

**POTENSI NANO PARTIKEL NiO - *Avicenna Marina* MELALUI
METODE *GREEN SYNTHESIS* SEBAGAI KANDIDAT
MATERIAL ELEKTRODA**

TUGAS AKHIR

Diajukan Oleh:

SANTI BELLIA

220714004

**Mahasiswa Fakultas Sains dan Teknologi
Program Studi Teknik Fisika**



**FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI AR-RANIRY
BANDA ACEH
TAHUN 2026 M / 1447 H**

LEMBAR PERSETUJUAN

POTENSI NANO PARTIKEL NiO - *Avicenna Marina* MELALUI METODE *GREEN SYNTHESIS* SEBAGAI KANDIDAT MATERIAL ELEKTRODA

TUGAS AKHIR

Diajukan kepada Fakultas Sains dan Teknologi
Universitas Islam Negeri (UIN) Ar-Raniry Banda Aceh
Sebagai Salah Satu Beban Studi Memperoleh Gelar Sarjana (S1)
Dalam Prodi Teknik Fisika

Oleh:
SANTI BELLIA
220714004

Mahasiswa Fakultas Sains dan Teknologi
Program Studi Teknik Fisika

Disetujui Untuk Dimunaqasyahkan Oleh:

Pembimbing



Dr. Sri Nengsih, M.Sc.
NIDN 2010088501

Mengetahui,
Ketua Program Studi Teknik Fisika



Nurhavati, S.Si., M.Si.
NIDN 2014058901

LEMBAR PENGESAHAN

POTENSI NANO PARTIKEL NiO - *Avicenna Marina* MELALUI METODE *GREEN SYNTHESIS* SEBAGAI KANDIDAT MATERIAL ELEKTRODA

TUGAS AKHIR

Telah Diuji Oleh Panitia Ujian Munaqasyah Tugas Akhir
Fakultas Sains dan Teknologi UIN Ar-Raniry Banda Aceh dan Dinyatakan Lulus
Serta Diterima Sebagai Salah Satu Beban Studi Program Sarjana (S-1)
Dalam Prodi Teknik Fisika

Pada Hari/tanggal: Senin, 19 Januari 2026
30 Rajab 1447
di Darussalam, Banda Aceh

Panitia Ujian Munaqasah Tugas Akhir:

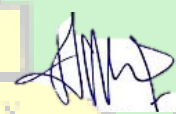
Ketua/Sekretaris


Dr. Sri Nengsih, M.Sc.
NIDN 2010088501

Penguji I,

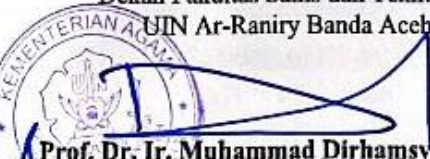

Muslem, S.St., M.Sc.
NIDN 2006069004

Penguji II,


Nurhayati, S.Si., M.Si.
NIDN 2014058901

Mengetahui:

Dekan Fakultas Sains dan Teknologi
UIN Ar-Raniry Banda Aceh


Prof. Dr. Ir. Muhammad Dirhamsyah, MT., IPU.
NIDN 0002106203

LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR/SKRIPSI

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Santi Bellia
NIM : 220714004
Program Studi : Teknik Fisika
Fakultas : Sains dan Teknologi
Judul : Potensi Nanopartikel NiO - *Avicenna Marina*
Melalui Metode *Green Synthesis* Sebagai
Kandidat Material Elektroda

Dengan ini menyatakan bahwa dalam penulisan tugas akhir/skripsi ini, saya:

1. Tidak menggunakan ide orang lain tanpa mampu mengembangkan dan mempertanggungjawabkan;
2. Tidak melakukan plagiasi terhadap naskah karya orang lain;
3. Tidak menggunakan karya orang lain tanpa menyebutkan sumber asli atau tanpa izin pemilik karya;
4. Tidak memanipulasi dan memalsukan data;
5. Mengerjakan sendiri karya ini dan mampu bertanggungjawab atas karya ini.

Bila dikemudian hari ada tuntutan dari pihak lain atas karya saya, dan telah melalui pembuktian yang dapat dipertanggung jawabkan dan ternyata memang di temukan bukti bahwa saya telah melanggar pernyataan ini, maka saya siap dikenai sanksi berdasarkan aturan yang berlaku di Fakultas Sains dan Teknologi UIN Ar-Raniry Banda Aceh.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya dan tanpa paksaan dari pihak manapun.

Banda Aceh, 12 Januari 2026
Yang Menyatakan



ABSTRAK

Nama : Santi Bellia
Nim : 220714004
Program Studi : Teknik Fisika
Judul : Potensi Nanopartikel NiO - *Avicenna Marina* Melalui Metode *Green Synthesis* Sebagai Kandidat Material Elektroda
Tanggal Sidang : 19 Januari 2026
Jumlah Halaman : 63 halaman
Pembimbing : Dr. Sri Nengsih, M.Sc.
Kata Kunci : NiO, *Green Synthesis*, *A. Marina*, Karakterisasi Material.

Penelitian ini bertujuan untuk mensintesis nanopartikel NiO menggunakan metode *green synthesis* berbasis ekstrak daun *A. marina* serta mengevaluasi potensinya sebagai material elektroda baterai listrik. Metode *green synthesis* dipilih sebagai alternatif ramah lingkungan karena memanfaatkan senyawa bioaktif tumbuhan sebagai agen pereduksi dan penstabil, sehingga mengurangi penggunaan bahan kimia berbahaya. Sintesis dilakukan dengan mencampurkan larutan prekursor nikel dengan ekstrak *A. Marina* pada variasi pH, kemudian dilanjutkan dengan proses kalsinasi untuk memperoleh serbuk NiO. Karakterisasi nanopartikel NiO dilakukan menggunakan FTIR, XRD, SEM, BET, dan EIS. Hasil FTIR menunjukkan keberadaan gugus fungsi organik dari ekstrak *A. Marina* serta pita khas Ni-O yang mengonfirmasi terbentuknya NiO. Pola XRD memperlihatkan struktur kristal kubik NiO dengan tingkat kristalinitas yang baik sesuai standar JCPDS No. 47-1049. Analisis SEM menunjukkan ukuran partikel berada pada rentang nanometer dengan sedikit aglomerasi. Hasil BET mengindikasikan struktur mesopori dengan luas permukaan yang mendukung aplikasi elektroda. Pengujian EIS menunjukkan nilai resistansi transfer muatan yang relatif rendah, menandakan kemampuan konduktivitas elektrokimia yang baik. Berdasarkan hasil tersebut, nanopartikel NiO yang disintesis menggunakan ekstrak *A. Marina* berpotensi digunakan sebagai material elektroda baterai listrik. Penelitian ini membuktikan bahwa pemanfaatan sumber daya lokal melalui metode *green synthesis* dapat menghasilkan material fungsional yang ramah lingkungan dan aplikatif dalam bidang penyimpanan energi.

ABSTRACT

Name : Santi Bellia

Nim : 220714004

Major : Physics Engineering

Title : The Potential of NiO - Avicenna Marina Nanoparticles Through Green Synthesis Method As A Candidate Electrode Material

Strial Date : 19 January 2026

Thesis Thickness : 63 page

Advisor : Dr. Sri Nengsih, M.Sc.

Keyword : Nickel Oxide (NiO), Green Synthesis, A. Marina, Material Characterization.

This study aims to synthesize NiO nanoparticles using a green synthesis method based on A. marina leaf extract and to evaluate their potential as battery electrode materials. The green synthesis approach was selected as an environmentally friendly alternative, utilizing bioactive compounds from plant extracts as reducing and stabilizing agents, thereby minimizing the use of hazardous chemicals. The synthesis process involved mixing a nickel precursor solution with the plant extract at various pH conditions, followed by a calcination step to obtain NiO powder. The synthesized NiO nanoparticles were characterized using FTIR, XRD, SEM, BET, and EIS techniques. FTIR analysis confirmed the presence of organic functional groups from the plant extract and characteristic Ni–O vibrations, indicating successful NiO formation. XRD patterns revealed a cubic crystalline structure of NiO with good crystallinity, consistent with JCPDS No. 47-1049. SEM observations showed nanoscale particle sizes with slight agglomeration. BET analysis indicated a mesoporous structure with a suitable surface area for electrode applications. Furthermore, EIS results demonstrated relatively low charge transfer resistance, indicating favorable electrochemical conductivity. These results suggest that NiO nanoparticles synthesized via green synthesis using Avicennia marina extract have strong potential as battery electrode materials. This study highlights the feasibility of utilizing local natural resources to produce environmentally friendly and functional materials for energy storage applications.

KATA PENGANTAR

Puji Syukur kehadiran Allah Ta'ala atas berkat rahmat-Nya penulis diberikan kemudahan dalam menyelesaikan tugas akhir dengan judul **“Potensi Nano Partikel NiO - *Avicenna Marina* Melalui Metode Green Synthesis Sebagai Kandidat Material Elektroda**”. sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar sarjana di Jurusan Teknik Fisika Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Ar-Raniry. Selawat dan salam senantiasa tercurah kepada junjungan Nabi Besar Muhammad SAW sebagai suri tauladan untuk seluruh umat manusia

Penulis menyadari sepenuhnya bahwa selesainya tugas akhir ini adalah berkat bantuan dari berbagai pihak. Oleh karena itu dalam kesempatan ini, penulis menyampaikan terima kasih serta penghargaan yang setinggi - tingginya kepada:

1. Prof. Dr. Ir. Muhammad Dirhamsyah, MT.,IPU., selaku Dekan Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Ar-Raniry Banda Aceh.
2. Ibu Nurhayati,S.Si, M.Si. selaku Ketua Program Studi Teknik Fisika sekaligus pembimbing akademik dan Bapak Mulyadi Abdul Wahid, M.Sc selaku sekretaris program studi Teknik Fisika Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Ar-Raniry Banda Aceh.
3. Dr. Sri Nengsih, M.Sc. selaku dosen pembimbing tugas akhir.
4. Lembaga Pengelola Dana Pendidikan (LPDP) melalui program pendanaan riset MoRA The AIR Funds 2024, atas dukungan pendanaan yang telah diberikan sehingga penelitian ini dapat dilaksanakan dan diselesaikan dengan baik.
5. Tim riset MoRA The AIR Funds 2024, Dr. Abd. Mujahid Hamdan, M.Sc., selaku ketua riset, Prof. Dr. Ir. Akhyar Ibrahim, MT MP IPM, Asean.Eng., Dr. Sri Nengsih, M.Sc., Syafrina Sari Lubis, M.Si., Muslem, M.Sc., selaku anggota peneliti, Surya Adi Saputra, Rini Septi Mauli, Nanda Anastia, Yunasar, Mehram Maina, Utari Rahmatillah, Irhamni selaku asisten peneliti.

6. Segenap dosen dan staff Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Ar-Raniry Banda Aceh yang telah mendidik dan memberikan ilmu selama kuliah.
7. Terkhusus kepada kedua orang tua penulis, Ayah Saiful Bahri dan Ibu Safariah. Terimakasih atas segala kasih sayang dan selalu mendoakan penulis agar mampu bertahan untuk melangkah meraih mimpi di masa depan. Terimakasih untuk selalu ada dan menjadi alasan bagi penulis dalam menyelesaikan tugas akhir ini.
8. Kepada kakak penulis Yuni Fardila dan suami Azhari. Terimakasih atas segala tetesan keringat dalam setiap langkah pengorbanan dan kerja keras yang dilakukan untuk memberikan yang terbaik kepada penulis. Terimakasih untuk selalu mendukung penulis dalam menyelesaikan tugas akhir ini.
9. Serta kepada semua teman-teman yang sudah mendukung dan membantu selama pembuatan tugas akhir.

Serta semua pihak yang telah membantu penulis. Selaku manusia biasa tentunya penulis tidak luput dari kesalahan. Oleh karena itu, saran dan kritik yang konstruktif sangat diharapkan demi penyempurnaan tugas akhir ini.

Banda Aceh, Januari 2026

Penulis



Santi Bellia

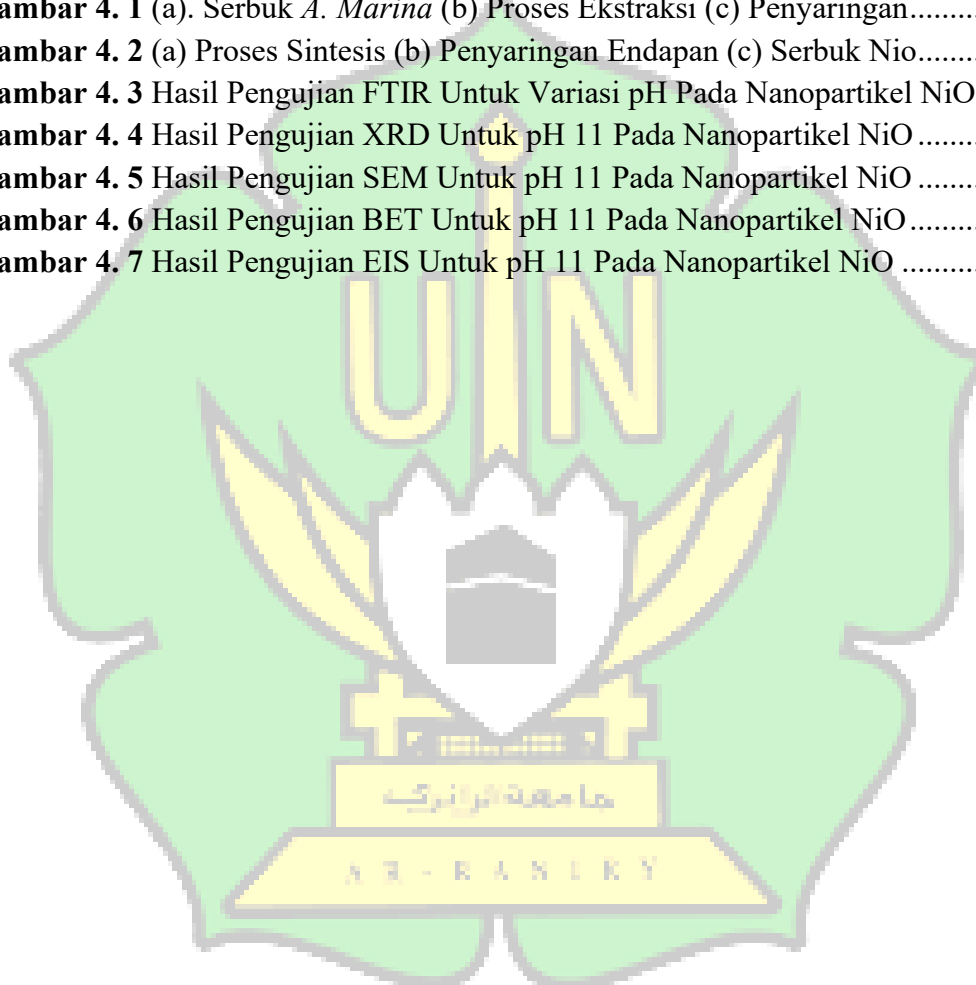
DAFTAR ISI

LEMBAR PERSETUJUAN	ii
LEMBAR PENGESAHAN	iii
LEMBAR KEASLIAN.....	iv
ABSTRAK	v
ABSTRACT	vi
KATA PENGANTAR	vivi
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR LAMPIRAN	xiii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian.....	3
1.4 Manfaat penelitian	3
1.5 Batasan Penelitian	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Nanopartikel NiO	5
2.2 <i>Green Synthesis</i>	7
2.3 Bakau api-api (<i>Avicenna Marina</i>)	8
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	11
3.1 Metode Penelitian.....	11
3.2 Tempat dan Waktu Penelitian	11
3.3 Alat dan Bahan	12
3.4 Prosedur Penelitian.....	15
3.4.1 Preparasi Sampel.....	15
3.4.2 Ekstraksi.....	16

3.4.3 Sintesis Nanopartikel NiO.....	17
3.4.4 Karakterisasi Nanopartikel.....	18
3.5 Analisis Data	19
3.5.1 FTIR (<i>Fourier Transform Infrared Spectroscopy</i>)	19
3.5.2 XRD (<i>X-Ray Diffraction</i>).....	20
3.5.3 SEM (<i>Scanning Electron Microscopy</i>).....	21
3.5.4 BET (<i>Brunauer–Emmett–Teller</i>).....	21
3.5.5 EIS (<i>Electrochemical Impedance Spectroscopy</i>).....	22
3.6 <i>Flowchart</i> Penelitian	23
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	24
4.1 Sintesis Nanopartikel NiO.....	24
4.2 Hasil Karakterisasi NiO.....	26
4.2.1 FTIR (<i>Fourier Transform Infrared Spectroscopy</i>)	26
4.2.2 XRD (<i>X-Ray Diffraction</i>).....	28
4.2.3 SEM (<i>Scanning Electron Microscopy</i>).....	30
4.2.4 BET (<i>Brunauer–Emmett–Teller</i>).....	31
4.2.5 EIS (<i>Electrochemical Impedance Spectroscopy</i>).....	33
4.3 Pembahasan	35
BAB V PENUTUP.....	39
5. 1 Kesimpulan.....	39
5. 2 Saran	39
DAFTAR PUSTAKA	40
LAMPIRAN	45

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Nanopartiken NiO.....	5
Gambar 2. 2 Bakau Api-Api (<i>Avicenna Marina</i>)	8
Gambar 3. 1 Titik Koordinat Pengambilan Sampel <i>A. Marina</i>	11
Gambar 3. 2 Tahapan Pengolahan Sampel <i>A. Marina</i> untuk Analisis Lanjutan .	16
Gambar 3. 3 Proses Sintesis NiO.....	17
Gambar 3. 4 Diagram Alir Penelitian.....	23
Gambar 4. 1 (a). Serbuk <i>A. Marina</i> (b) Proses Ekstraksi (c) Penyaringan.....	24
Gambar 4. 2 (a) Proses Sintesis (b) Penyaringan Endapan (c) Serbuk Nio.....	25
Gambar 4. 3 Hasil Pengujian FTIR Untuk Variasi pH Pada Nanopartikel NiO .	27
Gambar 4. 4 Hasil Pengujian XRD Untuk pH 11 Pada Nanopartikel NiO	30
Gambar 4. 5 Hasil Pengujian SEM Untuk pH 11 Pada Nanopartikel NiO	31
Gambar 4. 6 Hasil Pengujian BET Untuk pH 11 Pada Nanopartikel NiO	32
Gambar 4. 7 Hasil Pengujian EIS Untuk pH 11 Pada Nanopartikel NiO	33



DAFTAR TABEL

Tabel 3. 1 Alat dan Bahan	12
Tabel 3. 2 Data XRD magnetit JCPDS No. 47-1049	20
Tabel 4. 1 Data XRD	29
Tabel 4. 2 Rangkuman Hasil Karakterisasi Nanopartikel NiO	34



DAFTAR LAMPIRAN

LAMPIRAN 1. Perhitungan Data Riset Sintesis dan Karakterisasi	45
LAMPIRAN 2. Data Hasil Karakterisasi Asli dari Mesin	48
LAMPIRAN 3. Dokumentasi Penelitian	50



BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Di Indonesia, perhatian terhadap teknologi yang ramah lingkungan dan bahan yang efisien untuk baterai mulai meningkat, baik dari pemerintah maupun industri (Kementerian ESDM, 2021). Pemerintah juga sudah membuat kebijakan seperti Peta Jalan Riset dan Inovasi Nasional 2020–2045, untuk mendorong riset yang mendukung teknologi hijau dan ramah lingkungan. Dalam hal ini, pengembangan bahan skala nano seperti NiO dengan cara alami sangat sesuai untuk mendukung pengurangan dampak lingkungan dari proses industri (Kementerian Riset, 2020). Sejalan dengan kebijakan tersebut, penelitian mengenai material baterai berbasis nikel dalam bentuk nanopartikel melalui metode *green synthesis* menjadi sangat relevan untuk dikembangkan di Indonesia. (Sharma, 2021).

Green synthesis merupakan metode sintesis material berbasis pendekatan ekologis, yang menggunakan sumber alami seperti ekstrak tumbuhan sebagai agen reduktor dan penstabil dalam pembuatan nanopartikel. Pendekatan ini terbukti lebih ramah lingkungan, hemat biaya, serta menghindari penggunaan bahan kimia berbahaya yang umum digunakan dalam metode konvensional (Salavati-Niasari dkk, 2021). Dalam konteks ini, pemanfaatan tanaman lokal yang mudah ditemukan dan memiliki kandungan bioaktif tinggi menjadi alternatif menjanjikan. Salah satunya adalah *A. marina*, yang telah diketahui memiliki senyawa fenolik, flavonoid, dan terpenoid, yang dapat bertindak sebagai agen reduksi dan penstabil dalam sintesis nanopartikel logam (Li dkk, 2021).

A. Marina bukan hanya banyak di Indonesia, tetapi juga telah digunakan secara tradisional dalam berbagai pengobatan herbal karena sifat antimikroba dan antioksidannya. Kandungan fitokimia pada daun ini memungkinkan terjadinya reduksi ion logam menjadi bentuk nanopartikel, serta membantu mengontrol morfologi dan distribusi ukuran partikel (Ahmed dan Ikram, 2022). Oleh karena itu, penggunaannya dalam sintesis nanopartikel NiO menjadi

suatu pendekatan yang tidak hanya ramah lingkungan, tetapi juga mendukung pemanfaatan sumber daya lokal secara optimal (Yadav dan Khan, 2021).

NiO merupakan salah satu bahan yang banyak diteliti untuk aplikasi dalam baterai karena sifat elektrokimia dan kestabilannya yang tinggi. NiO memiliki konduktivitas listrik yang baik dan ketahanan terhadap oksidasi, menjadikannya material yang ideal sebagai elektroda dalam baterai listrik (Zhang dkk, 2020). Dalam bentuk nanopartikel, luas permukaan NiO yang besar memungkinkan interaksi elektroda-elektrolit yang lebih efisien, yang pada gilirannya meningkatkan performa kapasitas dan efisiensi siklus baterai (Li dkk, 2021).

Namun, kualitas dan karakteristik nanopartikel NiO yang dihasilkan melalui metode *green synthesis* sangat dipengaruhi oleh proses optimasi selama sintesis. Faktor seperti suhu, waktu reaksi, serta komposisi ekstrak tumbuhan berperan penting dalam menentukan ukuran, morfologi, dan tingkat kristalinitas nanopartikel yang dihasilkan. Pemanfaatan ekstrak *A. marina* sebagai agen pereduksi dan penstabil alami telah dilaporkan efektif dalam menghasilkan nanopartikel yang seragam, stabil, dan berukuran kecil (Ikram, 2022). Senyawa bioaktif seperti flavonoid dan fenolik di dalam ekstrak tanaman ini mampu mempercepat proses reduksi ion logam serta mencegah aglomerasi partikel, sehingga meningkatkan stabilitas dan luas permukaan aktif material.

Kualitas struktur dan sifat elektrokimia dari nanopartikel NiO hasil optimasi tersebut berperan penting dalam meningkatkan performa elektroda baterai listrik. NiO yang memiliki morfologi halus dan ukuran partikel nanometer memungkinkan interaksi ion yang lebih cepat dan efisien antara elektroda dan elektrolit, sehingga menghasilkan kapasitas penyimpanan energi dan efisiensi siklus yang lebih tinggi (Yadav, 2021).

Dari latar belakang di atas, penulis tertarik untuk meneliti lebih lanjut tentang “Potensi Nano Partikel NiO - *Avicenna Marina* Melalui Metode *Green Synthesis* Sebagai Kandidat Material Elektroda.” Penulis yakin bahwa penggunaan bahan lokal seperti *A. Marina* yang mudah ditemukan di Indonesia

bisa mendukung pengembangan baterai yang ramah lingkungan dan sesuai dengan kebijakan nasional.

1.2 Rumusan Masalah

Dari latar belakang di atas, peneliti dapat mengambil rumusan masalah dalam penelitian ini adalah “bagaimana hasil dan karakterisasi dari nanopartikel NiO-*A.Marina* melalui metode *green synthesis* sebagai kandidat material elektroda ?”

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan penelitian yang ingin dicapai oleh mahasiswa adalah untuk menganalisis hasil dan karakterisasi dari nanopartikel NiO-*A.Marina* melalui metode *green synthesis* sebagai kandidat material elektroda.

1.4 Manfaat penelitian

a. Manfaat teoritis

1. Menambah pemahaman ilmiah mengenai pengaruh proses *green synthesis* menggunakan ekstrak *A. Marina* terhadap morfologi, ukuran partikel, kristalinitas, dan sifat elektrokimia nanopartikel NiO sebagai material elektroda baterai listrik.
2. Menjadi referensi akademik bagi penelitian lanjutan yang berkaitan dengan bahan elektroda berbasis nikel dan penggunaan tanaman lokal dalam teknologi energi terbarukan.
3. Memberikan kontribusi terhadap pengembangan ilmu pengetahuan di bidang nanoteknologi dan material fungsional, khususnya terkait dengan sintesis nanopartikel NiO menggunakan metode *green synthesis*.

b. Manfaat praktis

1. Memberikan alternatif metode sintesis elektroda baterai yang ramah lingkungan dan berpotensi dikembangkan di industri lokal.
2. Menunjukkan efisiensi penggunaan *A. Marina* sebagai bahan alami lokal dalam pembuatan material nano untuk energi terbarukan.

3. Memberi solusi tepat guna untuk limbah industri (tidak menghasilkan limbah berbahaya seperti metode konvensional).

1.5 Batasan Penelitian

- a. Sintesis menggunakan ekstrak *A. Marina* yang di ambil dari daerah Alue Naga, Kec. Syiah Kuala, Kota Banda Aceh.
- b. Karakterisasi material yang dilakukan difokuskan pada morfologi partikel menggunakan *Scanning Electron Microscope* (SEM), ukuran kristal dan tingkat kristalinitas menggunakan *X-Ray Diffraction* (XRD), serta evaluasi awal kinerja elektroda melalui pengujian voltametri. Karakterisasi lanjutan seperti analisis gugus fungsi *Fourier Transform Infrared Spectroscopy* (FTIR), luas permukaan spesifik *Brunauer-Emmet-Teller* (BET), dan *Electrochemical Impedance Spectroscopy* (EIS) untuk mengetahui sifat elektrokimia.



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Nanopartikel NiO

Nanopartikel NiO merupakan salah satu material berbasis logam oksida yang banyak diteliti karena memiliki sifat fisik dan kimia yang unik, termasuk konduktivitas listrik yang baik, stabilitas termal tinggi, serta sifat semikonduktor tipe p. Dalam skala nano, NiO menunjukkan aktivitas permukaan yang lebih tinggi dibandingkan bentuk bulk-nya, menjadikannya sangat potensial dalam berbagai aplikasi, seperti elektroda baterai, superkapasitor, fotokatalis, dan sensor gas (Patil dkk, 2023). Struktur kisi NiO yang sederhana dan kemampuan untuk berinteraksi dengan berbagai senyawa juga menjadikannya kandidat ideal dalam teknologi penyimpanan energi. Pada Gambar 2.1 di bawah ini merupakan contoh material nanopartikel nikel nitrat yang belum di larutkan atau masih dalam keadaan padatan.

Nikel nitrate hexahydrate dapat di buat dengan beberapa metode berdasarkan reaksi asam nitrat encer pada bubuk nikel, NiO atau nikel karbonat. Reaksinya eksotermik dan memerlukan pendinginan terkontrol selama produksi. Heksahidrat dapat didehidrasi menjadi garam anhidrat dengan perlakuan dengan asam nitrat berasap.



Gambar 2. 1 *Nickel (II) nitrate hexahydrate*
Sumber: Bakr et., al (2025).

1. Sifat Fisika:

Rumus Kimia : $\text{Ni}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$

Massa Molar : 2,91 g/mol

Bentuk	: Kristal Padat
Warna	: Hijau Kebiruan
Titik leleh	: 56 °C
Titik didih	: 137 °C
Densitas	: 2.05g/mL pada 25 °C
Titik nyala	: 137 °C
Suhu penyimpanan	: disimpan pada +5 °C sampai + 30 °C
Kelarutan	: 940g/l Specific Gravity :2.05
pH	: 5 (50g/l, H ₂ O, 20 °C
kelarutan dalam air	: 238.5 g/100 mL (20 °C)

2. Sifat Kimia:

- Sangat larut dalam air
- Bersifat higroskopis
- Stabil, pengoksidasi kuat, dan tidak kompatibel dengan agen pereduksi.

Metode sintesis nanopartikel NiO sangat memengaruhi ukuran, morfologi, dan sifat fungsionalnya. Beberapa pendekatan yang umum digunakan meliputi sol-gel, kopresipitasi, hidrotermal, dan yang terbaru adalah *green synthesis* menggunakan ekstrak tumbuhan sebagai agen pereduksi dan penstabil (Gharagozlou, 2021). Penggunaan pendekatan hijau tidak hanya mengurangi dampak lingkungan tetapi juga menghasilkan nanopartikel dengan kestabilan tinggi dan ukuran yang terkontrol. Faktor seperti pH, suhu, dan waktu reaksi dalam proses *green synthesis* terbukti memengaruhi karakteristik akhir nanopartikel NiO (Nasir, 2020).

Dalam aplikasi energi, khususnya sebagai material elektroda baterai lithium-ion dan baterai ion natrium, nanopartikel NiO memiliki keunggulan karena kapasitas teoritisnya yang tinggi dan kemampuan redoks yang baik. Namun, tantangan seperti konduktivitas intrinsik yang rendah dapat diatasi dengan penggabungan material karbon atau doping logam lain untuk meningkatkan performa elektrokimia (Wang, 2020). Studi terbaru juga menunjukkan bahwa modifikasi morfologi NiO menjadi bentuk *hollow sphere*, *nanorods*, atau *nanosheets* dapat meningkatkan luas permukaan aktif dan mempercepat transfer ion dalam aplikasi penyimpanan energi (Kumar, 2024).

Selain di bidang energi, nanopartikel NiO juga menjanjikan dalam bidang antibakteri, fotokatalis, dan sensor lingkungan. Dalam aplikasi fotokatalis, NiO menunjukkan aktivitas dalam degradasi zat warna organik dan polutan air di bawah cahaya tampak (Zubair, 2023). Sebagai material sensor, sensitivitas tinggi terhadap gas seperti H_2 , NH_3 , dan CO menunjukkan potensi besar NiO dalam monitoring kualitas udara (Zhao, 2021). Dengan kemajuan teknik karakterisasi dan rekayasa permukaan, eksplorasi lebih lanjut terhadap NiO dalam berbagai sektor diperkirakan akan terus berkembang.

2.2 *Green Synthesis*

Green synthesis atau sintesis hijau merupakan pendekatan ramah lingkungan dalam proses pembuatan material, khususnya nanopartikel, dengan memanfaatkan bahan-bahan alami seperti ekstrak tumbuhan, mikroorganisme, atau biomolekul. Metode ini dikembangkan sebagai alternatif terhadap proses sintesis konvensional yang umumnya menggunakan bahan kimia berbahaya dan membutuhkan kondisi ekstrem seperti suhu tinggi atau tekanan tinggi. *Green synthesis* menekankan prinsip kimia hijau yang meliputi efisiensi energi, pengurangan limbah, dan penggunaan zat tidak toksik untuk menjaga keberlanjutan lingkungan (Kharissova dkk, 2020).

Dalam konteks sintesis nanopartikel logam oksida seperti NiO, metode *green synthesis* memberikan keuntungan signifikan, baik dari segi ekonomi maupun ekologi. Ekstrak tumbuhan yang mengandung senyawa bioaktif seperti flavonoid, alkaloid, dan tanin mampu berperan sebagai agen reduksi dan penstabil dalam pembentukan nanopartikel. Penggunaan bahan alami ini tidak hanya mempercepat proses sintesis tetapi juga meningkatkan kestabilan dan sifat fungsional dari nanopartikel yang dihasilkan (Sundrarajan, 2021). Selain itu, *green synthesis* memungkinkan kontrol terhadap ukuran dan morfologi nanopartikel melalui variasi kondisi seperti pH, suhu, dan konsentrasi ekstrak.

Pengembangan *green synthesis* juga telah menunjukkan potensi besar dalam penerapan teknologi berkelanjutan, terutama dalam bidang energi, lingkungan, dan biomedis. Dalam bidang energi, nanopartikel hasil *green*

synthesis telah digunakan sebagai material aktif pada superkapasitor dan elektroda baterai karena sifat elektrokimia yang unggul. Di sisi lain, pendekatan ini juga membuka peluang pengembangan teknologi ramah lingkungan di negara berkembang, karena memanfaatkan sumber daya lokal yang murah dan mudah diakses (Yulizar, 2023).

2.3 Bakau Api-Api (*Avicenna Marina*)

Avicennia marina merupakan salah satu spesies mangrove dominan yang tersebar luas di kawasan pesisir tropis dan subtropis, termasuk di Indonesia. Tanaman ini memiliki toleransi tinggi terhadap salinitas dan dapat tumbuh pada substrat berlumpur hingga berpasir. Sistem akar napas (*pneumatofor*) yang khas membantu pertukaran gas di lingkungan anaerob. Secara ekologis, *A. marina* berperan penting dalam menjaga kestabilan ekosistem pesisir, mencegah abrasi pantai, serta menjadi habitat bagi berbagai organisme laut dan darat (Alongi, 2020). Untuk contoh tanaman *A. Marina* dapat di lihat pada Gambar 2.3 di bawah ini. Selain itu, *A. Marina* juga memiliki kemampuan fitoremediasi tinggi karena mampu menyerap logam berat dari sedimen melalui akar dan jaringan daunnya (Rahman et al., 2021).



Gambar 2. 2 Bakau Api-Api (*Avicenna Marina*)
sumber: Zamani et., al (2024)

Daun dan bagian lain dari *A. marina* mengandung berbagai senyawa bioaktif seperti flavonoid, fenolik, terpenoid, tanin, dan alkaloid, yang berperan dalam aktivitas biologis seperti antioksidan, antibakteri, dan anti inflamasi

(Ravikumar, 2022). Kandungan fitokimia ini juga menjadikan *A. Marina* potensial digunakan sebagai agen reduksi alami dalam proses *green synthesis* nanopartikel logam oksida seperti NiO, ZnO, dan Ag. Dalam proses tersebut, senyawa fenolik dan flavonoid bertindak sebagai pereduksi ion logam menjadi nanopartikel, sedangkan senyawa terpenoid dan tanin berperan sebagai penstabil, sehingga menghasilkan partikel yang seragam dan ramah lingkungan (Ahmed, 2022). Pendekatan ini selaras dengan prinsip kimia hijau yang mengedepankan efisiensi energi dan pengurangan limbah berbahaya.

Selain aktivitas biologisnya, *A. marina* juga memiliki nilai ekonomi dan ekologis tinggi. Ekstrak daun dan kulit batangnya digunakan dalam pengobatan tradisional untuk mengatasi luka, infeksi kulit, serta gangguan pencernaan (Basyuni, 2019). Studi fitokimia menunjukkan bahwa ekstrak metanol daun *A. marina* memiliki aktivitas antioksidan kuat dengan nilai IC₅₀ yang sebanding dengan vitamin C (Khalil, 2020). Hal ini membuktikan bahwa spesies ini tidak hanya penting secara ekologi, tetapi juga bernilai tinggi dalam bidang farmasi dan bioteknologi. Pemanfaatannya sebagai sumber bahan aktif alami dapat mendukung pengembangan obat herbal dan bioproduk berkelanjutan.

Dalam konteks nanoteknologi, *A. marina* mulai banyak dimanfaatkan sebagai sumber biomaterial untuk sintesis hijau nanopartikel. Penelitian oleh (Li dkk, 2021), menunjukkan bahwa ekstrak *A. marina* efektif dalam menghasilkan nanopartikel logam oksida dengan ukuran partikel berkisar 20-50 nm dan kestabilan tinggi. Penggunaan ekstrak tanaman ini dalam sintesis NiO, misalnya, terbukti menghasilkan nanopartikel dengan morfologi terkontrol serta aktivitas elektrokimia yang baik untuk aplikasi elektroda baterai dan superkapasitor. Hal ini menunjukkan bahwa biomolekul dalam *A. Marina* berperan penting dalam pembentukan partikel nano yang seragam dan stabil tanpa perlu bahan kimia sintetis tambahan.

Lebih jauh, pemanfaatan *A. Marina* dalam sintesis nanopartikel logam seperti NiO juga mendukung konsep ekonomi sirkular dan keberlanjutan lingkungan. Karena tanaman ini mudah ditemukan di wilayah pesisir

Indonesia, penggunaan ekstraknya dapat menjadi alternatif ramah lingkungan bagi industri material maju dan energi terbarukan. Dengan memanfaatkan sumber daya lokal, penelitian berbasis *A. marina* tidak hanya berpotensi mengurangi ketergantungan pada bahan kimia impor, tetapi juga mendorong konservasi ekosistem mangrove melalui pendekatan nilai tambah bioteknologi (Yulizar, 2023). Oleh karena itu, *A. marina* merupakan kandidat ideal untuk dikembangkan dalam riset nanoteknologi hijau dan energi bersih.



BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Metode Penelitian

Penelitian ini merupakan penelitian eksperimental laboratorium yang bertujuan untuk sintesis nanopartikel NiO dengan metode *green synthesis* menggunakan ekstrak *A. Marina* dan mengkaji performa elektroda baterai berbasis NiO.

3.2 Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian akan dilaksanakan di Laboratorium Biokimia Multifungsi Universitas Islam Negeri Ar-Raniry Banda Aceh dan Laboratorium lainnya jika dibutuhkan. Penelitian dilakukan dengan metode *green synthesis* menggunakan ekstrak *A. Marina* yang diambil dari daerah Alue Naga, Kec. Syiah Kuala, Kota Banda Aceh. Pada koordinat Lat 5.587105° Lon 95.351665°. Penelitian ini berlangsung selama 3 bulan mulai dari bulan September 2025 hingga November 2025.



Gambar 3. 1 Titik Koordinat Pengambilan Sampel *A. Marina*

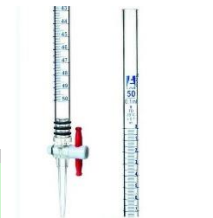
3.3 Alat dan Bahan

Tabel 3. 1 Alat dan Bahan

No	Alat dan Bahan	Gambar	Fungsi
1.	Hot Plate		Digunakan untuk mencampurkan atau mengaduk larutan sambil dipanaskan.
2.	Oven (<i>Biomed</i>)		Di gunakan untuk memanaskan mengeringkan sampel.
3.	Timbangan Analitik (<i>Bel Engineering</i>)		Digunakan untuk menimbang bahan dengan massa yang sangat kecil.
4.	Furnace		Digunakan untuk sintesis dan kalsinasi bahan.
5.	Erlenmeyer (<i>pyrex</i>)		Digunakan sebagai wadah untuk menampung, mengukur, mencampur, dan mereaksikan bahan kimia, terutama cairan.
6.	Magnetik Stirrer		Digunakan untuk mengaduk atau mencampur larutan hingga homogen.

7.	Mortar dan Alu		Mortar (lesung) berfungsi sebagai wadah, sedangkan alu (batang penumbuk) digunakan untuk menumbuk atau menghaluskan bahan.
8.	pH Meter		Digunakan untuk mengukur tingkat keasaman atau kebasaan (pH) suatu larutan.
9.	Ayakan 100 Mesh		Digunakan untuk memisahkan partikel berdasarkan ukuran.
10.	Termometer		Digunakan untuk mengontrol dan memantau suhu dalam reaksi kimia, memastikan reaksi berjalan dengan tepat.
11.	<i>A. Marina</i>		Digunakan sebagai agen reduksi dan penstabil dalam sintesis nanopartikel.
12.	Nikel Nitrat (CDH)		Digunakan sebagai bahan katoda dalam baterai.

13.	Larutan NaOH (CDH)		Digunakan dalam proses sintesis sebagai basa kuat untuk berbagai tujuan, seperti pengaturan pH.
14.	Aquades		Digunakan untuk mencuci alat-alat, mempersiapkan larutan, dan sebagai pelarut dalam eksperimen.
15.	Gelas Kimia (pyrex)		Digunakan sebagai tempat mereaksikan bahan, tempat melarutkan bahan dan tempat memanaskan bahan
16.	Gelas Ukur (pyrex)		Digunakan sebagai alat untuk mengukur volume cairan.
17.	Corong (pyrex)		Digunakan untuk memindahkan cairan dari satu wadah ke wadah lain dengan lebih presisi dan mencegah tumpahan.
18.	Kertas Saring		Digunakan memisahkan zat padat dari cairan,

			menghilangkan pengotor, dan memurnikan zat dalam proses penyaringan.
19.	Buret (<i>pyrex</i>)		Digunakan untuk mengukur dan memindahkan cairan dengan presisi, terutama dalam proses titrasi.

3.4 Prosedur Penelitian

3.4.1 Preparasi Sampel

Proses preparasi *A. Marina* sebagai bahan dasar dalam sintesis nanopartikel NiO dilakukan dengan melalui beberapa tahapan, di antaranya yaitu pembersihan, pengeringan dan ekstraksi. Berikut di jelaskan tahapan-tahapan tersebut:

A. Pengumpulan Sampel

Pembuatan ekstrak *A. Marina* diawali dengan pengumpulan daun segar dari pohon yang sehat. Setelah itu, daun di pisahkan dari tangkainya dan di cacah menggunakan pisau atau gunting guna untuk memudahkan proses pencucian dan pengeringan.

B. Pencucian Sampel

A. Marina kemudian dicuci bersih menggunakan air mengalir untuk menghilangkan kotoran, debu, dan kontaminan lainnya. Setelah itu, daun dibilas kembali dengan air suling (akuades) guna menjaga kemurnian bahan dan menghindari kontaminasi mikroorganisme.

C. Pengeringan Sampel

Setelah di cuci bersih, langkah selanjutnya adalah proses pengeringan, yang dilakukan dengan cara mengangin-anginkan daun di tempat teduh dan bersirkulasi udara baik selama beberapa hari, atau

dengan menggunakan oven pada suhu rendah sekitar 60 °C hingga daun benar-benar kering.

D. Penghalusan/Penggilingan

Setelah kering, daun digiling menjadi serbuk halus menggunakan blender, kemudian serbuk di ayak menggunakan ayakan 100 mesh. Serbuk yang dihasilkan ditimbang sebanyak 120 gram dan dibagi rata ke dalam tiga plastik bersih, masing-masing berisi 40 gram, untuk memudahkan proses ekstraksi selanjutnya dengan variasi kondisi atau pengulangan.

3.4.2 Ekstraksi

Untuk proses ekstraksi, sebanyak 40 gram serbuk daun dari satu plastik dimasukkan ke dalam gelas beaker, lalu ditambahkan 1 L akuades. Campuran tersebut kemudian dipanaskan pada suhu sekitar 65°C selama 3 jam sambil terus diaduk menggunakan *hot plate stirrer* agar senyawa aktif dalam daun larut sempurna ke dalam air. Setelah proses perebusan selesai, larutan didinginkan hingga mencapai suhu ruang, kemudian disaring menggunakan kain kasa untuk memisahkan ampas daun dari filtrat. Filtrat inilah yang merupakan ekstrak *A. Marina* yang akan digunakan dalam proses sintesis nanopartikel. Prosedur ini diulang untuk dua sampel serbuk lainnya dari plastik kedua dan ketiga, sehingga diperoleh tiga batch ekstrak yang dapat digunakan untuk pengujian lebih lanjut.



Gambar 3. 2 Tahapan pengolahan sampel *A. Marina* untuk analisis lanjutan

3.4.3 Sintesis Nanopartikel NiO

Nikel sintesis dilakukan dengan menggunakan logam nikel nitrat yang berbentuk kristal dengan konsentrasi 0,1 M (2,91 g) yang dilarutkan dalam 100 mL air deionisasi (DI Water), dan diaduk hingga larutan logam menjadi warna hijau dan homogen. Kemudian larutan logam sebanyak 100 mL dimasukkan ke dalam larutan ekstrak *A. Marina* 100 mL dengan cara ditetes menggunakan buret sambil diaduk menggunakan magnetic stirrer pada hotplate dengan kecepatan 750 rpm pada temperatur 60°C sampai terjadinya perubahan warna pada larutan. Larutan ekstrak *A. Marina* yang telah ditambahkan larutan logam nikel nitrat hexahidrat, disesuaikan nilai pH menjadi 11 menggunakan larutan NaOH serta diaduk selama 30 menit menggunakan *magnetic stirrer*. Selanjutnya larutan sintesis di saring menggunakan kertas saring jepang untuk menghasilkan endapan, Endapan inilah yang kemudian disaring (filtrasi) untuk memisahkannya dari larutan sisa yang masih mengandung pelarut, ion-ion yang tidak bereaksi, serta sisa senyawa organik ekstrak. Setelah proses penyaringan, endapan $\text{Ni}(\text{OH})_2$ dicuci dengan aquadest atau etanol untuk menghilangkan pengotor, kemudian dikeringkan di dioven selama 24 jam pada temperatur 60°C. NiO baru terbentuk setelah endapan $\text{Ni}(\text{OH})_2$ tersebut dikalsinasi pada temperatur 500°C dan digerus sampai melewati ayakan 200 mesh (Uddin dkk., 2021).



Gambar 3. 3 Proses Sintesis NiO

3.4.4 Karakterisasi Nanopartikel

Karakterisasi terhadap nanopartikel NiO hasil sintesis dilakukan untuk mengetahui gugus fungsi, struktur kristal, morfologi, ukuran pori serta sifat elektrokimianya. Tahapan pertama yang dilakukan untuk mengetahui gugus fungsi yang berinteraksi selama proses sintesis, dilakukan *Fourier Transform Infrared Spectroscopy* (FTIR). Sampel dikeringkan, dicampur dengan serbuk KBr, lalu dipres menjadi pelet dan dianalisis pada rentang bilangan gelombang 4000–400 cm^{-1} . Hasil spektrum FTIR membantu mengidentifikasi gugus fungsional dari senyawa organik dalam ekstrak daun yang mungkin masih teradsorpsi pada permukaan partikel, seperti gugus –OH, C=O, atau Ni–O.

X-Ray Diffraction (XRD) untuk menentukan struktur kristal dan ukuran kristalit nanopartikel. Sampel serbuk NiO ditempatkan pada holder XRD dan dianalisis dalam rentang sudut 2θ antara 10° hingga 80° . Pola difraksi yang diperoleh kemudian dibandingkan dengan data standar JCPDS (*Joint Committee on Powder Diffraction Standards*) untuk mengidentifikasi fase kristal dan tingkat kemurniannya. Selanjutnya, *Scanning Electron Microscopy* (SEM) digunakan untuk mengamati morfologi permukaan dan bentuk partikel. Sebelum dianalisis, serbuk sampel dilapisi dengan lapisan konduktif tipis (biasanya emas atau karbon) untuk meningkatkan konduktivitas permukaan saat pemindaian (Alshatwi, 2021).

Selain analisis gugus fungsional, struktur kristal, dan morfologi, karakterisasi lanjutan dilakukan menggunakan teknik BET untuk mengetahui luas permukaan spesifik serta sifat porositas nanopartikel NiO. Parameter ini sangat penting karena luas permukaan yang besar dan distribusi pori yang baik akan meningkatkan area kontak antara elektroda dan elektrolit, sehingga memperbaiki proses transfer ion pada aplikasi baterai. Melalui analisis isotherm adsorpsi–desorpsi gas nitrogen, dapat ditentukan tipe pori material (mikropori, mesopori, atau makropori) serta volume dan diameter porinya. Nanopartikel NiO hasil green synthesis umumnya menunjukkan karakter mesopori, yang terbentuk akibat peran

senyawa bioaktif daun *A. Marina* sebagai templating agent selama proses sintesis. Hasil BET ini menjadi dasar untuk memahami hubungan antara struktur pori dan performa elektrokimia material.

Karakterisasi struktur dan pori, dilakukan juga analisis EIS guna mengevaluasi sifat elektrokimia nanopartikel NiO sebagai bahan elektroda. Pengujian ini menghasilkan diagram Nyquist yang memberikan informasi mengenai resistansi larutan (R_s), resistansi transfer muatan (R_{ct}), kapasitansi lapisan ganda (C_{dl}), serta hambatan difusi ion (Warburg). Nilai R_{ct} yang rendah menunjukkan bahwa material memiliki kemampuan transfer elektron dan ion yang lebih baik, yang erat kaitannya dengan luas permukaan dan morfologi hasil pengukuran sebelumnya. Dengan demikian, EIS berfungsi sebagai penghubung antara data struktural (XRD, FTIR), morfologi (SEM), dan porositas (BET) terhadap kinerja elektrokimia NiO pada aplikasi baterai.

3.5 Analisis Data

3.5.1 FTIR (*Fourier Transform Infrared Spectroscopy*)

Analisis FTIR digunakan untuk mengidentifikasi gugus fungsi kimia pada permukaan nanopartikel NiO yang disintesis menggunakan metode *green synthesis* berbasis ekstrak *A. Marina*. Pada spektrum FTIR, pita serapan lebar yang muncul di sekitar bilangan gelombang 3400-3500 cm^{-1} menandakan keberadaan gugus hidroksil (-OH), yang berasal dari air teradsorpsi atau senyawa fenolik dalam ekstrak *A. Marina*. Selanjutnya, pita pada sekitar 1620-1650 cm^{-1} mengindikasikan getaran lentur -OH dari molekul air atau keberadaan gugus karbonil (C=O) dari biomolekul seperti flavonoid yang terserap pada permukaan partikel. Pita lainnya yang muncul pada sekitar 1380 cm^{-1} diasosiasikan dengan getaran lentur C-H atau C-N yang juga menunjukkan sisa biomolekul organik dari bahan tanaman. Yang paling penting, adanya pita serapan kuat pada bilangan gelombang sekitar 470-520 cm^{-1} merupakan karakteristik khas dari getaran ikatan logam-oksigen (Ni-O), yang mengonfirmasi terbentuknya struktur kristalin dari NiO. Kehadiran gugus-gugus organik

ini juga menjadi bukti bahwa senyawa bioaktif dari ekstrak daun berperan sebagai agen pereduksi dan penstabil selama proses *green synthesis*.

3.5.2 XRD (*X-Ray Diffraction*)

XRD adalah teknik karakterisasi struktur kristal yang digunakan untuk mengidentifikasi fase kristal, menghitung ukuran kristalit, parameter kisi, serta tingkat kristalinitas material. Dalam konteks penelitian ini (nanopartikel NiO dari *A. Marina*), XRD digunakan untuk mengetahui fase kristal NiO yang terbentuk, menghitung ukuran kristalit menggunakan persamaan Debye-Scherrer, dan membandingkan posisi puncak difraksi dengan standar JCPDS (*Joint Committee on Powder Diffraction Standards*). Berikut data penting dari JCPDS Card No. 47-1049 untuk NiO seperti pada tabel 3.2 berikut:

Tabel 3. 2 Data XRD magnetit JCPDS No. 47-1049

No	2θ (°)	d-spacing (Å)	Intensitas Relatif (%)	Miller Indeks (hkl)
1.	37.26	2.411	100	(111)
2.	43.29	2.087	56	(200)
3.	62.86	1.478	33	(220)
4.	75.40	1.259	18	(311)
5.	79.36	1.206	12	(222)

Ukuran kristalit (D) dapat dihitung menggunakan persamaan Debye-Scherrer:

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

Dengan :

D = ukuran kristalit (nm)

K = konstanta Scherrer (biasanya 0.9)

λ = panjang gelombang sinar-X (Cu-K α : 1.5406 Å)

β = lebar penuh pada separuh maksimum (FWHM) dalam radian

θ = sudut Bragg (dalam radian, yaitu $\frac{1}{2}$ dari 2 θ)

3.5.3 SEM (*Scanning Electron Microscopy*)

Analisis SEM digunakan untuk mengamati morfologi permukaan dan ukuran partikel dari nanopartikel NiO. Hasil pencitraan SEM pada sampel NiO yang disintesis menggunakan ekstrak *A. Marina* menunjukkan bentuk partikel yang tidak beraturan namun seragam, dengan ukuran partikel umumnya berada dalam rentang nanometer (<100 nm). Permukaan partikel tampak relatif halus dan mengalami sedikit aglomerasi, yang umum terjadi pada nanopartikel akibat gaya tarik antarmolekul. Morfologi tersebut dipengaruhi oleh kondisi sintesis seperti pH, suhu, dan konsentrasi ekstrak tumbuhan. Selain itu, analisis SEM memungkinkan estimasi distribusi ukuran partikel secara kualitatif, yang dapat dikonfirmasi lebih lanjut dengan teknik lain seperti DLS (*Dynamic Light Scattering*).

3.5.4 BET (*Brunauer–Emmett–Teller*)

Analisis BET digunakan untuk menentukan luas permukaan spesifik, volume pori, dan ukuran pori dari nanopartikel NiO hasil sintesis. Teknik ini sangat penting dalam penelitian material elektroda baterai karena luas permukaan yang besar akan meningkatkan area kontak antara elektroda dan elektrolit, sehingga memperbaiki kinerja perpindahan ion dan reaksi redoks.

Pada analisis BET, adsorpsi-desorpsi gas nitrogen dilakukan terhadap sampel untuk memperoleh isotherm adsorpsi. Pola isotherm yang muncul dapat menunjukkan tipe porositas material, seperti mikropori (<2 nm), mesopori (2–50 nm), atau makropori (>50 nm). Nanopartikel NiO yang disintesis melalui metode *green synthesis* biasanya menunjukkan karakter mesopori akibat pengaruh senyawa bioaktif daun *A. Marina* yang bertindak sebagai templating agent selama pembentukan partikel.

Luas permukaan spesifik yang lebih tinggi menandakan ukuran partikel yang lebih kecil serta distribusi pori yang baik, sehingga mendukung peningkatan kapasitas spesifik pada aplikasi baterai. Data BET juga digunakan untuk membandingkan kualitas nanopartikel dari

variasi pH atau suhu reaksi yang berbeda, sehingga dapat diketahui kondisi sintesis terbaik untuk menghasilkan NiO dengan luas permukaan optimal sebagai material elektroda.

3.5.5 EIS (*Electrochemical Impedance Spectroscopy*)

Analisis EIS dilakukan untuk mengevaluasi sifat elektrokimia nanopartikel NiO sebagai bahan elektroda baterai. Teknik ini digunakan untuk mengukur resistansi dan kapasitansi sistem elektroda-elektrolit dengan memplot hasil pengukuran dalam bentuk diagram Nyquist, yang menampilkan hubungan antara impedansi nyata (Z') dan impedansi imajiner (Z''). Dari grafik Nyquist, dapat diperoleh beberapa parameter penting seperti:

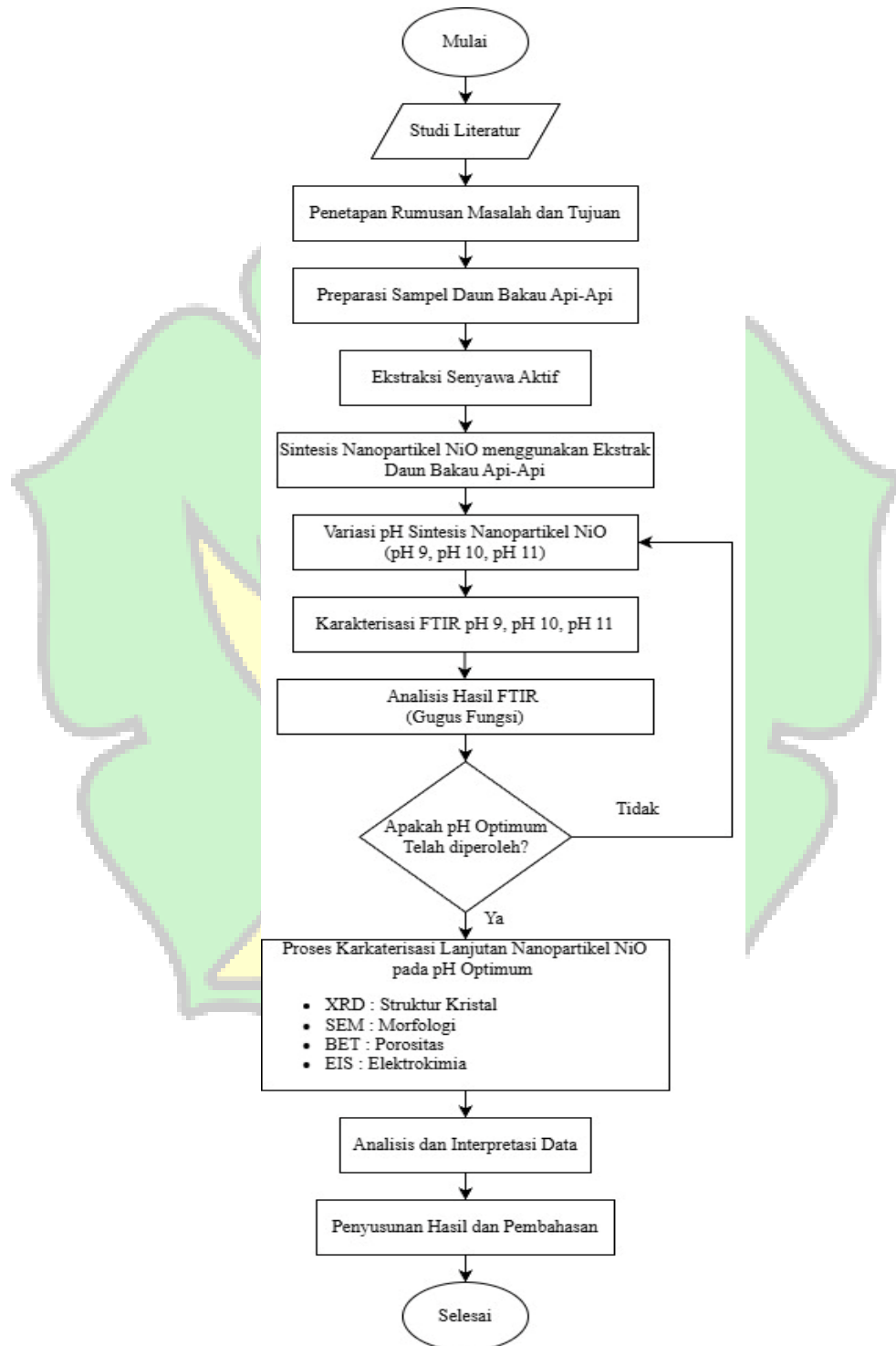
- R_s (resistansi larutan), yang menunjukkan hambatan elektrolit terhadap aliran ion.
- R_{ct} (resistansi transfer muatan), yang menggambarkan kemudahan perpindahan elektron antara permukaan elektroda dan elektrolit.
- C_{dl} (kapasitansi lapisan ganda), yang berhubungan dengan luas permukaan aktif elektroda.
- W (*Warburg impedance*) yang menunjukkan difusi ion dalam elektroda.

Nilai R_{ct} yang lebih kecil mengindikasikan kemampuan konduktivitas dan aktivitas elektrokimia yang lebih baik dari material elektroda. Dengan demikian, melalui analisis EIS dapat ditentukan kinerja elektrokimia dan efisiensi konduktivitas ionik dari nanopartikel NiO hasil variasi pH yang berbeda.

Data dari hasil EIS kemudian akan dibandingkan dengan hasil karakterisasi lainnya untuk menentukan hubungan antara morfologi, ukuran partikel, serta struktur kristal terhadap performa elektrokimia material. Hasil analisis ini akan menjadi dasar untuk mengevaluasi potensi penggunaan NiO hasil green synthesis sebagai material elektroda baterai yang efisien dan ramah lingkungan.

3.6 Flowchart Penelitian

Alur penelitian ini di mulai dari studi literatur hingga penyusunan hasil dan pembahasan. Berikut flowchart penelitian yang menggambarkan tahapan kerja secara sistematis.



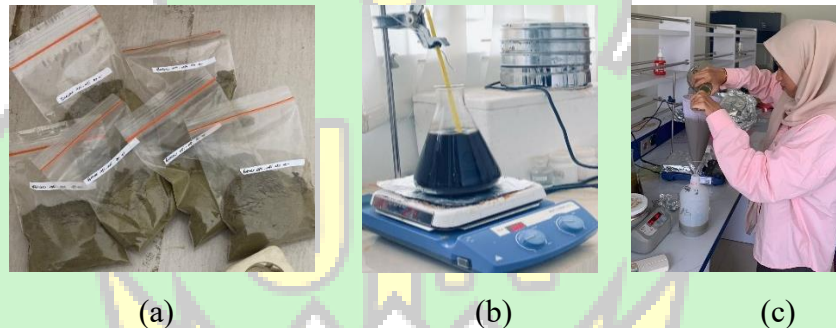
Gambar 3. 4 Diagram Alir Penelitian

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Sintesis Nanopartikel NiO

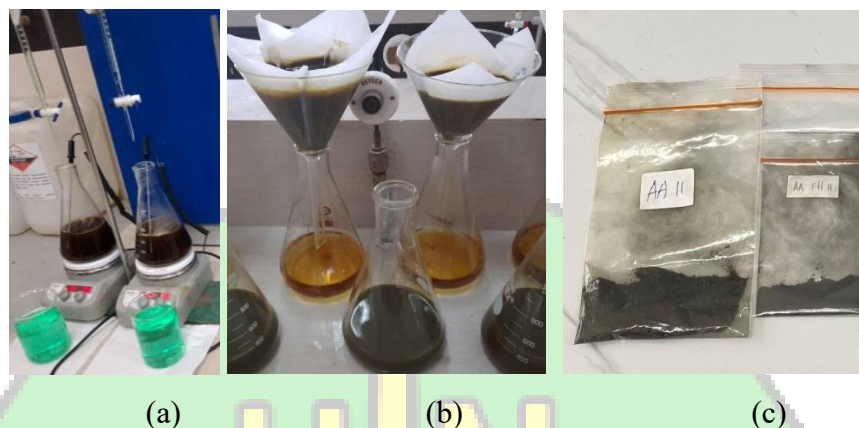
Proses sintesis nanopartikel NiO dilakukan menggunakan metode *green synthesis* dengan memanfaatkan ekstrak daun *A. marina* sebagai agen pereduksi dan penstabil alami. Ekstrak diperoleh dengan cara memanaskan serbuk daun *A. Marina* sebanyak 40 gram dalam 1 liter akuades pada suhu 65 °C selama 3 jam sambil diaduk menggunakan *hot plate stirrer*. Setelah proses pemanasan selesai, larutan disaring dan filtrat hasil penyaringan digunakan sebagai larutan reduktor dalam pembentukan nanopartikel NiO.



Gambar 4. 1 (a). Serbuk *A. Marina* (b) Proses Ekstraksi (c) Penyaringan

Larutan prekursor NiO dengan konsentrasi 0,1 M dicampur dengan ekstrak *A. Marina* dalam perbandingan 1:1, kemudian diaduk menggunakan *magnetic stirrer* pada suhu 60°C dengan pH diatur hingga 11 menggunakan NaOH. Penambahan NaOH dalam sintesis nanopartikel NiO menggunakan metode *green synthesis* memiliki peran yang sangat penting, yaitu untuk menciptakan kondisi basa dan memicu pembentukan fase antara Ni(OH)₂. Secara lebih rinci, NaOH berfungsi sebagai sumber ion hidroksida (OH⁻) yang bereaksi dengan ion Ni²⁺ dalam larutan sehingga terbentuk endapan nikel hidroksida sesuai reaksi $\text{Ni}^{2+} + 2\text{OH}^- \rightarrow \text{Ni(OH)}_2$. Pembentukan Ni(OH)₂ ini merupakan tahap krusial karena Ni(OH)₂ bertindak sebagai prekursor langsung yang selanjutnya akan dikonversi menjadi NiO melalui proses kalsinasi. Selain itu, kondisi basa yang dihasilkan oleh penambahan NaOH juga membantu meningkatkan laju nukleasi, mengontrol pertumbuhan partikel, serta mendukung peran senyawa bioaktif dari ekstrak tanaman sebagai agen penstabil, sehingga nanopartikel NiO yang dihasilkan

memiliki ukuran yang lebih seragam dan stabil. Perubahan warna larutan dari hijau menjadi coklat kehitaman menandakan terbentuknya nanopartikel NiO. Endapan yang terbentuk disentrifugasi dan dikeringkan dalam oven pada suhu 60 °C, kemudian dikalsinasi pada suhu 500 °C selama 3 jam hingga diperoleh serbuk NiO berwarna abu-abu kehitaman.



Gambar 4. 2 (a) Proses Sintesis (b) Penyaringan Endapan (c) Serbuk Nio

Dalam sintesis nanopartikel NiO, pembentukan material tidak terjadi secara langsung dari ion Ni^{2+} menjadi NiO. Pada tahap awal, larutan prekursor nikel yang mengandung ion Ni^{2+} berinteraksi dengan senyawa bioaktif dalam ekstrak tanaman, seperti flavonoid dan polifenol, yang memiliki gugus fungsi -OH dan -COOH. Senyawa-senyawa ini membentuk kompleks dengan ion Ni^{2+} serta berperan dalam proses reduksi awal dan pengendalian pertumbuhan partikel. Namun, pada kondisi reaksi berair dan suhu rendah, ion Ni^{2+} lebih stabil membentuk senyawa antara berupa nikel hidroksida, $\text{Ni}(\text{OH})_2$, akibat interaksi dengan ion hidroksida yang berasal dari ekstrak atau penambahan basa.

Selanjutnya, $\text{Ni}(\text{OH})_2$ yang terbentuk berfungsi sebagai fase antara (*intermediate phase*) dalam proses sintesis. Fase ini kemudian mengalami transformasi menjadi NiO melalui proses kalsinasi atau pemanasan pada suhu tertentu. Selama kalsinasi, $\text{Ni}(\text{OH})_2$ mengalami dehidrasi dengan melepaskan molekul air dan membentuk struktur kristal NiO. Pada tahap ini, senyawa bioaktif dari ekstrak *A. marina* juga berperan sebagai agen penstabil (*capping agent*) yang melapisi permukaan partikel, sehingga mencegah terjadinya aglomerasi dan membantu mengontrol ukuran serta

morfologi nanopartikel NiO yang dihasilkan. Dengan demikian, dalam metode *green synthesis*, pembentukan NiO berlangsung melalui tahapan pembentukan Ni(OH)₂ terlebih dahulu sebelum akhirnya dikonversi menjadi NiO yang stabil.

4.2 Hasil Karakterisasi Nanopartikel NiO

4.2.1 FTIR (*Fourier Transform Infrared Spectroscopy*)

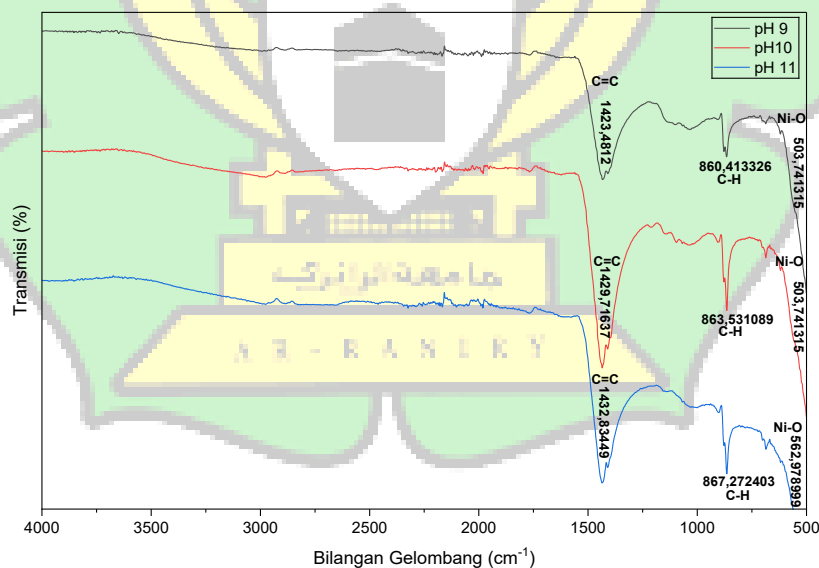
Berdasarkan grafik FTIR dengan pengikat *A. Marina* pada pH 9, 10, dan 11, spektrum yang dihasilkan tergolong baik dan layak untuk analisis, terutama dalam konteks *green synthesis* dan peran senyawa organik dari *A. Marina* sebagai pengikat (*capping/binding agent*). Secara umum, pada ketiga kondisi pH terlihat pola spektrum yang konsisten, dengan perbedaan intensitas dan ketajaman puncak yang mencerminkan pengaruh pH terhadap interaksi senyawa organik *A. Marina* dengan material anorganik (NiO). Puncak kuat di sekitar 1500-1600 cm⁻¹ yang diberi label C=C menunjukkan keberadaan gugus aromatik, yang berasal dari senyawa fenolik dan flavonoid dalam ekstrak *A. Marina*. Gugus ini berperan penting sebagai agen pereduksi dan penstabil pada proses sintesis.

Selanjutnya, puncak pada kisaran 860-880 cm⁻¹ yang diidentifikasi sebagai C-H bending aromatik memperkuat indikasi adanya struktur cincin aromatik dari biomolekul *A. Marina*. Intensitas puncak ini cenderung meningkat dan menjadi lebih jelas pada pH yang lebih tinggi, terutama pH 11, yang menandakan interaksi pengikatan yang lebih efektif antara senyawa organik dan permukaan partikel. Yang paling penting, kemunculan puncak tajam pada daerah 500-600 cm⁻¹ pada semua sampel menunjukkan adanya vibrasi NiO, yang merupakan ciri khas terbentuknya NiO. Pada pH 11, puncak NiO tampak paling jelas dan tajam, menandakan bahwa kondisi basa tinggi mendukung pembentukan struktur NiO yang lebih stabil dan terdefinisi dengan baik. sehingga grafik ini dapat dikategorikan bagus untuk sintesis dengan pengikat *A. Marina*

Pada hasil karakterisasi FTIR nanopartikel NiO, puncak serapan yang muncul tidak seluruhnya berasal dari ikatan Ni-O. Spektrum FTIR

umumnya menampilkan beberapa bilangan gelombang yang merepresentasikan berbagai gugus fungsi, baik yang berasal dari struktur NiO maupun dari sisa senyawa organik ekstrak tanaman yang berperan sebagai capping agent. Ikatan Ni-O secara khas muncul pada daerah bilangan gelombang rendah, umumnya berada pada kisaran 400-600 cm^{-1} , yang menandakan terbentuknya struktur NiO. Puncak inilah yang menjadi bukti utama keberadaan NiO pada sampel.

Sementara itu, puncak serapan pada bilangan gelombang yang lebih tinggi, seperti sekitar 3200-3500 cm^{-1} menunjukkan getaran regangan O-H, yang dapat berasal dari gugus hidroksil atau sisa air terikat. Puncak pada daerah 1600-1700 cm^{-1} biasanya berkaitan dengan getaran C=O atau H-O-H bending, sedangkan daerah 1000-1400 cm^{-1} berkaitan dengan getaran C-O atau C-N dari senyawa organik ekstrak tanaman. Puncak-puncak ini tidak menunjukkan NiO secara langsung, melainkan menandakan adanya senyawa organik yang masih melekat pada permukaan nanopartikel dan berfungsi sebagai penstabil.



Gambar 4. 3 Hasil Pengujian FTIR Untuk Variasi pH Pada Nanopartikel NiO

4.2.2 XRD (*X-Ray Diffraction*)

Berdasarkan grafik XRD yang diperoleh, pola difraksi menunjukkan beberapa puncak intensitas tinggi yang tajam pada rentang sudut 2θ sekitar 37° , 43° , 50° , 62° , 75° , dan 79° . Kehadiran puncak-puncak dengan intensitas yang kuat dan bentuk yang relatif sempit menandakan bahwa material memiliki derajat kristalinitas yang baik. Sampel yang digunakan merupakan NiO hasil *green synthesis* dengan ekstrak *A. Marina* pada pH 11, maka pola ini sangat konsisten dengan struktur kristal NiO fase kubik (*cubic rock salt*). pH basa tinggi seperti pH 11 biasanya menghasilkan partikel yang lebih kristalin karena laju presipitasi ion Ni^{2+} dan pembentukan $\text{Ni}(\text{OH})_2$ yang stabil sebelum proses kalsinasi, sehingga memunculkan puncak NiO yang jelas pada hasil XRD.

Puncak utama yang muncul di grafik berada sangat dekat dengan puncak khas NiO menurut JCPDS No. 47-1049, khususnya pada bidang (111) di sekitar 37° , bidang (200) di sekitar 43° , serta bidang (220) di sekitar 62° . Intensitas yang cukup tinggi pada puncak-puncak ini menunjukkan bahwa fase NiO terbentuk secara dominan tanpa adanya puncak pengotor signifikan seperti $\text{Ni}(\text{OH})_2$, Ni_2O_3 , atau logam Ni. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa grafik XRD ini bagus dan menunjukkan bahwa proses sintesis dengan pengikat organik dari ekstrak *A. Marina* pada pH 11 berhasil menghasilkan NiO berstruktur kristalin yang baik dan relatif murni.

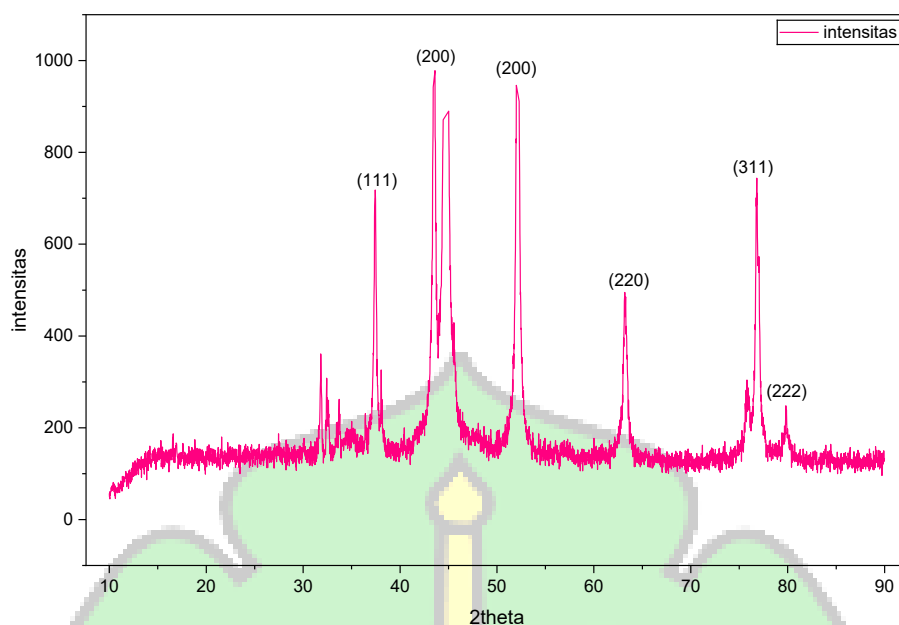
Munculnya beberapa puncak difraksi tambahan pada pola XRD selain puncak standar JCPDS NiO merupakan fenomena yang umum terjadi pada material hasil sintesis berbasis *green synthesis*. Hal ini disebabkan oleh penggunaan ekstrak *A. marina* yang mengandung berbagai senyawa bioaktif seperti flavonoid dan polifenol, yang meskipun berperan sebagai agen pereduksi dan penstabil, dapat meninggalkan residu atau membentuk fase minor selama proses sintesis. Selain itu, nanopartikel NiO yang dihasilkan berpotensi bersifat non-stoikiometri, yaitu adanya kekurangan atau kelebihan atom nikel maupun oksigen dalam kisi kristal akibat kondisi sintesis dan kalsinasi. Ketidakseimbangan stoikiometri ini dapat menimbulkan cacat kristal seperti vacancy dan defect, yang selanjutnya

memicu munculnya puncak difraksi tambahan atau pergeseran posisi puncak. Ukuran kristalit yang berada pada skala nanometer juga menyebabkan pelebaran puncak akibat efek ukuran partikel dan strain kisi. Interaksi biomolekul dari ekstrak *A. marina* dengan permukaan dan kisi kristal NiO turut berkontribusi terhadap terbentuknya tegangan kisi (*lattice strain*), sehingga pola difraksi yang dihasilkan tidak sepenuhnya identik dengan NiO murni standar JCPDS. Meskipun demikian, keberadaan puncak utama yang sesuai dengan JCPDS No. 47-1049 menunjukkan bahwa fase NiO tetap terbentuk secara dominan, sehingga puncak tambahan tersebut tidak menandakan kegagalan sintesis, melainkan karakter khas dari NiO non-stoikiometri hasil metode *green synthesis*.

Tabel 4. 1Data XRD

Bidang (khl)	2 θ (°)	FWHM (°)	Ukuran Kristal (nm)
(111)	37,25	0,25	33,6
(200)	43,29	0,23	35,8
(220)	62,87	0,29	31,4
(311)	75,41	0,30	29,8
(222)	79,41	0,32	28,6

Semua puncak difraksi pada grafik berada pada posisi yang sesuai dengan fase oksida nikel yang ditandai oleh bidang kristal (111), (200), (220), (311), dan (222). Tidak terlihat puncak tambahan pada sudut rendah sekitar 19-21° yang biasanya menunjukkan keberadaan Ni(OH)₂, maupun puncak lain yang mengindikasikan sisa prekursor atau fase asing. Oleh karena itu, dapat disimpulkan bahwa material hasil sintesis memiliki kemurnian fasa yang baik, dan proses kalsinasi telah berhasil mengonversi fase antara menjadi oksida nikel secara sempurna.



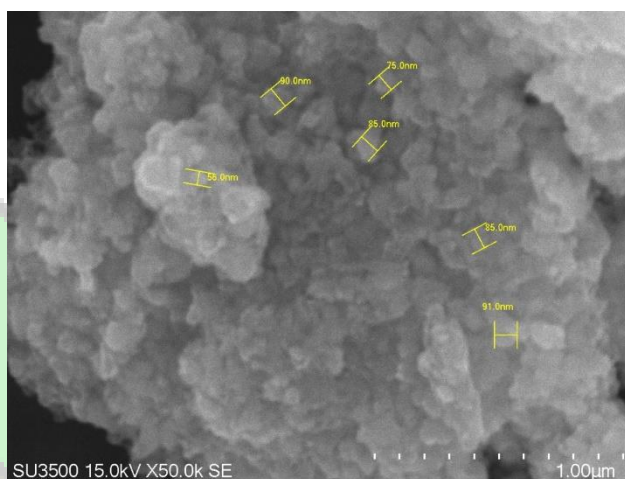
Gambar 4. 4 Hasil Pengujian XRD Untuk pH 11 Pada Nanopartikel NiO

4.2.3 SEM (*Scanning Electron Microscopy*)

Berdasarkan citra SEM yang dihasilkan, morfologi partikel menunjukkan bentuk yang cenderung agregat butiran halus yang saling beraglomerasi, dengan ukuran partikel terukur berada pada kisaran 35-91 nm. Kisaran ini menunjukkan bahwa material yang dihasilkan masih berada dalam kategori nanopartikel, meskipun aglomerasi terlihat cukup kuat. Aglomerasi semacam ini sangat umum terjadi pada nanopartikel hasil *green synthesis* terutama ketika menggunakan bahan pengikat alami seperti ekstrak *A. Marina* yang mengandung senyawa polifenol, flavonoid, dan protein. Senyawa-senyawa organik ini tidak hanya berfungsi sebagai reduktor dan stabilizer, tetapi juga dapat menyebabkan partikel cenderung saling menempel membentuk cluster.

Pada pH 11, kondisi basa kuat biasanya mempercepat pembentukan inti $\text{Ni}(\text{OH})_2$ dan mempengaruhi proses nukleasi sehingga menghasilkan partikel yang relatif kecil namun mudah beragregasi. Secara keseluruhan, citra SEM ini dapat dikatakan bagus, karena ukuran partikel masih termasuk nanometer dan bentuk agregat yang terbentuk masih wajar untuk sintesis

berbasis ekstrak tumbuhan. Selain itu, permukaan partikel tampak tidak terlalu kasar dan menunjukkan struktur yang cukup homogen, mengindikasikan proses sintesis berhasil. Meskipun terdapat aglomerasi, hal ini tidak mengurangi kualitas material secara signifikan dan masih sesuai dengan karakteristik NiO hasil *green synthesis* menggunakan pengikat alami *A. Marina* pada pH tinggi. Skala pengukuran yang di gunakan pada citra SEM di bawah ini yaitu 1.00 dengan satuan mikrometer (μm).



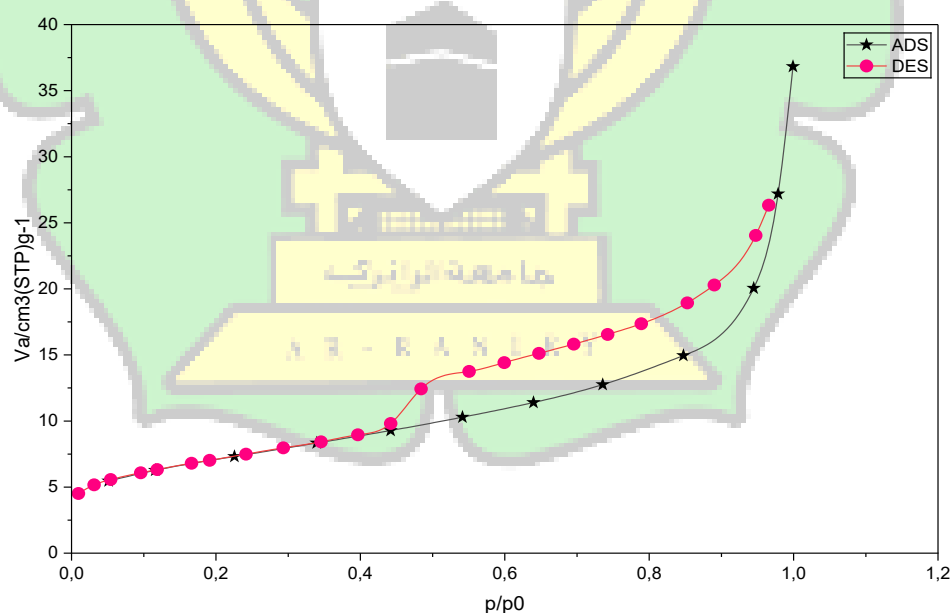
Gambar 4. 5 Hasil Pengujian SEM Untuk pH 11 Pada Nanopartikel NiO

4.2.4 BET (*Brunauer–Emmett–Teller*)

Grafik isoterm adsorpsi-desorpsi nitrogen yang dihasilkan menunjukkan kurva dengan bentuk yang menyerupai isoterm Tipe IV menurut klasifikasi IUPAC, yang umumnya mengindikasikan keberadaan struktur mesopori (ukuran pori 2-50 nm). Hal ini dapat dilihat dari adanya rentang linear pada p/p_0 sekitar 0,4-0,8 serta loop histeresis yang terbentuk antara kurva adsorpsi (ADS) dan desorpsi (DES). Loop histeresis ini menjadi ciri khas material berpori dengan struktur mesopori yang tidak sepenuhnya rigid sehingga terjadi perbedaan jalur masuk dan keluarnya molekul nitrogen. Pada p/p_0 tinggi mendekati 1, kurva menunjukkan peningkatan volume adsorpsi secara drastis, menandakan adanya kemungkinan pembentukan pore filling pada pori-pori meso yang lebih besar.

Ketika NiO disintesis menggunakan pengikat alami seperti ekstrak *A. Marina* pada pH 11, hasil isoterm seperti ini dapat dikatakan bagus, karena menunjukkan bahwa proses *green synthesis* tidak menutup pori material secara signifikan. Ekstrak *A. Marina* yang kaya polifenol dan senyawa organik memang dapat berperan sebagai agen pembentuk struktur, sehingga menghasilkan material dengan luas permukaan yang cukup besar dan distribusi pori yang cenderung mesopori. Dengan adanya mesopori ini, material NiO menjadi lebih potensial digunakan pada aplikasi seperti elektroda baterai, adsorben, atau katalis, karena pori-pori meso sangat membantu mobilitas ion dan molekul.

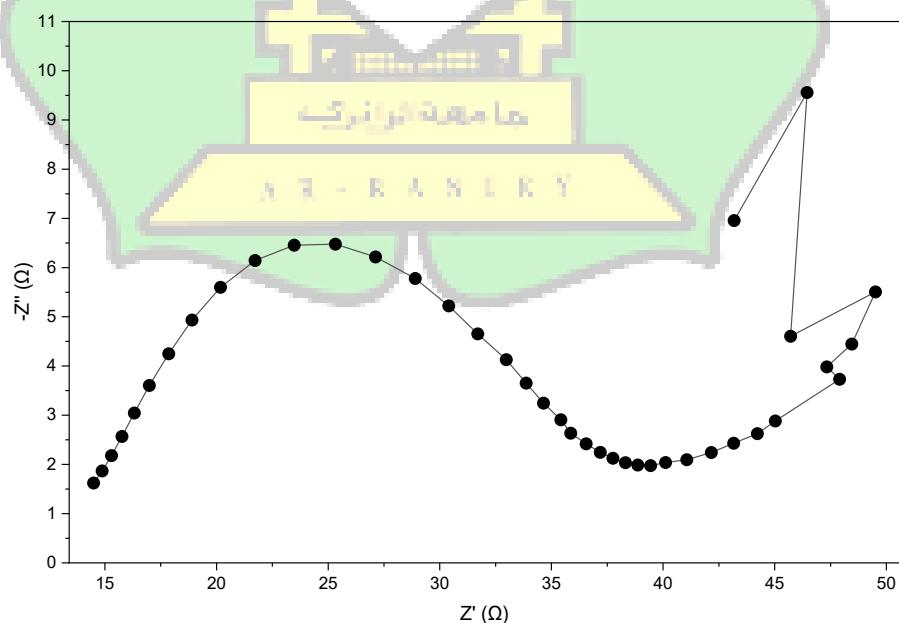
Secara keseluruhan, bentuk kurva isoterm BET ini mengindikasikan bahwa material NiO hasil sintesis dengan pengikat *A. Marina* pH 11 memiliki karakteristik porositas yang baik, struktur mesopori yang terdefinisi, dan sifat adsorpsi yang stabil, sehingga dapat dikatakan hasilnya sangat layak dan mendukung karakter material nanopartikel NiO yang diharapkan dari metode *green synthesis*.



Gambar 4. 6 Hasil Pengujian BET Untuk pH 11 Pada Nanopartikel NiO

4.2.5 EIS (*Electrochemical Impedance Spectroscopy*)

Hasil karakterisasi EIS pada sampel NiO yang disintesis menggunakan *A. marina* menunjukkan pola Nyquist plot yang terdiri dari satu semicircle yang terbentuk jelas pada rentang impedansi Z' sekitar 15-35 Ω . Semicircle yang terbentuk ini menggambarkan proses transfer muatan pada antarmuka elektroda-elektrolit, di mana nilai resistansi transfer muatan (R_{ct}) dihitung dari diameter semicircle sebesar $\pm 20 \Omega$. Nilai R_{ct} yang relatif rendah ini mengindikasikan bahwa penggunaan ekstrak *A. Marina* sebagai agen pengikat berhasil menghasilkan permukaan nanopartikel yang homogen dan konduktif, sehingga mempermudah proses perpindahan elektron. Pada EIS yang diukur adalah resistansi listrik. Selain itu, adanya ekor yang menanjak pada bagian kanan grafik menunjukkan respon Warburg yang berkaitan dengan difusi ion di dalam elektroda, menandakan bahwa material NiO memiliki karakteristik elektrokimia yang baik. Secara keseluruhan, bentuk kurva EIS yang diperoleh menunjukkan bahwa penggunaan ekstrak *A. Marina* sebagai *capping agent* mampu meningkatkan performa elektrokimia NiO, sehingga grafik ini dapat dikategorikan baik dan mendukung aplikasi material untuk sistem penyimpanan energi atau sensor elektrokimia.



Gambar 4. 7 Hasil Pengujian EIS Untuk pH 11 Pada Nanopartikel NiO

Berdasarkan dari seluruh pengujian yang di lakukan menggunakan metode *green synthesis* nanopartikel, dapat di rangkumkan pada tabel berikut:

Tabel 4. 2Rangkuman Hasil Karakterisasi Nanopartikel NiO

Teknik Karakterisasi	Kondisi pH	Parameter Utama yang Diamati	Hasil Karakterisasi	Informasi Material yang Diperoleh
FTIR	pH 9,10,11	Bilangan gelombang (cm^{-1}), gugus fungsi	Puncak -OH ($\sim 3400 \text{ cm}^{-1}$), C=O ($\sim 1630 \text{ cm}^{-1}$), C-O ($\sim 1100 \text{ cm}^{-1}$), dan Ni-O ($\sim 470\text{--}520 \text{ cm}^{-1}$); puncak Ni-O paling jelas pada pH 11	Mengonfirmasi terbentuknya NiO serta peran senyawa bioaktif ekstrak <i>A. Marina</i> sebagai agen pereduksi dan penstabil; pH 11 menghasilkan fase NiO paling dominan
XRD	pH 11	Sudut 2θ , indeks Miller (hkl), ukuran kristalit	Puncak (111), (200), (220), (311), dan (222) sesuai JCPDS No. 47-1049; struktur kubik NiO dengan kristalinitas tinggi	Menunjukkan fase NiO kristalin murni; kondisi pH basa tinggi mendukung pembentukan kristal yang lebih baik
SEM	pH 11	Morfologi permukaan, ukuran partikel	Partikel berbentuk agregat butiran halus dengan ukuran 35-91 nm	Menunjukkan nanopartikel NiO berukuran nano dengan aglomerasi ringan akibat penggunaan capping agent alami
BET	pH 11	Luas permukaan spesifik, volume	Isoterm Tipe IV dengan hysteresis	Menandakan porositas dan luas permukaan yang baik

		pori, ukuran pori	loop; struktur mesopori (2-50 nm)	untuk aplikasi elektroda baterai
EIS	pH 11	Rs, Rct, Cdl, impedansi Warburg	Nilai Rct rendah ($\pm 20 \Omega$) dengan satu semicircle jelas pada plot Nyquist	Menunjukkan kemampuan transfer muatan dan konduktivitas elektrokimia yang baik sebagai material elektroda

4.3 Pembahasan

Pembahasan pada penelitian ini difokuskan pada analisis hasil sintesis dan karakterisasi nanopartikel NiO yang dilakukan menggunakan metode *green synthesis* dengan ekstrak *A. marina*. Secara umum, hasil penelitian menunjukkan bahwa ekstrak *A. marina* memiliki kemampuan yang sangat baik sebagai agen pereduksi dan penstabil dalam pembentukan nanopartikel NiO, sehingga memberikan alternatif metode sintesis yang lebih ramah lingkungan dibandingkan metode kimia konvensional. Hal ini dapat dilihat dari hasil karakterisasi FTIR, XRD, SEM, BET, serta EIS yang secara keseluruhan mendukung terbentuknya NiO berukuran nano dengan karakter elektrokimia yang cukup baik untuk aplikasi elektroda baterai.

Hasil FTIR memperlihatkan keberadaan gugus -OH, C=O, dan C-O yang menandakan masih adanya senyawa fenolik, flavonoid, dan metabolit organik dari ekstrak *A. marina* pada permukaan partikel. Kehadiran gugus-gugus ini konsisten dengan peran ekstrak sebagai reduktor dan capping agent. Pita khas NiO pada $\sim 500 \text{ cm}^{-1}$ menegaskan bahwa reaksi pembentukan NiO berhasil. Jika dibandingkan dengan penelitian Gharagozlou (2021) dan Ahmed (2022), pola FTIR pada penelitian ini menunjukkan kemiripan, tetapi intensitas puncak NiO pada pH 11 tampak lebih jelas, yang mengindikasikan tingkat kemurnian fase yang lebih baik.

Hal ini menunjukkan bahwa pengaturan pH pada proses green synthesis sangat memengaruhi keberhasilan pembentukan fase NiO.

Hasil XRD menunjukkan puncak-puncak difraksi pada $2\theta = 37^\circ$, 43° , 62° , 75° , dan 79° yang sesuai dengan standar JCPDS No. 47-1049 untuk fase NiO tipe kubik. Tidak ditemukannya puncak pengotor seperti Ni_2O_3 atau $\text{Ni}(\text{OH})_2$ menandakan bahwa kalsinasi pada 500°C telah menghasilkan NiO yang relatif murni. Bila dibandingkan dengan penelitian Uddin (2021), puncak XRD pada penelitian ini memiliki intensitas lebih terdefinisi, yang kemungkinan disebabkan oleh kestabilan senyawa bioaktif *A. Marina* saat proses nukleasi sehingga menghasilkan kristalinitas yang lebih baik. Ukuran kristal yang dihasilkan berada pada rentang nanometer dan konsisten dengan hasil SEM.

Hasil SEM menampilkan morfologi butiran halus yang beraglomerasi, dengan ukuran partikel 35-91 nm. Aglomerasi ini merupakan ciri khas nanopartikel hasil green synthesis akibat adanya biomolekul yang menempel pada permukaan. Meskipun demikian, ukuran partikel yang masih berada dalam skala nanometer menunjukkan bahwa proses sintesis berjalan efektif. Jika dibandingkan dengan penelitian Salavati-Niasari (2021), ukuran partikel pada penelitian ini relatif sebanding, namun aglomerasi sedikit lebih tinggi akibat keberadaan senyawa organik dari ekstrak *A. marina*. Namun, aglomerasi ringan bukanlah masalah serius karena material elektroda dengan struktur cluster sering kali memiliki titik kontak konduktif yang lebih baik.

Hasil BET menunjukkan isoterm Tipe IV dengan hysteresis loop, menandakan bahwa NiO memiliki struktur mesopori yang baik. Mesopori sangat menguntungkan untuk aplikasi elektroda karena pori-pori ukuran menengah mempermudah difusi ion elektrolit dan meningkatkan luas permukaan aktif. Hal ini konsisten dengan penelitian Wang (2020) dan Rong (2020) yang melaporkan bahwa struktur mesopori pada NiO secara signifikan meningkatkan performa penyimpanan energi. Dengan demikian, struktur pori NiO yang diperoleh dalam penelitian ini dapat dikategorikan baik.

Hasil EIS menunjukkan nilai resistansi transfer muatan (R_{ct}) sekitar $\pm 20 \Omega$, yang termasuk rendah untuk material NiO hasil *green synthesis*. Resistansi yang rendah mengindikasikan bahwa permukaan elektroda mampu menghantarkan elektron dan ion dengan efisien. Jika dibandingkan dengan penelitian Singh & Kaur (2023), nilai R_{ct} pada penelitian ini lebih rendah, yang menunjukkan bahwa penggunaan ekstrak *A. marina* cukup efektif dalam menghasilkan permukaan nanopartikel yang konduktif dan berpori baik. Keseluruhan data EIS memperlihatkan bahwa NiO hasil sintesis memiliki potensi aplikatif sebagai material elektroda baterai.

Jika dibandingkan dengan beberapa penelitian terdahulu, perbedaan utama penelitian ini terdapat pada penggunaan *A. marina* sebagai agen reduksi, di mana sebagian besar penelitian umumnya menggunakan tanaman seperti *Aloe vera*, teh hijau, atau *Azadirachta indica*. Penggunaan *A. marina* yang kaya senyawa fenolik memberikan hasil yang cukup baik, menghasilkan nanopartikel berstruktur kristalin dan berpori meso yang mendukung performa elektrokimia. Dengan demikian, metode sintesis yang digunakan dalam penelitian ini dapat dikategorikan efektif dan kompetitif jika dibandingkan dengan penelitian sebelumnya.

Hasil karakterisasi yang meliputi FTIR, XRD, SEM, BET, dan EIS menunjukkan bahwa nanopartikel NiO hasil *green synthesis* menggunakan ekstrak *A. marina* memiliki sifat struktural dan elektrokimia yang mendukung penggunaannya sebagai material elektroda baterai. Keberadaan gugus organik dari ekstrak pada spektrum FTIR membantu meningkatkan keterbasahan permukaan elektroda sehingga mempercepat interaksi ion dengan material, sementara puncak NiO yang jelas menegaskan terbentuknya fase NiO. Struktur kristal kubik murni berdasarkan XRD memberikan kestabilan reaksi redoks dan jalur difusi ion yang baik selama proses pengisian–pengosongan baterai. Morfologi nano berukuran 35-91 nm pada citra SEM memberikan luas permukaan aktif yang besar, dan hasil BET yang menunjukkan struktur mesopori mendukung difusi ion elektrolit secara cepat di dalam material. Nilai resistansi transfer muatan (R_{ct}) yang rendah pada hasil EIS memperlihatkan kemampuan konduktivitas yang

baik, menandakan bahwa transfer elektron dan ion dapat berlangsung dengan efisien. Kombinasi sifat tersebut membuktikan bahwa NiO berbasis ekstrak *A. marina* memiliki potensi kuat sebagai elektroda baterai karena mampu memberikan area aktif luas, difusi ion yang cepat, serta kinerja elektrokimia yang stabil.



BAB V

PENUTUP

5.1 KESIMPULAN

Kesimpulan dari penelitian ini yaitu Nanopartikel NiO- *A. Marina* yang disintesis melalui metode *green synthesis* berhasil diperoleh dengan karakteristik material yang mendukung sebagai kandidat material elektroda. Hasil karakterisasi menunjukkan terbentuknya fase NiO dengan tingkat kristalinitas yang baik, ukuran kristal berada pada skala nanometer, serta morfologi partikel yang relatif homogen. Analisis FTIR mengindikasikan adanya gugus fungsi biomolekul dari ekstrak *A. marina* yang berperan sebagai agen pereduksi dan penstabil dalam proses sintesis. Selain itu, karakteristik struktural dan permukaan yang dihasilkan berpotensi meningkatkan aktivitas elektrokimia, sehingga nanopartikel NiO- *A. Marina* layak dikembangkan lebih lanjut sebagai material elektroda baterai.

5.2 SARAN

1. Pastikan kebersihan alat dan bahan selama proses sintesis, terutama gelas kimia, beaker, dan alat filtrasi, karena kontaminasi kecil dapat memengaruhi warna, ukuran partikel, dan kemurnian NiO yang dihasilkan.
2. Kontrol pH dengan hati-hati, terutama saat menaikkan pH hingga 11 menggunakan NaOH. Penambahan basa sebaiknya dilakukan secara perlahan dan sambil diaduk agar tidak terjadi pembentukan endapan terlalu cepat yang dapat menyebabkan partikel menjadi besar atau tidak homogen.
3. Pertahankan suhu ekstraksi dan sintesis secara stabil, karena fluktuasi suhu dapat memengaruhi reaksi reduksi biomolekul ekstrak *A. Marina* dan memengaruhi ukuran partikel.
4. Memperhatikan masa pengeringan sampel supaya tidak menghilangkan kadar flavonoid.

DAFTAR PUSTAKA

- Ahmed, S., & Ikram, S. (2022). *Plants as green reducing agents for the synthesis of metal oxide nanoparticles: A review*. Journal of Environmental Chemical Engineering, 10(1), 106901. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2021.106901>
- Alshatwi, M. S., Ahmed, F., & Khan, M. (2021). *Iron-doped NiO Nanoparticles: Characterization by XRD, FTIR, SEM and UV-Vis*. ASTES Journal, 6(1), 1422–1426. <https://doi.org/10.25046/aj0601165>
- Alshatwi, M. S. et al. (2021). *Iron-doped NiO Nanoparticles: Characterization by XRD, FTIR, SEM*. ASTES Journal, 6(1), 1422–1426.
- Gharagozlou, M., & Abbasi, A. R. (2021). Green synthesis of NiO nanoparticles using plant extract: Characterization and antibacterial study. *Materials Chemistry and Physics*, 263, 124380. <https://doi.org/10.1016/j.matchemphys.2021.124380>
- Jiang, C., Liu, Q., & Zhang, M. (2021). Hollow structured NiO nanospheres for high-performance lithium-ion batteries. *Materials Letters*, 300, 130147. <https://doi.org/10.1016/j.matlet.2021.130147>
- Kandasamy, M., et al. (2021). *Synthesis and AAS Determination of Metal Oxide Nanoparticles in Aqueous Extracts*. Journal of Environmental Chemical Engineering, 9(1), 104655. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2020.104655>
- Kementerian Riset dan Teknologi Republik Indonesia. (2020). *Peta Jalan Riset dan Inovasi Nasional 2020-2045*.

Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral. (2021). *Peta Jalan Pengembangan Kendaraan Bermotor Listrik Berbasis Baterai di Indonesia*.

Kharissova, O. V., Dias, H. R., Kharisov, B. I., Pérez, B. O., & Pérez, V. M. (2020). The greener synthesis of nanoparticles. *TrAC Trends in Analytical Chemistry*, 130, 115973. <https://doi.org/10.1016/j.trac.2020.115973>

Kumar, P. S., & Sundrarajan, M. (2020). Green synthesis of NiO nanoparticles using plant extracts and their application in environmental remediation. *Environmental Nanotechnology, Monitoring & Management*, 14, 100347.

Li, Z., et al. (2021). *Nickel Oxide Nanoparticles as an Efficient Electrode Material for Energy Storage Devices*. Journal of Power Sources. [DOI: 10.1016/j.jpowsour.2020.229640].

Mahdavi, M., & Rostami, M. (2022). Plant-mediated synthesis of nickel oxide nanoparticles: A comprehensive review on characterization and applications. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 10(4), 107198. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2022.107198>

Nasir, T., Shakir, M., & Zainelabdin, A. (2020). Controlled synthesis of NiO nanoparticles and their catalytic activity for environmental remediation. *Applied Surface Science*, 529, 147120. <https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2020.147120>

Patil, S. S., Mane, R. S., & Kim, J. H. (2023). Recent progress in nanostructured NiO for energy storage and conversion applications.

Nano Energy, 112, 107621. <https://doi.org/10.1016/j.nanoen.2023.107621>

Rehman, S., Khan, M. M., & Akhtar, M. N. (2020). Visible-light-driven photodegradation of dyes using green-synthesized NiO nanoparticles. *Environmental Nanotechnology, Monitoring & Management*, 14, 100310. <https://doi.org/10.1016/j.enmm.2020.100310>

Rong, Z., dkk. (2020). Nanostruktur berbasis nikel oksida untuk superkapasitor berkinerja tinggi: kemajuan terbaru dan perspektif masa depan. *Chemical Engineering Journal*, 388, 124235.

Salavati-Niasari, M., Ghanbari, D., & Shakouri, M. (2021). *Green synthesis of nickel oxide nanoparticles using plant extract and their application in electrochemical devices*. *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*, 32(12), 16124–16135. <https://doi.org/10.1007/s10854-021-06230-5>

Shah, M., Khan, A. U., & Khan, Z. U. (2021). Nickel oxide nanoparticles: Recent advances in synthesis, characterization, and applications. *Ceramics International*, 47(9), 12345–12356. <https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2021.01.061>

Sharma, D., & Kumar, M. (2023). *Characterization of bio-inspired NiO nanoparticles: Structural, optical, and FTIR analysis*. *Journal of Materials Research and Technology*, 25, 5463–5472. <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2023.04.198>

Sharma, R., Yadav, S., & Singh, V. (2023). Electrochemical performance of NiO-based composites for lithium-ion batteries: A review. *Journal of Energy Storage*, 68, 107799. <https://doi.org/10.1016/j.est.2023.107799>

Singh, J., & Kaur, G. (2023). Electrochemical properties of NiO-based electrodes synthesized using eco-friendly methods for lithium-ion batteries. *Electrochimica Acta*, 443, 141898.

Sulaiman, W. R. W., et al. (2022). *Characterization of biosynthesized NiO nanoparticles and evaluation of nickel content using atomic absorption spectroscopy (AAS)*. *Materials Chemistry and Physics*, 281, 125786. <https://doi.org/10.1016/j.matchemphys.2022.125786>

Uddin, S., & Quraishi, M. (2021). Green Synthesis of Nickel oxide Nanoparticles Using Leaf Extract of *Berberis balochistanica*: Characterization, and diverse biological applications. *Microsc Res Tech*, February, 1–13. <https://doi.org/10.1002/jemt.23756>

Wang, L., Xu, D., & Guo, L. (2020). Enhanced electrochemical performance of NiO nanosheets with porous structure for supercapacitors. *Electrochimica Acta*, 354, 136740. <https://doi.org/10.1016/j.electacta.2020.136740>

Yadav, S., & Khan, A. (2021). Impact of pH variation on morphology and performance of NiO nanoparticles synthesized via green method. *Materials Chemistry and Physics*, 270, 124824.

Yulizar, Y., Gozan, M., & Sahlan, M. (2023). Advances in green synthesis of metal oxide nanoparticles using plant extracts: Opportunities and future prospects. *Materials Today: Proceedings*, 72, 2349–2355. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2023.04.076>

Zhang, L., dkk. (2021). *Karakterisasi elektrokimia elektroda nanostruktur menggunakan analyzer baterai dan EIS*. *Electrochimica Acta*, 398, 139273.

Zhao, Y., Chen, Z., & Li, H. (2021). Gas sensing performance of NiO nanostructures: Recent progress and challenges. *Sensors and*

Actuators B: Chemical, 329, 129241.
<https://doi.org/10.1016/j.snb.2020.129241>

Zhang, L., dkk. (2021). *Karakterisasi elektrokimia elektroda nanostruktur menggunakan analyzer baterai dan EIS*. *Electrochimica Acta*, 398, 139273.

Zhao, Y., Chen, Z., & Li, H. (2021). Gas sensing performance of NiO nanostructures: Recent progress and challenges. *Sensors and Actuators B: Chemical*, 329, 129241.
<https://doi.org/10.1016/j.snb.2020.129241>

Zhao, R., Liu, Z., & Wang, J. (2023). *Recycling strategies and green synthesis approaches in sustainable battery materials*. *Journal of Cleaner Production*, 385, 135669.
<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.135669>

Zubair, M., Khan, M. A., & Farooq, U. (2023). Green synthesis of NiO nanoparticles for photodegradation of organic pollutants: A review. *Environmental Research*, 219, 114994.
<https://doi.org/10.1016/j.envres.2023.114994>

LAMPIRAN

LAMPIRAN 1. Perhitungan Data Riset Sintesis dan Karakterisasi

1.1 Rumus Perhitungan Molaritas NiO

$$M = \frac{gr}{mr} \times \frac{1000}{V}$$

$$0,1 = \frac{X}{291} \times \frac{1000}{100}$$

$$0,1 = \frac{X}{291} \times 10$$

$$0,1 = \frac{10X}{291}$$

$$29,1 = 10x$$

$$X = \frac{29,1}{10}$$

$$X = 2,91 \text{ gr}$$

1.2 Rumus perhitungan ukuran Kristal XRD Sampel NiO

a. Bidang (111)

Dik :

$$2\theta = 37,25^\circ$$

$$\theta = 18,625^\circ$$

$$\text{FWHM} = 0,25^\circ$$

Dit : D =?

$$\beta = 0,25 \times \frac{\pi}{180} = 0,00436 \text{ rad}$$

$$D = \frac{0,9 \times 0,15406}{0,00436 \cos(18,625^\circ)}$$
$$= \frac{0,13865}{0,00413}$$
$$= 33,6 \text{ nm.}$$

b. Bidang (200)

Dik :

$$2\theta = 43,29^\circ$$

$$\theta = 21,645^\circ$$

$$\text{FWHM} = 0,23^\circ$$

Dit : D =?

$$\beta = 0,23 \times \frac{\pi}{180} = 0,00401 \text{ rad}$$

$$\begin{aligned}
 D &= \frac{0,9 \times 0,15406}{0,00401 \cos(21,645^\circ)} \\
 &= \frac{0,13865}{0,00387} \\
 &= 35,8 \text{ nm.}
 \end{aligned}$$

c. Bidang (220)

Dik :

$$2\theta = 62,87^\circ$$

$$\theta = 31,435^\circ$$

$$\text{FWHM} = 0,28^\circ$$

Dit : D =?

$$\beta = 0,28 \times \frac{\pi}{180} = 0,00489 \text{ rad}$$

$$\begin{aligned}
 D &= \frac{0,9 \times 0,15406}{0,00489 \cos(31,435^\circ)} \\
 &= \frac{0,13865}{0,00441} \\
 &= 31,4 \text{ nm.}
 \end{aligned}$$

d. Bidang (311)

Dik :

$$2\theta = 75,41^\circ$$

$$\theta = 37,705^\circ$$

$$\text{FWHM} = 0,30^\circ$$

Dit : D =?

$$\beta = 0,30 \times \frac{\pi}{180} = 0,00524 \text{ rad}$$

$$\begin{aligned}
 D &= \frac{0,9 \times 0,15406}{0,00524 \cos(37,705^\circ)} \\
 &= \frac{0,13865}{0,00466} \\
 &= 29,8 \text{ nm.}
 \end{aligned}$$

e. Bidang (222)

Dik :

$$2\theta = 79,41^\circ$$

$$\theta = 39,705^\circ$$

$$\text{FWHM} = 0,32^\circ$$

Dit : D =?

$$\beta = 0,32 \times \frac{\pi}{180} = 0,00559 \text{ rad}$$

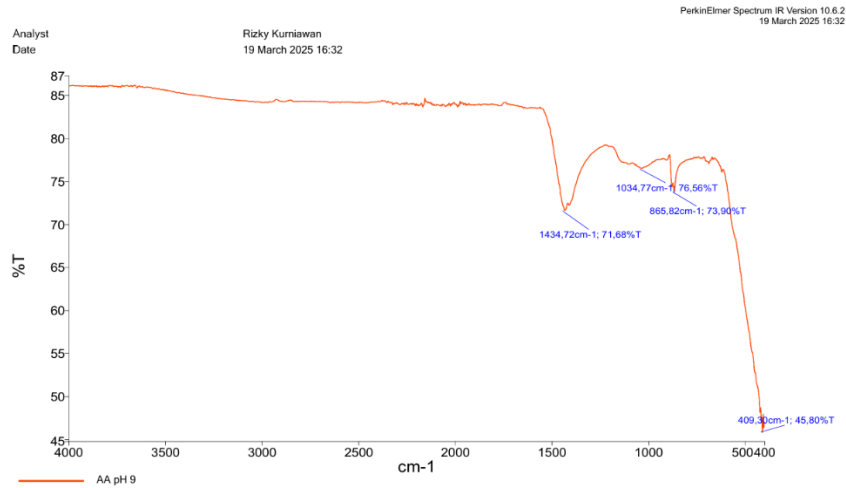
$$\begin{aligned} D &= \frac{0,9 \times 0,15406}{0,00559 \cos(39,705^\circ)} \\ &= \frac{0,13865}{0,00485} \\ &= 28,6 \text{ nm.} \end{aligned}$$



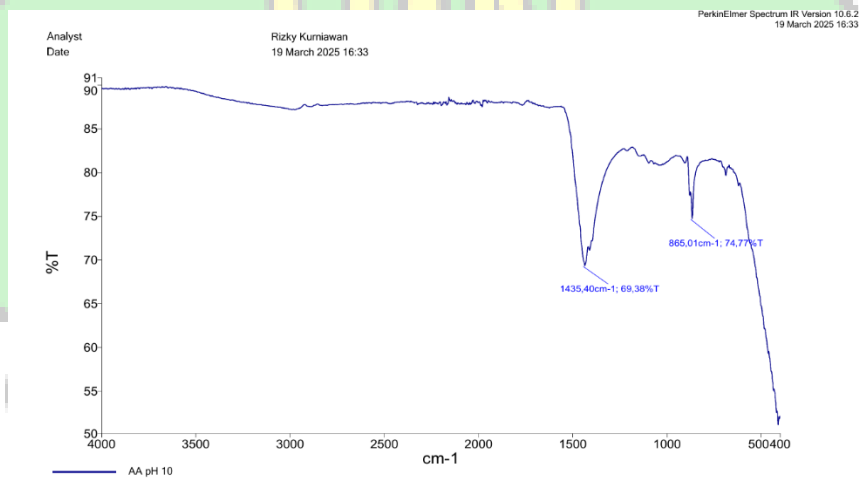
LAMPIRAN 2. Data Hasil Karakterisasi Asli Dari Mesin

1.1 FTIR (*Fourier Transform Infrared Spectroscopy*)

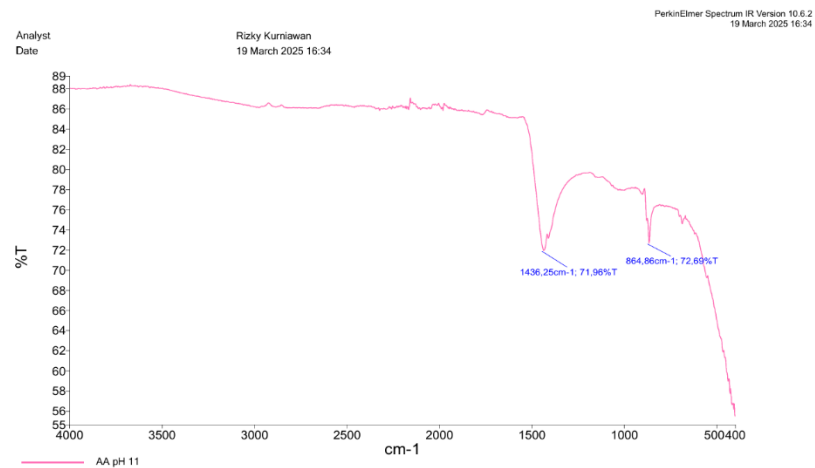
f. FTIR pH 9



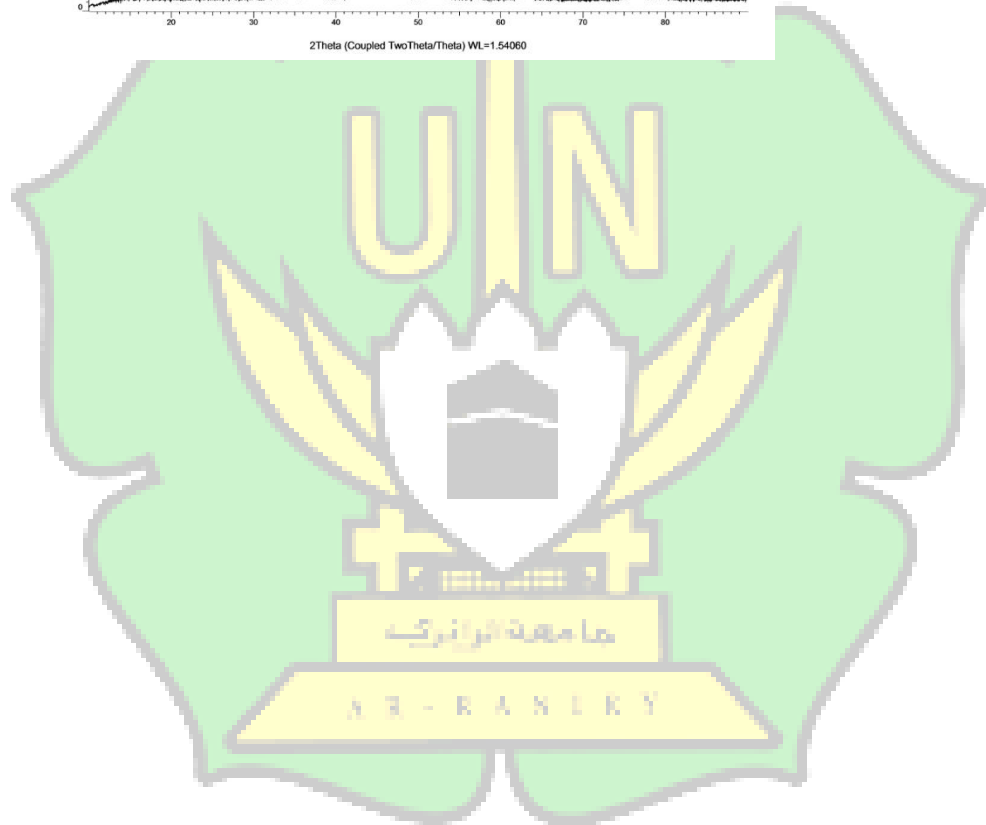
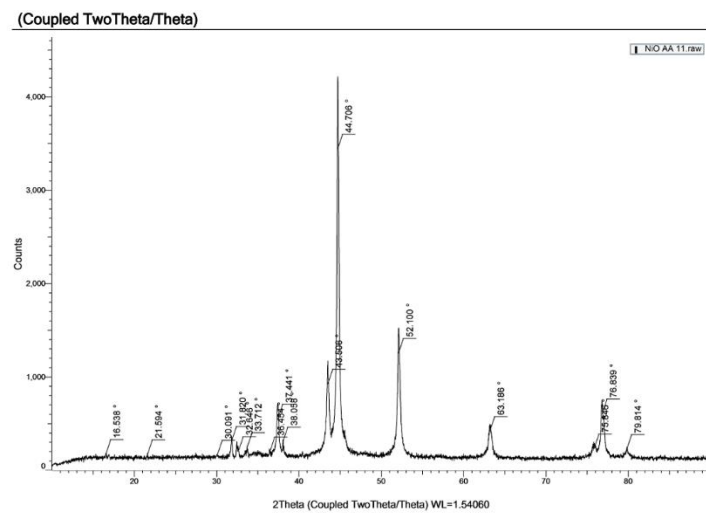
g. FTIR pH 10



h. FTIR pH 11



1.2 XRD (X-Ray Diffraction) pH 11



LAMPIRAN 3. Dokumentasi Penelitian

3.1 Pengambilan Sampel



3.2 Pengeringan Sampel



3.2 Penghalusan Sampel

