A., Windari, W., & Salsabila, I. (2024). Review Article : Karakteristik Terbaik Nanopartikel Emas Hasil Green Synthesis Menggunakan Ekstrak Tumbuhan sebagai Bioreduktor The Best Characteristics of Gold Nanoparticles Resulting from Green Synthesis Using Plant Extracts as Bioreductants. *Jurnal Integrasi Kesehatan Dan Sains (JIKS)*, 6(2), 144-149. <https://doi.org/10.29313/jiks.v6i2.13727>
- Marpaung, J. K., Situmorang, M., & Loi, A. (2022). Identifikasi Simplisia Dan Uji Aktivitas Aantibakteri Daun Cermai (*Phyllanthus acidus* (L .) Skeels) Terhadap Bakteri *Streptococcus pyogenes* Dan Bakteri *Salmonella typhi*. *Jurnal TEKESNOS*, 4(1), 307-318.
- Meiliyadi, L. A. D., Rahman, M. Z., Arizona, K., & Wahyudi, M. (2025). Utilization of hematite nanomaterial based on Geres river sand magnetic mineral to improve water quality. *Jurnal Ilmiah Pendidikan Fisika Al-Biruni*, 14(1), 121-130.
- Meiliyadi, L. A. D., Rahman, M. Z., & Zain, Z. A. (2024). Functional group analysis of silica gel based on river sand magnetic mineral as heavy metal absorbance. *KONSTAN-JURNAL FISIKA DAN PENDIDIKAN FISIKA*, 9(01), 34-41.
- Meiliyadi, L. A. D., Wahyudi, M., Damayanti, I., & Fudholi, A. (2022). Morphological characteristics and electrical properties analysis of silica based on river and coastal iron sand. *J. Ilm. Pendidik. Fis. Al-Biruni*, 11(1), 129-140.
- Mohamed, S. A., Rayan, A. M., Hakeem, A. A. M., M., S. H., A. E.-R., M., A., Gad, K. A. E., Ahmed, M. R., & AbdelAll, N. (2026). Integrated structural, optical and dielectric analysis of low-loss $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ nanoparticles for UV photonic and dielectric applications. *Journal Scientific Report*, 16(14706). <https://doi.org/https://doi.org/10.1038/s41598-026-50503-4>

- Mousa, S., D.A., W., Hassan, H. H., Khairy, S. ., & Ebnalwaled. (2024). Enhanced photocatalytic activity of green synthesized zinc oxide nanoparticles using low-cost plant extracts. *Journal Scientific*, 14. <https://doi.org/https://doi.org/10.1038/s41598-024-66975-1>
- Muhaymin, A., Mohammad, H. E. A., Hkiri, K., Safdar, A., Azizi, S., & Maaza, M. (2024). Green synthesis of magnesium oxide nanoparticles using Hyphaene thebaica extract and their photocatalytic activities. *Journal Scientific Report*, 14. https://doi.org/https://doi.org/10.1038/s41598-024-71149-0?utm_source=chatgpt.com
- Nisa, M., Jannah, R., Qodri, U. L., & Sari, D. T. (2023). Pengaruh Metode Pengeringan terhadap Kadar Flavonoid Siplisia Daun Cermai (*Phyllanthus acidus* L. Skeels). *Jurnal Farmasi Ma Chung: Sains Teknologi Dan Klinis Komunitas*, 1(1), 8–12. [https://doi.org/10.33479/jfmc.v1i1\(1\).2](https://doi.org/10.33479/jfmc.v1i1(1).2)
- Paramita, S. A. (2024). Nanosains Fenomena Dari Sifat Fisika Dan Kimia Nanoteknologi. *Berkala Fisika*, 27(2), 49–57.
- Putri, N. I., & Mardianingrum, R. (2023). Ekstrak Etanol Daun Ketepeng Cina (*Cassia Alata* L .) Terhadap *Candida Albicans*. *Jurnal Penelitian Farmasi Indonesia*, 12(2), 94–103. <https://doi.org/10.51887/jpfi.v12i2.1843>
- Regis, V., Šadl, M., Brennecka, G., Bradeško, A., Tomc, U., & Uršič, H. (2023). Investigation of Structural and Electrical Properties of Al₂O₃/Al Composites Prepared by Aerosol Co-Deposition. *Journal Crystal*, 13(5). <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/cryst13050850>
- Rohmah, B. A., Mustakim, F., Dwiyono, F. N., Ramadhany, F. B., Masitoh, H., Rahayu, P., Maghfiroh, R. F., & Kimia, D. (2022). *Review Nanopartikel Logam/Logam Oksida- Terkomposisi Karbon Berpori via Sintesis Hidrotermal untuk Superkapasitor Performa Tinggi*. 1–6.
- Saleh, A. K., Shaban, A. S., Diab, M. A., Debarnot, D., & Elzaref, A. S. (2024). Green synthesis and characterization of aluminum oxide nanoparticles using Phoenix dactylifera seed extract along with antimicrobial activity , phytotoxicity , and cytological effects on *Vicia faba* seeds. *Biomass Conversion and Biorefinery*, 14(24), 31859–31875. <https://doi.org/10.1007/s13399-023-04800-x>
- Sayed, A. M., Salama, F. M., Galal, K., & Said, M. I. (2025). RSC Advances Sustainable production of ZnO nanoparticles via capparid stem extract for efficient photocatalytic Rh 6G dye degradation. *RSC Advances*, 46890–46907. <https://doi.org/10.1039/d5ra05878c>
- Singh, J., Dutta, T., Kim, K. H., Rawat, M., Samddar, P., & Kumar, P. (2018). ‘ Green ’ synthesis of metals and their oxide nanoparticles : applications for environmental remediation. *Journal of Nanobiotechnology*, 1–24. <https://doi.org/10.1186/s12951-018-0408-4>
- Supriyadi, A., Fadlilah, I., Evila, T., & Sri, P. (2025). Sintesis Nanopartikel ZnO-Ag Sebagai Fotokatalis dengan Variasi Suhu Kalsinasi. *Metana: Media Komunikasi Rekayasa Proses Dan Teknologi Tepat Guna*, 21(1), 39–46. <https://doi.org/10.14710/metana.v21i1.71050>
- Wangsa, A. G., Ukkasya, M., & Anisah, N. (2024). Study literatur : graphene , nano teknologi sebagai material konstruksi masa depan. *BEARING : Jurnal Penelitian Dan Kajian Teknik Sipil*, 09(01), 1–9. <https://doi.org/10.32502/jbearing.v9i1.8283>
- Widatalla, H. A., Yassin, F., & Alrasheid, A. (2022). Nanoscale Advances tea leaf extract , characterization and evaluation of. *Nanoscale Advances*, 4, 911–915. <https://doi.org/10.1039/d1na00509j>
- Yahdi, M., LAD, M., & Arizona, K. (2025). Improvement of Water Quality by Hematite Based on River Sand Magnetic Minerals of Lombok Island. *Jurnal Penelitian Dan Pengkajian Ilmu Pendidikan: E-Saintika*, 9(2), 525-540.

Author (s):

* Nurul Titian Lestari (Corresponding Author)
Tadris Fisika, Fakultas Tarbiyah dan Keguruan,
Universitas Islam Negeri Mataram,
Jl. Gajah Mada No 100, Mataram 83116, Indonesia
Email: 220108019.mhs@uinmataram.ac.id

Lalu Ahmad Didik Meiliyadi
Tadris Fisika, Fakultas Tarbiyah dan Keguruan,
Universitas Islam Negeri Mataram,
Jl. Gajah Mada No 100, Mataram 83116, Indonesia
Email: laludidik@uinmataram.ac.id

Muh. Wahyudi
Tadris Fisika, Fakultas Tarbiyah dan Keguruan,
Universitas Islam Negeri Mataram,
Jl. Gajah Mada No 100, Mataram 83116, Indonesia
Email: muhwahyudi@uinmataram.ac.id
