

**FITOFABRIKASI NANOPARTIKEL NiO DENGAN EKSTRAK
CHROMOLAENA ODORATA DAN POTENSINYA SEBAGAI
KANDIDAT MATERIAL ELEKTRODA**

TUGAS AKHIR

Diajukan oleh:

**UTARI RAHMATILLAH
220714001**

**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

FITOFABRIKASI NANOPARTIKEL NiO DENGAN EKSTRAK *CHROMOLAENA ODORATA* DAN POTENSINYA 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:

UTARI RAHMATILLAH

220714001

**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

Nurhayati, S.Si., M.Si.

NIDN 2014058901

LEMBAR PENGESAHAN

FITOFABRIKASI NANOPARTIKEL NiO DENGAN EKSTRAK *CHROMOLAENA ODORATA* DAN POTENSINYA SEBAGAI KANDIDAT MATERIAL ELEKTRODA

TUGAS AKHIR

Telah Diuji Oleh Panitia Ujian Munaqasah 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 Ilmu Teknik Fisika

Pada Hari/Tanggal: Senin, 19 Januari 2026

30 Rajab 1447 H

di Darussalam, Banda Aceh

Panitia Ujian Munaqasah Tugas Akhir:

Ketua/Sekretaris,

Dr. Sri Nengsih, M.Sc.

NIDN 2010088501

Penguji I,

Penguji II,

Dr. Abd Mujahid Hamdan, M.Sc.

NIDN 2013128901

Mulyadi Abdul Wahid, M.Sc.

NIDN 2015118002

Mengetahui:

Dekan Fakultas Sains dan Teknologi

UIN Ar-Raniry Banda Aceh



Prof. Dr. Ir. Muhammad Dirhamsyah, M.T., IPU

NIDN 0002106203

LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Utari Rahmatillah

NIM : 220714001

Program Studi : Teknik Fisika

Fakultas : Sains dan Teknologi

Judul : Fitofabrikasi Nanopartikel Nio dengan Ekstrak *Chromolaena Odorata* dan Potensinya Sebagai Kandidat Material Elektroda

Dengan ini menyatakan bahwa dalam penulisan tugas akhir 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 dipertanggungjawabkan dan ternyata memang ditemukan 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, 10 Januari 2026

Yang Menyatakan



(Utari Rahmatillah)

ABSTRAK

Nama : Utari Rahmatillah
NIM : 220714001
Program Studi : Teknik Fisika
Judul : Fitofabrikasi Nanopartikel Nio dengan Ekstrak *Chromolaena Odorata* dan Potensinya Sebagai Kandidat Material Elektroda
Tanggal Sidang : 19 Januari 2026
Jumlah Halaman : 75 halaman
Pembimbing : Dr. Sri Nengsih, M. Sc.
Kata Kunci : Nanopartikel NiO, Fitofabrikasi, *C.Odorata*, Karakterisasi Material

Perkembangan teknologi penyimpanan energi yang pesat menuntut ketersediaan material elektroda yang tidak hanya memiliki kinerja elektrokimia tinggi, tetapi juga ramah lingkungan dan berkelanjutan. NiO merupakan salah satu oksida logam transisi yang banyak dikaji sebagai material elektroda baterai dan superkapasitor karena stabilitas kimia, kapasitas penyimpanan muatan yang tinggi, serta konduktivitas ionik yang baik. Sebagai upaya mendukung pengembangan material berkelanjutan dan mengurangi penggunaan bahan kimia berbahaya, pendekatan fitofabrikasi digunakan sebagai alternatif metode sintesis yang lebih aman dengan memanfaatkan ekstrak tumbuhan sebagai agen pereduksi dan penstabil alami. Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji karakteristik NP NiO hasil fitofabrikasi menggunakan ekstrak daun *C.Odorata* dan potensinya sebagai kandidat material elektroda. Ekstrak daun *C. Odorata* dipilih karena mengandung senyawa bioaktif seperti flavonoid, fenolik, dan terpenoid yang berperan dalam proses reduksi dan stabilisasi nanopartikel. Sintesis dilakukan menggunakan prekursor nikel nitrat heksahidrat dengan variasi pH 9, 10, dan 11 untuk memperoleh kondisi optimum. Hasil karakterisasi XRD menunjukkan terbentuknya fasa kristalin NiO dengan struktur kubik FCC sesuai standar JCPDS No. 47-1049, di mana kondisi pH 11 menghasilkan tingkat kristalinitas dan ukuran kristalit yang paling optimal. FTIR mengonfirmasi terbentuknya ikatan Ni-O serta keterlibatan gugus fungsi senyawa bioaktif dalam proses sintesis. Karakterisasi HRTEM-EDS menunjukkan morfologi nanokristalin dengan dominasi unsur Ni dan O, yang menandakan tingkat kemurnian material yang baik. Hasil analisis BET mengindikasikan sifat mesopori dengan luas permukaan spesifik yang mendukung peningkatan area aktif reaksi elektrokimia, sedangkan pengukuran EIS menunjukkan resistansi transfer muatan yang relatif rendah. Secara keseluruhan, NP NiO hasil fitofabrikasi menggunakan ekstrak daun *C. Odorata* menunjukkan potensi sebagai kandidat material elektroda. Pendekatan ini memberikan dampak positif dalam pengembangan material energi yang lebih ramah lingkungan, berkelanjutan, serta berpotensi diaplikasikan pada sistem penyimpanan energi generasi mendatang.

ABSTRACT

Name : Utari Rahmatillah
NIM : 220714001
Major : Physics Engineering
Title : *Phytofabrication of NiO Nanoparticles Using Chromolaena odorata Extract and Their Potential as Electrode Material Candidates*
Strial Date : 19 January 2026
Thesis Thickness : 75 page
Advisor : Dr. Sri Nengsih, M. Sc.
Keyword : NiO Nanoparticles, Phytofabrication, C.Odorata, Material Characterization

The rapid development of energy storage technologies demands the availability of electrode materials that not only exhibit high electrochemical performance but are also environmentally friendly and sustainable. NiO is a transition metal oxide that has been extensively studied as an electrode material for batteries and supercapacitors due to its chemical stability, high charge storage capacity, and good ionic conductivity. To support the development of sustainable materials and reduce the use of hazardous chemicals, a phytofabrication approach is employed as a safer alternative synthesis method by utilizing plant extracts as natural reducing and stabilizing agents. This study aims to investigate the characteristics of NiO nanoparticles synthesized via phytofabrication using *C. Odorata* leaf extract and to evaluate their potential as electrode material candidates. *C. odorata* leaf extract was selected due to its bioactive compounds, such as flavonoids, phenolics, and terpenoids, which play roles in the reduction and stabilization of nanoparticles. The synthesis was carried out using nickel nitrate hexahydrate as a precursor with pH variations of 9, 10, and 11 to obtain optimal conditions. XRD results revealed the formation of crystalline NiO with a cubic FCC structure corresponding to JCPDS No. 47-1049, where the pH 11 condition produced the highest crystallinity and optimal crystallite size. FTIR analysis confirmed the formation of Ni-O bonds and the involvement of bioactive functional groups during the synthesis process. HRTEM-EDS characterization showed nanocrystalline morphology with dominant Ni and O elements, indicating good material purity. BET analysis indicated mesoporous characteristics with a specific surface area that supports an increased active area for electrochemical reactions, while EIS measurements demonstrated relatively low charge transfer resistance. Overall, NiO NP synthesized via phytofabrication using *C. Odorata* leaf extract exhibit promising potential as electrode material candidates. This approach provides a positive impact on the development of environmentally friendly and sustainable energy materials with potential applications in next-generation energy storage systems.

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah Rabbil Alamin, segala puji dan syukur kehadiran Allah SWT, yang telah memberikan ribuan kenikmatan yang tidak terukur, keberkahan, kekuatan serta petunjuk sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir dengan baik, yang berjudul **“Fitofabrikasi Nanopartikel Nio dengan Ekstrak *Chromolaena Odorata* dan Potensinya Sebagai Kandidat Material Elektroda”**. Tidak lupa pula Shalawat serta salam senantiasa disampaikan kepada Nabi Muhammad SAW yang menjadi teladan utama bagi umat manusia serta sebagai pembawa dan penafsir pertama ajaran Al-Qur’an.

Penulis juga menyampaikan rasa terima kasih yang sebesar-besarnya kepada orang tua penulis, Ibunda Martini dan Ayahanda M. Saleh, yang selalu memberi dukungan, doa, nasehat dengan penuh cinta tanpa merasa kelelahan sedikit pun. Dengan doa-doa mereka penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini dan berhasil membawa anaknya sampai ke sarjana. Penulis menyadari bahwa penyusunan tugas akhir ini tidak terlepas dari bantuan, bimbingan, dan dukungan berbagai pihak. Oleh karena itu, dengan segala kerendahan hati penulis mengucapkan terima kasih dan 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. Nurhayati, S.Si., M.Si., selaku Ketua Program Studi Teknik Fisika dan 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 sekaligus pembimbing akademik yang telah banyak memberikan arahan dan bimbingan dalam penulisan tugas akhir ini.
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 Septia, Nanda Anastia, Yunasar, Mehram Maina, Santi Bellia, 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. Tim penguji tugas akhir yang telah membagikan ilmu dan pengalamannya kepada penulis.

Penulis juga mengucapkan terima kasih kepada seluruh pihak yang telah membantu dan rakan sejawat Teknik Fisika Fakultas Sains dan Teknologi terkhusus leting 2022 yang juga memberi dukungan dan semangat. Teman-teman yang tidak dapat disebut satu per satu namun kebersamaan yang terjalan begitu bermakna.

Banda Aceh, 16 Januari 2026

Penulis,

Utari Rahmatillah



DAFTAR ISI

LEMBAR PERSETUJUAN	ii
LEMBAR PENGESAHAN	iii
LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR	iv
ABSTRAK	v
ABSTRACT	vi
KATA PENGANTAR.....	vii
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.....	6
2.1 Nanopartikel NiO	6
2.2 Fitofabrikasi.....	7
2.3 Tanaman <i>C. Odorata</i>	8
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	11
3.1 Rancangan Penelitian	11
3.2 Waktu dan Tempat	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 NP NiO	17
3.4.4	Karakterisasi NP NiO.....	18
3.5	Analisis Data	22
3.5.1	XRD (<i>X-Ray Diffraction</i>).....	22
3.5.2	FTIR (<i>Fourier Transform Infrared</i>).....	23
3.5.3	HRTEM-EDS <i>High Resolution Transmission Electron Microscopy-Energy Dispersive Spectroscopy</i>	23
3.5.4	BET (<i>Brunauer-Emmett-Teller</i>).....	24
3.5.5	EIS (<i>Electrochemical Impedance Spectroscop</i>).....	24
3.6	Diagram Alir Penelitian.....	25
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN		28
4.1	Hasil Penelitian.....	28
4.1.1	Sintesis NP NiO	28
4.1.2	Hasil Karakterisasi NP NiO	29
4.2	Pembahasan	39
BAB V PENUTUP.....		45
5.1	Kesimpulan.....	45
5.2	Saran.....	45
DAFTAR PUSTAKA.....		48
LAMPIRAN.....		54

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Nikel(II) nitrat	6
Gambar 2. 2 Tanaman <i>C. Odorata</i>	9
Gambar 3. 1 Peta Lokasi Pengambilan Sampel	11
Gambar 3. 2 Proses Ekstraksi.....	16
Gambar 3. 3 Proses fitofabrikasi	17
Gambar 3. 4 Instrumentasi XRD.....	18
Gambar 3. 5 Instrumentasi FTIR	19
Gambar 3. 6 Instrumentasi HRTEM	20
Gambar 3. 7 instrumentasi BET	21
Gambar 3. 8 Instrumentasi EIS	22
Gambar 3. 9 Diagram Alir Penelitian	25
Gambar 4. 1 Proses dan hasil ekstraksi daun <i>C. odorata</i>	28
Gambar 4. 2 Proses dan hasil sintesis NP NiO	29
Gambar 4. 3 Hasil Karakteristik XRD Variasi pH.....	30
Gambar 4. 4 Karakteristik FTIR	32
Gambar 4. 5 Karakteristik HRTEM.....	33
Gambar 4. 6 Karakteristik EDS	34
Gambar 4. 7 Karakteristik BET	35
Gambar 4. 8 Karakteristik EIS	36



DAFTAR TABEL

Tabel 3. 1 Alat dan Bahan.....	12
Tabel 3. 2 Data XRD NiO JCPDS No. 47-1049	23
Tabel 4. 1 Hasil Perhitungan Ukuran Kristal NiO	30
Tabel 4. 2 Akumulasi Data Pengujian NiO.....	37



DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Perhitungan Data Riset dan Karakterisasi	54
Lampiran 2 Gambar Penelitian	66
Lampiran 3 Hasil pengujian	68



BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Seiring dengan meningkatnya permintaan akan energi bersih di tingkat global, berbagai negara berlomba-lomba mengembangkan teknologi penyimpanan energi yang lebih efisien dan ramah lingkungan. Berdasarkan laporan *International Energy Agency* (IEA), seiring dengan meningkatnya upaya global menuju transisi energi bersih dan pencapaian target net zero emissions, pasar baterai dunia diproyeksikan mengalami pertumbuhan yang signifikan sebagai penopang utama dalam penyimpanan dan distribusi energi terbarukan (IEA, 2021). Di Indonesia sendiri, dukungan terhadap pengembangan teknologi ini diperkuat melalui kebijakan nasional. Pemerintah telah menetapkan kebijakan melalui Peraturan Presiden Nomor 55 Tahun 2019 mengenai Percepatan Program Kendaraan Bermotor Listrik Berbasis Baterai, yang bertujuan untuk mendorong pengembangan industri baterai dalam negeri (Peraturan Presiden Nomor 55 Tahun 2019).

Tidak hanya dari sisi kebijakan, perkembangan teknologi juga mendorong inovasi dalam produksi material baterai. Nanoteknologi merupakan salah satu cabang sains dan teknologi yang mengalami perkembangan pesat serta menawarkan berbagai inovasi dengan cakupan aplikasi yang luas, mulai dari bidang kesehatan hingga sektor industri. Dalam proses pembuatan material berukuran nano, telah dikembangkan beragam metode, antara lain pendekatan fisika, kimia, serta metode berbasis lingkungan yang lebih berkelanjutan. Dalam beberapa dekade terakhir, metode ramah lingkungan semakin banyak dipilih dalam sintesis NP karena memiliki keunggulan berupa biokompatibilitas yang baik, dampak lingkungan yang minimal, tingkat toksisitas yang rendah, serta biaya produksi yang relatif lebih efisien dibandingkan metode konvensional lainnya (Naseer dkk., 2020).

NiO merupakan salah satu material elektroda yang banyak digunakan dalam teknologi penyimpanan energi, seperti baterai ion litium dan superkapasitor, karena memiliki konduktivitas ionik yang baik, kapasitas penyimpanan energi

yang tinggi, serta stabilitas termal dan elektrokimia yang unggul. Namun, metode konvensional dalam sintesis NiO, seperti presipitasi kimia, sol-gel, dan hidrotermal, umumnya menggunakan bahan kimia beracun, energi tinggi, dan menghasilkan limbah berbahaya yang dapat mencemari lingkungan. Oleh karena itu, diperlukan metode sintesis yang lebih ramah lingkungan dan berkelanjutan, salah satunya melalui pendekatan.

Nanopartikel logam secara umum dapat disintesis pendekatan *top-down* maupun *bottom-up*. Namun saat ini, kalangan peneliti sedang banyak mengembangkan metode untuk mensintesis NP yaitu metode fitofabrikasi. Dimana metode ini memiliki prinsip dengan memanfaatkan tumbuhan atau mikroorganisme sebagai agen pereduksi. Metode ini dapat menjadi alternatif dalam memproduksi NP yang lebih ramah lingkungan karena mampu mengurangi penggunaan bahan kimia berbahaya. Pemanfaatan tumbuhan dalam proses sintesis dilakukan melalui senyawa aktif yang terkandung di dalamnya, khususnya metabolit sekunder seperti terpenoid, flavonoid, alkaloid, steroid, dan tanin (Rahma dkk, 2022).

C. Odorata ialah tanaman lokal yang tumbuh liar di pesisir pantai tanpa perlu dibudidayakan secara intensif. Tanaman ini diketahui mengandung senyawa aktif seperti fenolik, flavonoid, saponin, terpenoid, tanin, dan steroid yang berperan sebagai agen pereduksi. Dengan memanfaatkan ekstrak daun *C. Odorata* dalam proses sintesis, diharapkan dapat dihasilkan elektroda berbasis NiO yang tidak hanya unggul secara teknis tetapi juga berkontribusi dalam pengurangan dampak lingkungan.

Penelitian ini berfokus untuk mengembangkan NiO melalui metode fitofabrikasi dengan memanfaatkan ekstrak daun *C. Odorata* sebagai agen pereduksi alami yang nantinya berpotensi sebagai material elektroda baterai listrik. Pendekatan ini tidak hanya memanfaatkan sumber daya hayati yang ramah lingkungan, tetapi juga diharapkan mampu mengurangi dampak negatif terhadap lingkungan yang ditimbulkan oleh metode sintesis konvensional.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan, penelitian ini merumuskan beberapa pertanyaan utama sebagai berikut:

1. Bagaimana karakterisasi NP NiO hasil fitofabrikasi menggunakan ekstrak *C. Odorata* berdasarkan hasil karakterisasi?
2. Bagaimana hasil NP NiO yang diperoleh melalui metode fitofabrikasi yang potensinya sebagai kandidat material elektroda?

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan penelitian yang ingin dicapai dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mengetahui karakterisasi NP NiO hasil fitofabrikasi menggunakan ekstrak *C. Odorata* berdasarkan hasil karakterisasi.
2. Menganalisis hasil NP NiO yang diperoleh melalui metode fitofabrikasi serta menilai potensinya sebagai kandidat material elektroda.

1.4 Manfaat Penelitian

a. Manfaat Teoritis

1. Menambah wawasan dan referensi ilmiah terkait metode fitofabrikasi dalam sintesis NP NiO serta potensi aplikasinya sebagai material elektroda baterai.
2. Menjadi dasar ilmiah bagi pemanfaatan tanaman lokal Indonesia dalam bidang teknologi tinggi, khususnya aplikasi energi terbarukan dan material fungsional nanoskala.
3. Mendorong integrasi ilmu kimia, material, dan lingkungan dalam satu pendekatan interdisipliner, khususnya pada pengembangan teknologi baterai berbasis prinsip keberlanjutan (*sustainability*).

b. Manfaat Praktis

1. Memberikan alternatif pemanfaatan sumber daya alam lokal, yaitu daun *C. Odorata*, sebagai bahan baku potensial dalam pengembangan material fungsional yang mendukung inovasi teknologi energi berkelanjutan.
2. Mendukung pengembangan teknologi baterai yang lebih berkelanjutan dan sejalan dengan kebijakan energi bersih serta hilirisasi nikel di Indonesia.

1.5 Batasan Penelitian

1. Metode sintesis yang digunakan adalah fitofabrikasi, tanpa penambahan bahan kimia sintetis atau agen reduktor lain di luar ekstrak tanaman. Proses dilakukan pada kondisi laboratorium dalam skala kecil dengan pengendalian suhu dan pH tertentu.
2. Karakterisasi NP NiO dibatasi pada analisis struktur kristal, morfologi, dan komposisi unsur menggunakan instrumen seperti XRD, FTIR, HRTEM-EDS, BET dan EIS.



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Nanopartikel NiO

Perkembangan nanoteknologi telah mengarah pada produksi material inovatif, terutama proses struktur nano sintetis yang ramah lingkungan untuk mensintesis logam, dengan berbagai bentuk dan ukuran (Hijau dkk., 2021). Nanopartikel saat ini semakin luas pemanfaatannya dalam berbagai aspek kehidupan, antaranya pada bidang medis, kosmetik, farmasi, serta pencemaran air. Hal ini disebabkan oleh karakteristik unik yang dimiliki NP, seperti sifat termal, optik, listrik, dan magnetik, yang menjadi ketertarikan untuk berbagai aplikasi teknologi (Verma dkk., 2022).



Gambar 2. 1 Nikel(II) nitrat
Sumber : www.zamachemical.net

Nickel(II) nitrate hexahydrate merupakan bentuk heksahidrat dari nikel(II) nitrat, dengan rumus kimia $\text{Ni}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$. Senyawa nikel(II) nitrat ($\text{Ni}(\text{NO}_3)_2$) dapat disintesis melalui reaksi antara nikel oksida dan asam nitrat. Nickel(II) nitrate hexahydrate berfungsi sebagai prekursor dalam sintesis garam nikel serta katalis nikel yang didukung. Nikel(II) nitrat seperti pada Gambar 2.1 yang merupakan padatan higroskopis berwarna hijau-biru, yang larut dalam air dan alkohol primer dengan berat molekul rendah. Perubahan fisik yang dapat diamati pada nikel(II) nitrat meliputi transisi warna dari hijau-biru menjadi hijau gelap saat terurai menjadi NiO melalui proses dekomposisi termal, yang menunjukkan perubahan sifat optik akibat transformasi struktur kristal.

NiO tergolong sebagai salah satu oksida logam yang paling umum digunakan dan telah menarik banyak perhatian karena memberikan sifat-sifat unggul dengan berbagai macam aplikasi potensial di berbagai bidang seperti

katalisis, sel surya, semikonduktor, sensor gas lapisan antiferomagnetik, oksida konduktor transparan tipe-p, elektroda baterai, bahan magnetik, adsorben, superkapasitor elektrokimia, pencitraan resonansi magnetik, film elektrokromik, perangkat penyimpanan memori, pengiriman obat, elektrolisis air dan baru-baru ini dalam pengobatan sel kanker (Qing dkk., 2015). Mereka digunakan sebagai katalis yang murah dan tidak berbahaya untuk meningkatkan reaktivitas dan selektivitas berbagai reaksi organik termasuk reduksi aldehida dan keton, hidrogenasi olefin, alkilasi metil keton dan reaksi anorganik seperti dekomposisi amonia (Imran Din & Rani, 2016).

Di antara berbagai NP oksida logam transisi, NiO termasuk material yang memiliki perhatian karena memiliki struktur kisi kubik. NP NiO memiliki beragam aplikasi potensial, termasuk sebagai material pada sensor gas serta elektroda baterai. Selain itu, NP NiO yang disintesis melalui fitofabrikasi juga menunjukkan berbagai manfaat di bidang biomedis, seperti aktivitas antibakteri (Behera dkk., 2019), sifat antioksidan, sitotoksitas (Lingaraju dkk., 2020) dan berbagai manfaat lainnya. Berbagai metode telah dikembangkan untuk sintesis senyawa NiO. Pengembangan metode-metode ini pada dasarnya bertujuan untuk memperoleh metode sintesis yang lebih ramah lingkungan, berbiaya rendah, serta mudah diterapkan dan diaplikasikan secara luas. Sebagai material elektroda, NiO dikenal memiliki kapasitas spesifik tinggi (hingga 800 F/g) dan konduktivitas ionik baik, sehingga sangat ideal untuk aplikasi energi terutama dalam baterai dan superkapasitor. Kombinasi NiO dengan fitokimia tanaman diharapkan dapat meningkatkan efisiensi transfer muatan dan memperluas area aktif reaksi elektrokimia.

2.2 Fitofabrikasi

Sintesis NP menggunakan ekstrak tumbuhan yang sering disebut dengan istilah fitosintesis, metode yang sangat sederhana untuk membuat NP karena tidak melibatkan proses kompleks pengawetan dan kultur sel biotik. Fitofabrikasi juga merupakan pendekatan yang sangat cepat dan hemat biaya yang dapat dengan mudah ditingkatkan skalanya untuk produksi NP dalam jumlah besar (Mittal dkk.,

2014). Prinsip-prinsip kimia hijau digunakan untuk fabrikasi dan desain produk nano untuk menghindari efek berbahaya akibat penggunaan produk-produk secara luas. Untuk *green-synthesis* NP ini, ekstrak tumbuhan digunakan sebagai penstabil dan agen pereduksi (Ahmad dkk., 2021).

Selain itu, stabilisasi, fabrikasi, dan reduksi NiO menggunakan ekstrak tumbuhan dapat dicapai dengan menggunakan konstituen biokimia yang terdapat dalam ekstrak tersebut. Oleh karena itu, tumbuhan dianggap sebagai salah satu sumber daya terbaik untuk sintesis oksida logam dan NP logam dalam skala besar dengan ukuran dan morfologi yang berbeda. Ekstrak tumbuhan menyediakan bahan bioaktif, yang bertindak sebagai bio-pabrik stabil untuk sintesis NiO yang dapat didaur ulang dan direproduksi secara ekonomis dan ramah lingkungan (Mittal dkk., 2014).

2.3 Tanaman *C. Odorata*

Tanaman *C. Odorata* merupakan kelompok tanaman family Asteraceae dan dikenal sebagai gulma invasif yang mudah tumbuh serta tersebar luas di wilayah tropis. *C. Odorata* memiliki bentuk daun jorong, ujung atas dan bawah berbentuk runcing, tepi daun bergerigi, permukaan atas dan bawah daun berwarna hijau dengan ukuran panjang daun 6,4-11,8 cm, lebar 3,3-5,9 cm, tulang daun menyirip, tekstur daun berbulu halus dan kedudukan daun tunggal berhadapan (Ance dkk., 2018). Daunnya juga tumbuh berpasangan di sepanjang batang dan cabang serta memiliki batang yang raph dengan tinggi 2-3m. Ekstrak etanol *C. Odorata* diketahui mengandung berbagai senyawa bioaktif, dengan kandungan utama berupa glikosida jantung, terpenoid, dan senyawa fenolik. Selain itu, ekstrak etanol tanaman ini juga dilaporkan mengandung tanin, saponin, flavonoid, betasianin, kuinon, glikosida, serta steroid. Senyawa flavonoid berperan dalam menstabilkan radikal bebas melalui mekanisme donasi gugus hidroksil dan metoksil, serta melalui dukungan sistem konjugasi elektron. Selain flavonoid, alkaloid dan tannins juga termasuk dalam komponen fenolik, dimana komponen fenolik merupakan antioksidan yang kuat (Putry, B dkk., 2021). Tanaman seperti *C. Odorata* mengandung senyawa fenolik, terpenoid, alkaloid, dan flavonoid yang berperan sebagai agen pereduksi alami (*reducing agent*) dan penstabil (*capping*

agent). Senyawa ini dapat menggantikan bahan kimia berbahaya seperti *hydrazine* atau *sodium borohydride* dalam sintesis konvensional. Dengan menggunakan tumbuhan lokal seperti *C. Odorata*, penelitian ini tidak hanya berfokus pada performa material, tetapi juga mendukung konsep ekonomi hijau dan pemanfaatan sumber daya hayati lokal yang mudah diperoleh dan berlimpah.

Tumbuhan *C. Odorata* ini merupakan tanaman tegak dengan tinggi berkisar antara 1-2 meter. Batangnya berkayu, tegak, memiliki rambut halus, dan tampak bergaris membujur sejajar. Daunnya berbentuk segitiga atau lonjong dengan pangkal sedikit membulat serta ujung yang tumpul atau agak meruncing. Tepi daun bergerigi dengan tiga hingga lima tulang daun yang jelas terlihat. Permukaan daun ditutupi bulu halus dan ketika diremas mengeluarkan aroma khas yang menyengat. Bunga kopasanda tersusun dalam bentuk perbungaan majemuk menyerupai malai rata (*corymbus*), di mana setiap kepala bunga berada pada satu bidang datar dengan diameter sekitar 6–15 cm. Bunga-bunganya berwarna lembayung kebiruan. Tanaman ini telah lama dikenal sebagai tanaman obat dan tersebar luas di berbagai wilayah tropis dan subtropis, termasuk Amerika Utara, Asia, Afrika Barat, serta Australia (Elviangraini, 2019), sebagaimana yang ditunjukkan pada Gambar 2.2.



Gambar 2. 2 Tanaman *C. Odorata*
Sumber : *Wikipedia.id*

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Rancangan Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif dengan metode eksperimen untuk mengkaji potensi NP NiO hasil fitofabrikasi ekstrak daun *C. Odorata* sebagai material elektroda baterai listrik. Variabel yang diamati meliputi struktur kristal, morfologi, ukuran partikel, serta sifat elektrokimia yang terkait dengan kinerja elektroda. Melalui karakterisasi tersebut, penelitian bertujuan menilai kelayakan NiO-*C. Odorata* sebagai material elektroda yang ramah lingkungan dan berpotensi memberikan performa penyimpanan energi yang baik.

3.2 Waktu dan Tempat

Penelitian ini dilaksanakan di laboratorium Biokimia Multifungsi Universitas Islam Negeri Ar-Raniry, serta laboratorium pendukung lainnya jika diperlukan, untuk proses ekstraksi, sintesis dan karakterisasi. Pengambilan sampel daun *C. Odorata* dilakukan di Kecamatan Baitussalam, Kabupaten Aceh Besar, Aceh, Indonesia, dengan lokasi geografis pada koordinat 5.605345° LU dan 95.38551° BT, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 3.1. Penelitian berlangsung selama 3 bulan, terhitung pada periode bulan September 2025 hingga November 2025.



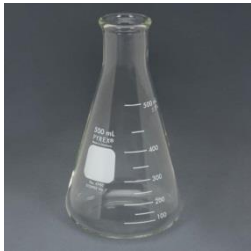
Gambar 3. 1 Peta Lokasi Pengambilan Sampel

3.3 Alat dan Bahan

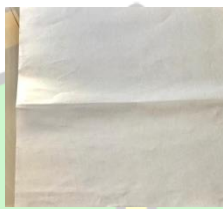
Adapun alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini ditunjukkan pada Tabel 3.1

Tabel 3. 1 Alat dan Bahan

No.	Alat dan Bahan	Gambar	Kegunaan
1.	Timbangan Analitik (Bel Engineering)		Untuk menentukan massa suatu sampel dengan akurasi dan presisi
2.	Furnace (Carbolite)		alat yang digunakan untuk pemanasan, terutama pada suhu tinggi
3.	Gelas Ukur (Pyrex)		untuk mengukur volume cairan dengan skala yang tertera di sisinya
4.	Gelas Kimia (Pyrex)		wadah untuk menampung bahan kimia, baik dalam bentuk cair, padat, pasta, serta untuk melakukan reaksi kimia, melarutkan zat, dan memanaskan cairan

5.	Erlenmayer (Pyrex)		Wadah untuk menampung bahan kimia cair dan padat, yang digunakan untuk proses titrasi, pencampuran larutan, dan kultivasi mikroba.
6.	Oven (Biomed)		Untuk mengeringkan sampel
7.	Mortar dan alu		Sebagai wadah tempat bahan ditumbuk, dan alu untuk menumbuk bahan hingga halus atau tercampur rata
8.	Ayakan 100 mesh		Untuk memisahkan partikel yang lebih besar dari 0.147 mm
9.	Buret (Pyrex)		Mengukur volume zat cair dengan akurat, terutama dalam proses titrasi.
10.	Corong (Pyrex)		Untuk memindahkan cairan dari satu wadah ke wadah lain dengan lebih presisi dan mencegah tumpahan

11.	Termometer (GEA)		Mengukur suhu pada sampel ekstraksi
12.	Daun <i>C. Odorata</i>		Tumbuhan yang digunakan dalam proses fitofabrikasi NP NiO.
13.	Nikel Nitrat Heksahidrat ($\text{Ni}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) (CDH)		Sebagai material elektroda aktif
14.	Aquades (Water Purification System) (Merck)		Sebagai pelarut dalam berbagai proses, terutama pada ekstraksi daun <i>C. Odorata</i> dan sintesis NP NiO.
15.	Natrium Hidroksida (NaOH) (CDH)		Sebagai agen pengatur pH (alkalisator)

16.	Hot plate (DLAB MS-H280-Pro)		Memanaskan sampel atau larutan dalam wadah seperti gelas kimia atau labu erlenmeyer
17.	Magnetic Stirrer		Pengaduk larutan hingga homogen
18.	Kertas Saring Jepang		Pemisah partikel padat dari cairan (filtrasi)

3.4 Prosedur Penelitian

3.4.1 Preparasi sampel

Proses preparasi daun *C. Odorata* sebagai bahan dasar dalam sintesis NP NiO dilakukan melalui beberapa tahap, yaitu pembersihan, pengeringan, dan ekstraksi. Langkah-langkahnya dijelaskan sebagai berikut:

A. Pengumpulan sampel

Daun *C. Odorata* segar dikumpulkan dari lingkungan dengan lokasi tertentu yang bersih dari polusi dan bahan kimia. Daun yang dipilih adalah daun yang tidak layu, tidak rusak, dan tidak terkontaminasi serta daun yang dipilih bukan daun pucuk melainkan daun yang sudah cukup tua. Setelah itu, daun dipisahkan dari tangkai utamanya dan dicacah kasar menggunakan gunting atau pisau untuk memudahkan proses pencucian dan pengeringan (Okto, 2023).

B. Pencucian

Daun *C. Odorata* dicuci dengan air mengalir untuk menghilangkan kotoran, debu, atau kontaminan lainnya. Setelah itu, daun dibilas kembali menggunakan aquades untuk memastikan kebersihannya (Okto, 2023).

C. Pengeringan

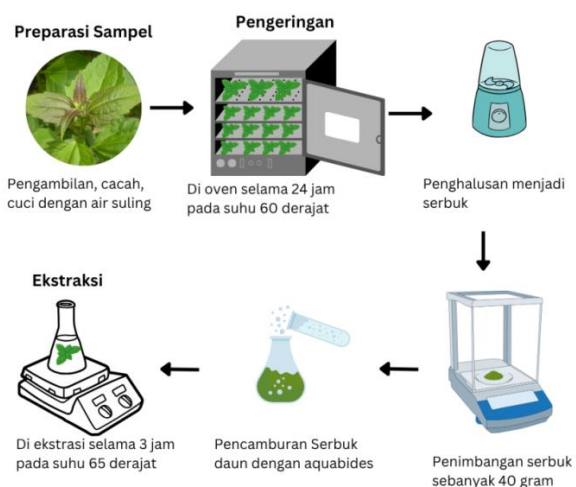
Daun yang telah dicuci kemudian dikeringkan dalam oven pada suhu 60°C selama ± 24 jam hingga daun kering.

D. Penghalusan

Daun kering kemudian dihancurkan menggunakan blender hingga menjadi serbuk halus. Kemudian disaring dengan ayakan 100 mesh agar ukuran partikel seragam.

3.4.2 Ekstraksi

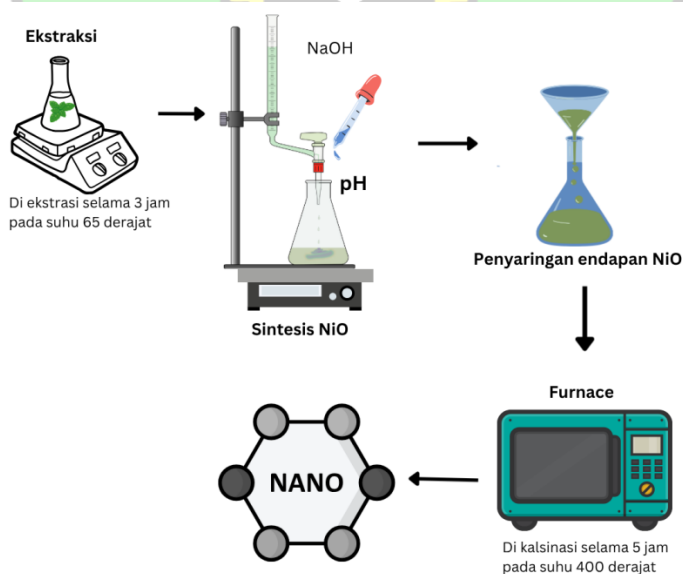
Proses ekstraksi daun *C. Odorata* bertujuan untuk memperoleh senyawa bioaktif yang akan digunakan sebagai reducing agent dalam sintesis NP NiO melalui fitofabrikasi. Ekstraksi dilakukan dengan menghomogenkan serbuk daun dan pelarut aquades. Sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 3.2 Serbuk daun yang telah diayak ditimbang sebanyak 40 gram. Sampel serbuk dimasukkan ke dalam *erlenmayer* 1000 ml dan ditambahkan 1 liter aquades. Campuran serbuk daun dan aquades dipanaskan menggunakan *hotplate* pada suhu 60°C selama 3 jam. Selama proses ini, campuran diaduk secara berkala untuk memastikan ekstraksi senyawa aktif berjalan merata. Setelah 3 jam, larutan ekstrak dibiarkan dingin pada suhu ruang selama ± 15 menit. Ekstrak yang telah dingin disaring menggunakan saringan kain untuk memisahkan cairan dari ampas daun. Hasil filtrat disimpan dalam wadah tertutup rapat dan disimpan di lemari pendingin ($\pm 4^\circ\text{C}$) hingga digunakan untuk proses sintesis.



Gambar 3. 2 Proses Ekstraksi

3.4.3 Sintesis NP NiO

Sintesis NP NiO dilakukan dengan menggunakan nikel nitrat heksahidrat ($\text{Ni}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) yang ditimbang sebanyak 2,9 gram dengan konsentrasi 0,1 M dan dilarutkan ke dalam 100 mL air deionisasi (DI Water), lalu diaduk hingga larut sempurna menggunakan magnetic stirrer dan larutan logam menjadi warna hijau dan homogen, seperti ditunjukkan pada Gambar 3.3 Ekstrak daun *C. Odorata* yang telah diperoleh dari proses sebelumnya ditambahkan ke dalam larutan nikel nitrat secara perlahan dengan perbandingan 1:1, dengan cara di tetes menggunakan buret sambil dia aduk menggunakan magnetic stirrer di atas *hotplate* dengan kecepatan 750 rpm pada suhu 60°C. pH larutan mula-mula diatur dari 9, 10, dan 11. NiO hasil dari ketiga pH dilakukan satu karakterisasi material. Dari hasil pengujian dipilihlah data terbaik untuk dilakukan karakterisasi lanjutan. Setelah pH diatur, pengadukan dilanjutkan selama 30 menit untuk memastikan proses reduksi ion Ni^{2+} menjadi NiO berlangsung sempurna. Selanjutnya larutan di saring menggunakan kertas saring jepang atau kertas saring kasar sampai membentuk endapan. Endapan yang diperoleh dikeringkan di oven pada suhu 80 °C selama 12 jam. Setelah kering, serbuk dikalsinasi di dalam furnace pada suhu 500 °C selama 3 jam untuk memperoleh struktur kristalin NiO yang stabil. Kemudian digerus sampai melewati ayakan 200 mesh.



Gambar 3. 3 Proses fitofabrikasi

3.4.4 Karakterisasi NP NiO

Setelah proses sintesis selesai dilakukan, NP yang terbentuk perlu dilakukan karakterisasi. Tujuan untuk mengukur ukuran, bentuk, distribusi ukuran dan sifat-sifat lainnya (Pawitra dkk., 2021). Karakterisasi dilakukan dengan beberapa pengujian seperti :

A. XRD (*X-Ray Diffraction*)

Spektroskopi X-ray Diffraction merupakan metode analisis yang digunakan untuk mengidentifikasi struktur kristal, fasa, serta kandungan mineral dalam suatu material. Pola difraksi yang dihasilkan berupa difraktogram yang menampilkan puncak-puncak difraksi dengan intensitas relatif pada rentang sudut 2θ tertentu. Intensitas relatif dari setiap puncak dipengaruhi oleh jumlah atom penyusun serta distribusinya di dalam struktur material (Sumari dkk., 2020).

Pengujian XRD bertujuan untuk mengidentifikasi fasa kristalin dari NP NiO yang dihasilkan serta menentukan struktur kristal, tingkat kristalinitas, dan ukuran kristalit. Teknik ini penting untuk memastikan bahwa senyawa NiO telah terbentuk dan memiliki struktur yang sesuai dengan karakteristik material elektrokimia. Peran XRD dalam penelitian ialah membantu mengevaluasi pengaruh massa ekstrak daun *C. Odorata* terhadap tingkat kristalinitas dan ukuran partikel. Skema instrumen XRD yang digunakan dalam proses karakterisasi ditunjukkan pada Gambar 3. 4.



Gambar 3. 4 Instrumentasi XRD
Sumber : [website rigaku.com](http://website.rigaku.com)

B. FTIR (*Fourier Transform Infrared*)

Penggunaan FTIR dalam analisis gugus fungsi bertujuan untuk mengkaji perubahan fisika maupun kimia yang terjadi selama proses pencampuran atau sintesis material (Illing, 2017). Penyerapan radiasi inframerah oleh ikatan kimia tertentu pada bilangan gelombang spesifik menghasilkan spektrum yang dikenal sebagai daerah sidik jari. Pola spektral FTIR, khususnya pada daerah sidik jari, bersifat kompleks sehingga dalam interpretasinya sering memerlukan dukungan metode kemometrik (Puspitasari dkk., 2021). Namun, FTIR memiliki keterbatasan, yaitu komponen analit dalam sampel tidak terpisah, sehingga spektrum serapan antar senyawa dapat saling tumpang tindih (Hendrajaya dkk., 2021).

Pengujian FTIR digunakan untuk mengidentifikasi gugus fungsi kimia yang terdapat dalam ekstrak daun *C. Odorata* dan pada permukaan NP NiO hasil sintesis. Dengan metode ini, dapat diketahui keterlibatan senyawa bioaktif dari ekstrak daun dalam proses reduksi dan stabilisasi NP. Adapun peran pengujian FTIR dalam penelitian ini adalah mengonfirmasi keberadaan senyawa bioaktif pada ekstrak daun *C. Odorata* yang berperan sebagai agen pereduksi dan penstabil dan menunjukkan keterlibatan gugus fungsional dalam proses pembentukan NP NiO. Skema instrumen FTIR yang digunakan dalam proses karakterisasi ditunjukkan pada Gambar 3. 5.



Gambar 3. 5 Instrumentasi FTIR
Sumber : website envilife.co.id

C. HRTEM-EDS (*High-Resolution Transmission Electron Microscope-Energy Dispersive Spectroscopy*)

Alat HRTEM merupakan instrumen yang sangat berharga dalam karakterisasi nanostruktur karena mampu menyediakan berbagai mode pencitraan dengan resolusi tinggi serta memberikan informasi komposisi unsur dan struktur

elektronik dengan sensitivitas yang sangat baik. Seiring dengan berkembangnya penelitian material yang semakin berfokus pada pengoptimalan fungsi dan perilaku material pada skala nano, kebutuhan akan informasi akurat pada resolusi atomik menjadi semakin penting. HRTEM mampu memberikan informasi struktural paling mendetail hingga pada tingkat organisasi atom.

Dalam konteks penelitian ini, pengujian HRTEM digunakan untuk mengamati morfologi, struktur kristal, dan ukuran partikel dari NP NiO hasil fitofabrikasi ekstrak daun *C. Odorata*. Teknik ini bekerja dengan cara menembakkan berkas elektron berenergi tinggi melalui sampel yang sangat tipis, sehingga elektron yang diteruskan akan menghasilkan citra dengan resolusi hingga skala atom. Dari citra HRTEM, dapat diamati pola kisi kristal (*lattice fringe spacing*) yang digunakan untuk mengidentifikasi orientasi dan jarak antar bidang kristal, serta membandingkannya dengan data standar JCPDS No. 47-1049 untuk memastikan struktur khas NiO terbentuk.

Selain itu, sistem EDS yang terintegrasi pada HRTEM digunakan untuk menentukan komposisi unsur penyusun material. Spektrum EDS diharapkan menunjukkan puncak utama unsur Nikel (Ni) dan Oksigen (O), yang menandakan kemurnian NP NiO hasil sintesis. Dengan demikian, kombinasi HRTEM dan EDS berfungsi untuk membuktikan keberhasilan pembentukan struktur kristal NiO, mengidentifikasi kemungkinan adanya aglomerasi atau partikel tunggal, serta menilai keseragaman ukuran dan distribusi partikel hasil fitofabrikasi sebagai material elektroda baterai. Skema instrumen HRTEM-EDS yang digunakan dalam proses karakterisasi ditunjukkan pada Gambar 3. 6.



Gambar 3. 6 Instrumentasi HRTEM

Sumber : Website Science & Engineering Reseach Center (SERC)

D. BET (*Brunauer Emmett Teller*)

Karakterisasi BET merupakan metode yang paling umum digunakan untuk menentukan luas permukaan spesifik, volume pori, dan ukuran pori suatu material berpori. Teknik ini bekerja berdasarkan prinsip adsorpsi dan desorpsi gas nitrogen (N_2) pada permukaan material untuk mengetahui seberapa besar area permukaan yang dapat berinteraksi dengan molekul gas. Semakin besar luas permukaan suatu material, maka semakin tinggi kapasitasnya dalam menahan, menyerap, atau berinteraksi dengan molekul lain, sehingga informasi BET sangat penting dalam penelitian material berpori.

Secara umum, hasil uji BET dapat memberikan gambaran mengenai karakteristik porositas, seperti apakah material termasuk dalam kategori mikropori, mesopori, atau makropori. Material berpori dengan luas permukaan yang besar biasanya memiliki kapasitas adsorpsi lebih tinggi, difusi lebih baik, dan performa lebih optimal dalam berbagai aplikasi seperti adsorben, katalis, superkapasitor, baterai, dan sensor. Gambar berikut menunjukkan contoh kurva isotherm adsorpsi-desorpsi nitrogen sebagai dasar penentuan parameter BET. Skema instrumen BET yang digunakan dalam proses karakterisasi ditunjukkan pada Gambar 3. 7



Gambar 3. 7 instrumentasi BET

Sumber : *website particletechlabs.com*

Salah satu metode karakterisasi karbon aktif untuk mengetahui luas permukaannya adalah melalui uji BET. Luas permukaan menunjukkan kapasitas adsorpsi suatu material berpori.

E. EIS (*Electrochemical Impedance Spectroscopy*)

Secara umum, EIS diterapkan pada dua jenis material, yaitu bahan elektrokimia dan bahan dielektrik. Penerapannya meliputi berbagai sistem, seperti material padat maupun larutan elektrolit, untuk menganalisis respons impedansi terhadap arus bolak-balik (AC) dan memahami karakteristik konduktivitas serta mekanisme perpindahan muatan di dalam material tersebut. Skema instrumen EIS yang digunakan dalam proses karakterisasi ditunjukkan pada Gambar 3. 8.



Gambar 3. 8 Instrumentasi EIS
Sumber : www.mri.psu.edu

Pengukuran ini umumnya dilakukan menggunakan potensiostat yang terintegrasi dengan *Frequency Response Analyzer* (FRA), dan dapat diatur dalam konfigurasi dua atau tiga elektroda, tergantung pada keberadaan elektroda acuan dengan potensial yang diketahui dan stabil. Dalam praktiknya, tegangan DC konstan dapat ditumpangkan pada sinyal AC beramplitudo kecil, di mana amplitudo sinyal ini harus cukup rendah (sekitar 10 mV) agar sistem tetap berada pada kondisi pseudo-linear. Meskipun sistem elektrokimia secara intrinsik bersifat nonlinier, pada rentang sinyal kecil tersebut perilaku sistem dapat dianggap mendekati linear, sehingga hubungan antara arus dan tegangan dapat dianalisis secara kuantitatif menggunakan pendekatan impedansi (Mahendra & Supardi, 2021).

3.5 Analisis Data

3.5.1 XRD (*X-Ray Diffraction*)

Analisis data hasil uji XRD untuk mengidentifikasi fase kristalin serta menentukan struktur kristal dari NP NiO yang dihasilkan melalui fitofabrikasi ekstrak daun *C. Odorata*. Data difraksi yang diperoleh akan dibandingkan dengan data yang merujuk dari JCPDS (*Joint Committee on Powder Diffraction Standards*), khususnya nomor JCPDS No. 47-1049, yang merupakan standar

untuk struktur kristal *face-centered cubic* (FCC) dari NiO seperti pada Tabel 3. 3 berikut:

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

No.	Bidang Kristal (hkl)	Sudut $2\theta(^{\circ})$	$d\text{ (\AA)}$	Intensitas (%)
1.	111	37,06	2,42	19,7
2.	200	43,09	2,10	32,8
3.	220	62,62	1,48	14,6
4.	311	75,09	1,26	17,4
5.	222	79,18	1,20	3

Analisis untuk ukuran kristal XRD menggunakan persamaan Scherrer berikut pada persamaan 3.1 :

$$D = \frac{K \lambda}{\beta \cos \theta} \quad (3.1)$$

Dengan:

D adalah ukuran rata-rata kristal (nm)

λ adalah panjang gelombang sinar X (Cu $K\alpha = 1,5418\text{ \AA}$)

β adalah lebar puncak pada setengah tinggi (FWHM, dalam radian)

θ adalah sudut difraksi (dalam radian)

3.5.2 FTIR (*Fourier Transform Infrared*)

Analisis spektrum FTIR NP NiO untuk mengidentifikasi gugus fungsi dominan yang terdapat pada senyawa NiO, analisis FTIR dilakukan pada suhu kamar. Spektrum yang diperoleh akan dianalisis berdasarkan pergeseran pita serapan (*peak shift*) dan intensitas pita, guna mengetahui keberadaan senyawa organik sisa maupun pembentukan NiO murni. Analisis ini digunakan untuk mengonfirmasi keberhasilan pembentukan ikatan Ni-O serta untuk memastikan tidak ada residu organik dari ekstrak tanaman yang tersisa setelah proses kalsinasi.

3.5.3 HRTEM-EDS (*High Resolution Transmission Electron Microscopy-Energy Dispersive Spectroscopy*)

Analisis HRTEM dan EDS dilakukan untuk mengetahui morfologi, struktur kristal, serta komposisi unsur dari NP NiO hasil fitofabrikasi ekstrak daun *C. Odorata*. Melalui HRTEM, citra beresolusi tinggi akan diamati untuk

mengidentifikasi bentuk, ukuran partikel, serta jarak antar bidang kristal lattice fringe spacing) yang selanjutnya dibandingkan dengan data referensi standar JCPDS No. 47-1049 guna memastikan fase kristal NiO yang terbentuk. Pola *Selected Area Electron Diffraction* (SAED) juga dianalisis untuk mengonfirmasi sifat kristalinitas material. Sementara itu, EDS digunakan secara terintegrasi dengan HRTEM untuk menentukan unsur penyusun utama, yaitu nikel (Ni) dan oksigen (O), serta memeriksa homogenitas distribusinya melalui elemental mapping. Kombinasi kedua teknik ini memberikan gambaran menyeluruh mengenai struktur dan kemurnian material NiO yang dihasilkan, sehingga dapat memastikan bahwa proses fitofabrikasi pada pH 11 berhasil membentuk partikel NiO berstruktur kristalin seragam dan berpotensi optimal sebagai material elektroda baterai.

3.5.4 BET (*Brunauer-Emmett-Teller*)

Hasil karakterisasi BET pada NP NiO hasil fitofabrikasi untuk memberikan informasi mengenai luas permukaan spesifik, volume pori, dan ukuran pori material. Dalam konteks material oksida logam, parameter-parameter tersebut sangat berpengaruh terhadap aktivitas elektrokimia, kapasitas penyimpanan muatan, serta kinetika transport ion ketika material digunakan sebagai elektroda perangkat energi. Isoterm adsorpsi-desorpsi nitrogen yang diperoleh dari pengujian BET memungkinkan identifikasi tipe pori material, apakah termasuk mikropori (<2 nm), mesopori (2-50 nm), atau makropori (>50 nm). Untuk aplikasi elektroda seperti baterai dan superkapasitor, struktur mesopori umumnya lebih diinginkan karena memberikan keseimbangan antara luas permukaan yang besar dan kemudahan difusi ion ke dalam struktur material. NiO yang tersintesis dalam bentuk NP berpotensi memiliki luas permukaan yang tinggi, yang berarti lebih banyak situs aktif untuk terjadinya reaksi redoks.

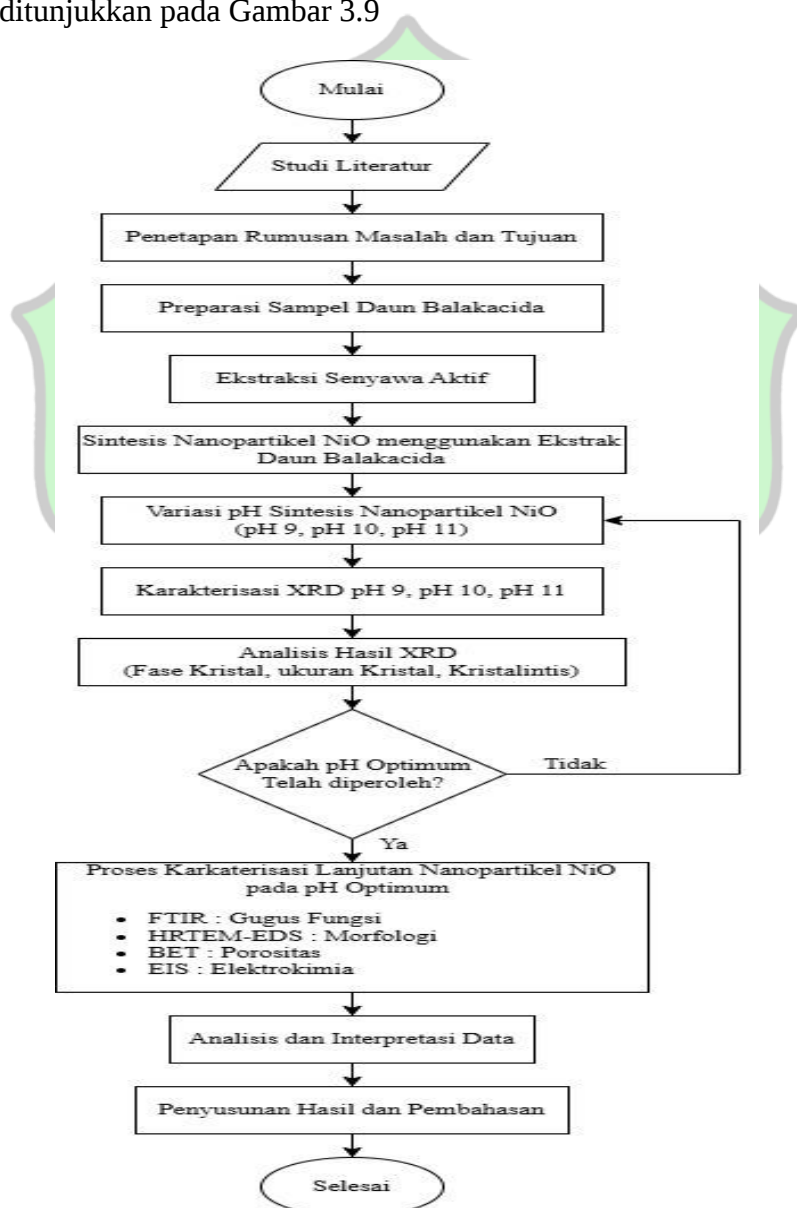
3.5.5 EIS (*Electrochemical Impedance Spectroscop*)

Data EIS akan disajikan dalam bentuk plot Nyquist, yaitu hubungan antara resistansi nyata (Z') dan imajiner (Z''). Representasi pertama adalah plot Nyquist, yaitu grafik yang menampilkan komponen imajiner impedansi (Z'') sebagai fungsi

dari komponen realnya (Z') pada bidang kompleks. Data ini akan digunakan untuk menentukan resistansi transfer muatan (R_{ct}) dan resistansi elektrolit (R_s) dari elektroda NiO. Analisis ini bertujuan untuk mengevaluasi konduktivitas ionik dan efisiensi transfer elektron dari elektroda yang diuji. Plot ini memberikan gambaran langsung mengenai karakteristik resistif dan kapasitif dari sistem elektrokimia.

3.6 Diagram Alir Penelitian

Alur pelaksanaan penelitian secara keseluruhan digambarkan dalam diagram alir yang ditunjukkan pada Gambar 3.9



Gambar 3. 9 Diagram Alir Penelitian

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Penelitian

4.1.1 Sintesis NP NiO

A. Preparasi Ekstrak Daun *C. Odorata*

Daun *C. Odorata* segar dikumpulkan, dicuci bersih dengan air suling untuk menghilangkan debu dan kotoran, kemudian daun yang telah dicuci kemudian dikeringkan menggunakan oven pada suhu 60°C selama ± 24 jam hingga daun krispi. Daun kering digiling hingga berbentuk serbuk halus, kemudian dilakukan proses ekstraksi menggunakan aquades 1 L. Proses ekstraksi dilakukan pada suhu $\pm 60^\circ\text{C}$ selama 3 jam di atas hotplate magnetic stirrer, setelah 3 jam, larutan ekstrak dibiarkan dingin pada suhu ruang selama ± 15 menit. Ekstrak yang telah dingin disaring menggunakan saringan kain untuk memisahkan cairan dari ampas daun. Hasil filtrat disimpan dalam wadah tertutup rapat dan disimpan di lemari pendingin ($\pm 4^\circ\text{C}$) hingga digunakan untuk proses sintesis.



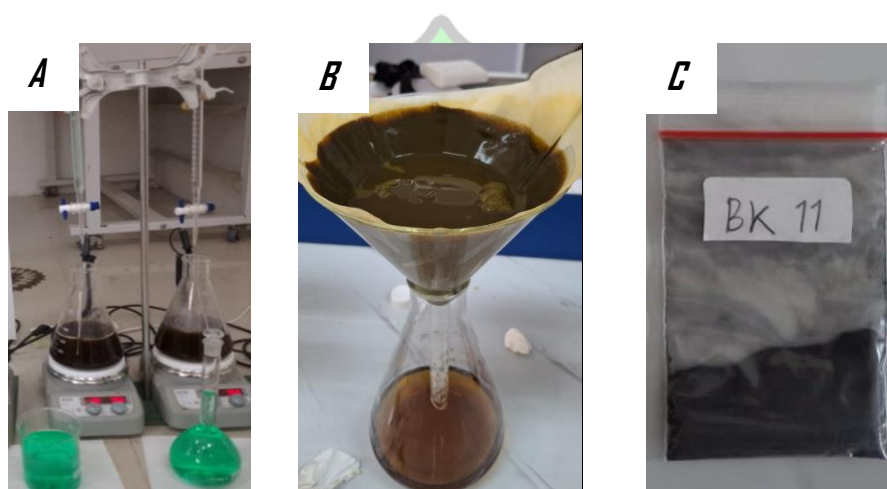
Gambar 4. 1 Proses dan hasil ekstraksi daun *C. Odorata* (a) daun kering sebelum digiling (b) hasil serbuk daun (c) larutan hasil ekstraksi (filtrat akhir).

Hasil ekstraksi menunjukkan larutan berwarna hijau kecokelatan yang menandakan kandungan senyawa bioaktif seperti flavonoid, tanin, dan terpenoid yang berperan sebagai agen pereduksi dan penstabil dalam proses fitofabrikasi NP NiO.

B. Proses Sintesis NP NiO

Sintesis NP NiO dilakukan dengan melarutkan 2,9 gram Nikel nitrat heksahidrat ($\text{Ni}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) ke dalam 100 mL air deionisasi (DI water) hingga

larut homogen. Larutan nikel kemudian dicampurkan secara bertahap dengan 100 mL ekstrak daun *C. Odorata* menggunakan buret sambil diaduk pada 750 rpm di atas hotplate dengan suhu 60°C. Nilai pH disesuaikan menjadi pH 11 menggunakan larutan NaOH 0,1 M. Campuran larutan diaduk selama 30 menit hingga terbentuk endapan berwarna hijau tua. Endapan kemudian disaring, dikeringkan pada suhu 80°C selama 12 jam, dan dikalsinasi pada suhu 500°C selama 3 jam untuk memperoleh serbuk NiO berwarna hitam keabu-abuan, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 4.2.



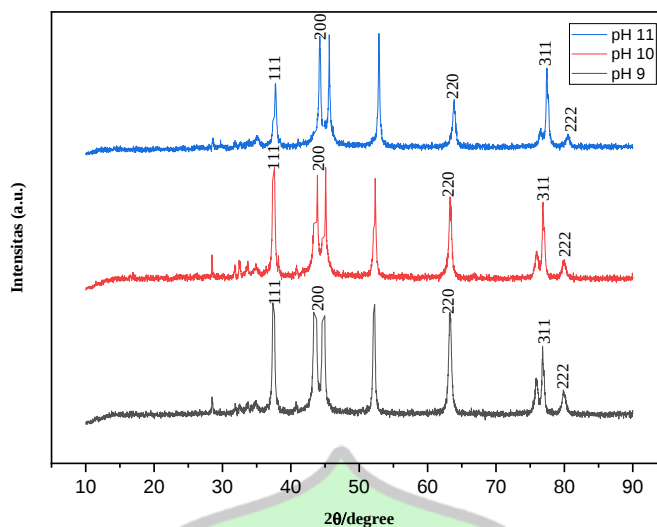
Gambar 4. 2 Proses dan hasil sintesis NP NiO (a) proses pencampuran larutan logam dan ekstrak, (b) endapan NiO sebelum pengeringan, (c) serbuk NiO setelah proses kalsinasi.

Hasil kalsinasi menghasilkan serbuk NiO berwarna hitam keabu-abuan yang menunjukkan terbentuknya oksida logam nikel. Perubahan warna dari hijau menjadi abu-abu menandakan terjadinya reaksi reduksi ion Ni^{2+} menjadi NiO yang dikatalisis oleh senyawa fitokimia dari ekstrak daun *C. Odorata* selama proses fitofabrikasi.

4.1.2 Hasil Karakterisasi NP NiO

A. XRD

Hasil uji XRD pada NP ini menunjukkan keberadaan NiO. Gambar 4.3 merupakan pola XRD dari NP NiO.



Gambar 4. 3 Hasil Karakteristik XRD Variasi pH

Tabel 4. 1 Hasil Perhitungan Ukuran Kristal NiO

No.		Bidang Kristal (hkl)	Sudut $2\theta(^{\circ})$	FWHM	Ukuran Kristal (nm)
1.	pH 11	111	37,08	0,3275	25,59
2.		200	43,62	0,3682	23,24
3.		220	63,89	0,4976	18,81
4.		311	77,53	0,6226	16,54
5.		222	79,96	0,5842	17,35
6.	pH 10	111	37,48	0,2807	29,98
7.		200	43,93	0,3275	26,20
8.		220	63,33	0,4451	20,96
9.		311	75,88	0,5054	19,90
10.		222	79,92	0,1638	63,28
11.	pH 9	111	37,49	0,3275	25,61
12.		200	43,54	0,2047	41,79
13.		220	63,35	0,4913	18,99
14.		311	76,88	0,2374	42,69
15.		222	79,96	0,7466	13,88

Hasil XRD yang disajikan pada Tabel 4.1 menunjukkan bahwa pola difraksi NP NiO yang disintesis menggunakan ekstrak daun *C. Odorata* menampilkan deretan puncak intensitas tinggi pada sudut 2θ sebesar $37,08^{\circ}$; $44,01^{\circ}$; $63,89^{\circ}$; $77,53^{\circ}$; dan $79,96^{\circ}$. Puncak-puncak tersebut masing-masing terindeks sebagai bidang kristal (111), (200), (220), (311), dan (222), yang merupakan ciri khas struktur kristal kubik face-centered cubic (FCC) dari NiO. Kesesuaian posisi

puncak dan indeks bidang kristal ini dengan data standar JCPDS No. 47-1049 mengonfirmasi bahwa fasa utama yang terbentuk pada seluruh sampel adalah NiO.

Selain puncak utama NiO, teramati adanya puncak tambahan berintensitas rendah pada sekitar sudut 2θ 53° . Puncak ini tidak termasuk dalam pola difraksi standar NiO dan diduga berkaitan dengan keberadaan fasa minor seperti $\text{Ni}(\text{OH})_2$ atau sisa nikel hidroksida dalam jumlah sangat kecil, atau residu prekursor yang belum terdekomposisi sempurna selama proses kalsinasi. Namun, karena intensitasnya sangat lemah dan tidak mendominasi pola difraksi, keberadaan puncak ini tidak memengaruhi interpretasi bahwa struktur kristal yang terbentuk secara dominan adalah NiO.

Perbedaan tingkat kristalinitas terlihat jelas pada variasi pH sintesis. Sampel yang disintesis pada pH 11 menunjukkan puncak difraksi yang paling tajam dan intens dibandingkan sampel pH 9 dan pH 10, yang menandakan keteraturan struktur kristal yang lebih baik. Ketajaman puncak tersebut tercermin dari nilai *Full Width at Half Maximum* (FWHM) yang relatif lebih kecil, yang berkorelasi langsung dengan ukuran kristalit yang lebih besar dan derajat keteraturan atom yang lebih tinggi.

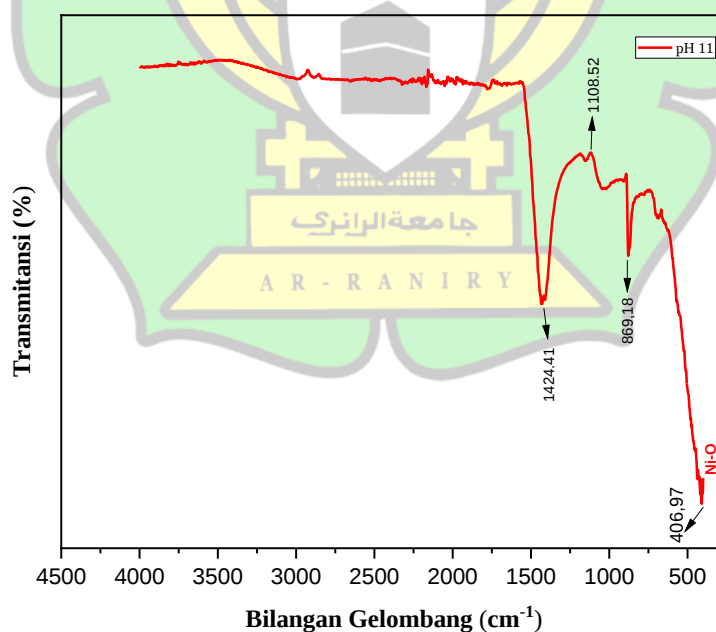
Berdasarkan hasil perhitungan yang disajikan pada Tabel 4.1, ukuran kristalit NiO pada pH 11 berada pada rentang 16,54-25,59 nm, sedangkan sampel pH 10 dan pH 9 menunjukkan variasi ukuran kristalit yang lebih lebar, masing-masing berkisar 19,90-63,28 nm dan 13,88-42,69 nm. Rentang ukuran kristalit yang lebih sempit pada pH 11 menunjukkan distribusi kristalit yang lebih seragam dan pertumbuhan kristal yang lebih terkendali.

Kondisi pH yang lebih basa memberikan lingkungan yang lebih optimal bagi proses nukleasi dan pertumbuhan kristal NiO. Pada pH 11, deprotonasi senyawa fitokimia dalam ekstrak daun *C. Odorata* berlangsung lebih efektif, sehingga meningkatkan peran senyawa tersebut sebagai agen pereduksi dan penstabil selama pembentukan inti NiO. Kondisi ini mendorong pertumbuhan kristal yang lebih teratur, menghasilkan ukuran kristalit yang relatif homogen serta tingkat kristalinitas yang lebih tinggi.

Tidak ditemukannya puncak signifikan lain di luar puncak utama NiO dan puncak minor sekitar 53° menunjukkan bahwa proses kalsinasi pada suhu 500°C mampu mendegradasi prekursor nikel nitrat secara hampir sempurna dan meminimalkan keberadaan residu organik. Secara keseluruhan, analisis XRD mengonfirmasi bahwa sintesis pada pH 11 menghasilkan NP NiO dengan fasa paling murni, kristalinitas tertinggi, serta ukuran kristalit yang seragam pada skala nanometer. Hasil ini sejalan dengan karakterisasi lanjutan seperti HRTEM, BET, dan EIS, yang menunjukkan morfologi nanostruktur yang baik, porositas yang mendukung, serta resistansi transfer muatan yang rendah. Dengan demikian, XRD menjadi dasar kuat yang menunjukkan bahwa NiO hasil fitofabrikasi pada pH 11 merupakan kondisi optimum dan memiliki potensi tinggi untuk diaplikasikan sebagai material elektroda baterai.

B. FTIR

Gugus fungsi pada NP NiO hasil fitofabrikasi ekstrak daun *C. Odorata* dan memastikan terbentuknya ikatan Ni-O sebagai ciri khas nikel oksida. Gambar 4.4 menunjukkan spektrum FTIR hasil pengujian sampel pada pH 11.



Gambar 4. 4 Karakteristik FTIR

Hasil analisis FTIR pada sampel NP NiO hasil fitofabrikasi pH 11 menunjukkan beberapa pita serapan utama yang mengindikasikan keberadaan

جامعة الرانري

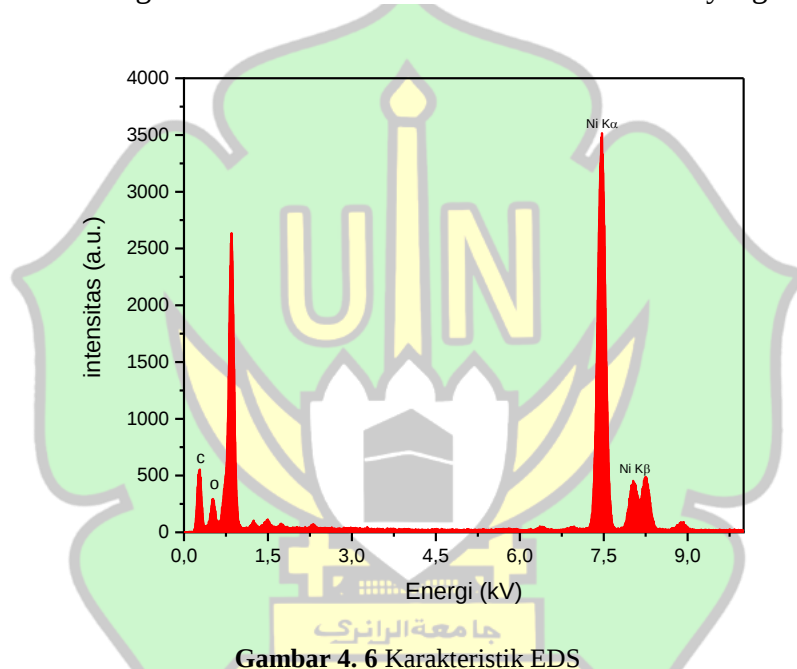
A R - R A N I R Y

la pH 11.



Gambar 4. 5 Karakteristik HRTEM

Hasil karakterisasi HRTEM menunjukkan bahwa NP NiO yang disintesis menggunakan ekstrak daun *C. Odorata* pada pH 11 memiliki morfologi yang tidak sepenuhnya sferis dan cenderung beragregasi, dengan ukuran partikel berada pada kisaran puluhan nanometer. Hal ini sejalan dengan ukuran kristalit yang diperkirakan dari hasil perhitungan XRD. Citra HRTEM juga memperlihatkan pola kisi (*lattice fringes*) yang jelas dan teratur, menandakan keberadaan domain kristal tunggal (*single crystalline region*). Jarak antarbidang (*interplanar spacing*) yang terukur sekitar 0,24 nm (2,4 Å) sesuai dengan salah satu bidang kristal NiO, sehingga mendukung kemurnian dan keteraturan struktur kristal yang diperoleh.



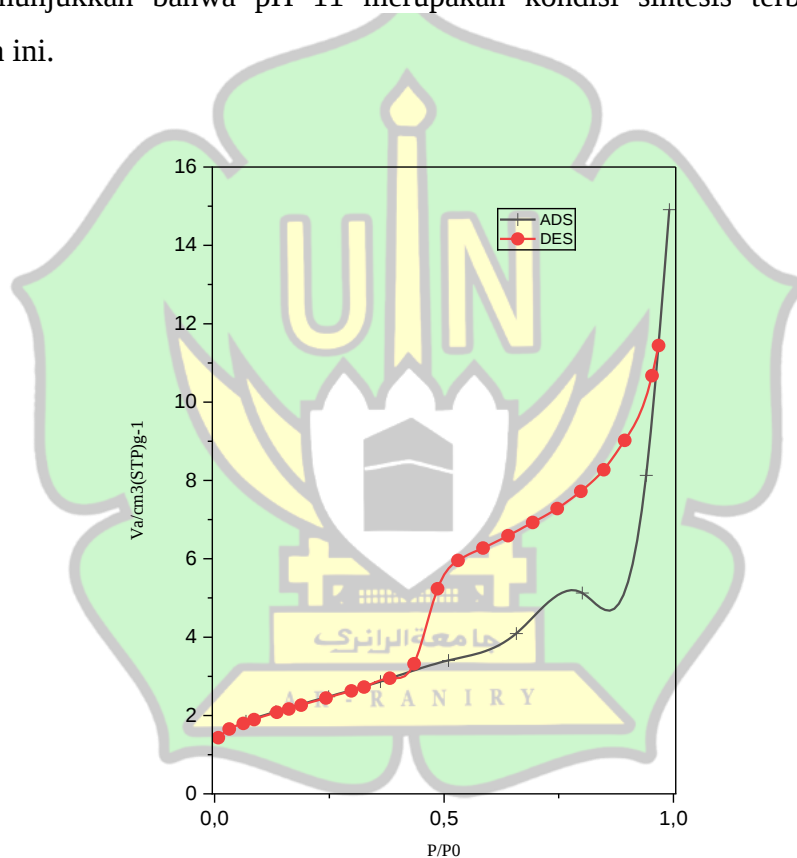
Gambar 4. 6 Karakteristik EDS

Berdasarkan spektrum EDS yang ditunjukkan pada Gambar 4.6. Analisis EDS yang dilakukan secara terintegrasi dengan HRTEM menampilkan spektrum unsur dengan puncak dominan yang berasal dari Nikel (Ni) dan Oksigen (O). Puncak-puncak karakteristik Ni muncul pada energi sekitar 0,85 keV (Ni L α) dan 1,50 keV (Ni L β), serta puncak energi tinggi 7,47 keV (Ni K α) dan 8,27 keV (Ni K β). Sementara itu, unsur O teridentifikasi melalui puncak pada 0,53 keV (O K α). Adanya sinyal lemah dari unsur C dan Al disebabkan oleh penggunaan grid TEM berbahan carbon-coated aluminium, sehingga bukan berasal dari sampel dan tidak memengaruhi interpretasi kemurnian NiO. Komposisi unsur yang didominasi oleh Ni dan O menunjukkan bahwa fasa utama yang terbentuk adalah NiO murni,

tanpa keberadaan fasa lain seperti Ni(OH)_2 atau nikel metal dalam jumlah signifikan. Konsistensi antara hasil EDS dan struktur kristal pada HRTEM mengonfirmasi bahwa proses fitofabrikasi dan kalsinasi pada pH 11 berlangsung optimal, menghasilkan partikel dengan tingkat kemurnian tinggi.

Secara keseluruhan, kombinasi data HRTEM dan EDS menegaskan bahwa sintesis NiO pada pH 11 mampu menghasilkan NP dengan morfologi khas nanokristalin, komposisi unsur murni, struktur kristal terdefinisi, dan ukuran yang sesuai dengan kisaran nano. Temuan ini sejalan dengan hasil XRD, BET, dan EIS yang menunjukkan bahwa pH 11 merupakan kondisi sintesis terbaik dalam penelitian ini.

D. BET



Gambar 4. 7 Karakteristik BET

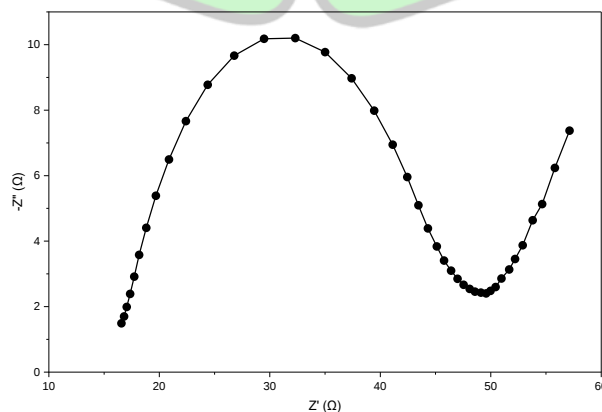
Hasil karakterisasi BET pada sampel NiO pH 11 menunjukkan kurva isotherm adsorpsi-desorpsi nitrogen yang disajikan pada Gambar 4.7, dengan sumbu X berupa tekanan relatif P/P_0 , yaitu perbandingan antara tekanan parsial nitrogen (P) dan tekanan jenuhnya (P_0). Nilai P/P_0 yang bergerak dari 0 hingga 1 digunakan untuk menggambarkan proses adsorpsi pada berbagai kondisi tekanan sehingga

mengungkap sifat pori material, mulai dari pengisian pada mikropori hingga pembentukan multilayer pada mesopori. Pada sumbu Y ditunjukkan volume adsorpsi atau desorpsi nitrogen ($\text{cm}^3(\text{STP})/\text{g}$), yang merepresentasikan jumlah gas nitrogen yang dapat ditampung oleh permukaan dan pori-pori material. Nilai ini berkaitan langsung dengan luas permukaan spesifik dan kapasitas pori dari sampel NiO.

Isoterm yang terbentuk memperlihatkan karakteristik Tipe IV dengan loop histeresis yang jelas pada rentang tekanan menengah, yang merupakan ciri khas material mesopori. Kurva adsorpsi yang meningkat tajam pada tekanan relatif menengah hingga tinggi menunjukkan adanya pengisian pori bertipe kapiler, sementara perbedaan antara kurva adsorpsi dan desorpsi (histeresis) menandakan struktur pori yang tidak sepenuhnya simetris umumnya terkait dengan pori silindris atau ink-bottle. Bentuk isoterm dan volume adsorpsi yang diperoleh mengindikasikan bahwa NiO yang disintesis menggunakan ekstrak *C. Odorata* pada pH 11 memiliki sistem pori yang berkembang baik, struktur internal yang terbentuk secara stabil, serta luas permukaan yang mendukung aplikasi elektrokimia. Hal ini menjadi parameter penting karena porositas dan luas permukaan yang memadai dapat meningkatkan mekanisme transfer ion serta jumlah situs aktif pada material elektroda.

E. EIS

Analisis EIS pada Gambar 4.8 menunjukkan plot Nyquist hasil uji EIS pada sampel pH 11.



Gambar 4. 8 Karakteristik EIS

Analisis EIS pada sampel NiO pH 11 menghasilkan kurva Nyquist dengan bentuk depressed semicircle, yang merupakan ciri khas material elektrode berbasis NP. Intersep kurva pada sumbu Z' di frekuensi tinggi menunjukkan resistansi seri (R_s) sebesar $16,54 \Omega$, yang menggambarkan hambatan ohmik dari elektrolit, elektroda, dan jalur konduksi listrik. Ujung kanan semicircle berada pada $57,14 \Omega$, sehingga resistansi transfer muatan (R_{ct}) dihitung sebesar $40,60 \Omega$. Nilai R_{ct} yang relatif rendah ini mengindikasikan bahwa proses transfer muatan pada antarmuka NiO elektrolit berlangsung cukup efisien, menandakan kualitas struktur kristal, luas permukaan aktif, serta interaksi elektroda-elektrolit yang baik.

Bentuk kurva yang membentuk tidak bulat sempurna (*depressed semicircle*) menunjukkan adanya fenomena ketidakidealan kapasitif yang umum terjadi pada material NP. Hal ini dapat disebabkan oleh distribusi ukuran pori yang tidak sepenuhnya seragam, heterogenitas permukaan, atau adanya variasi tingkat energi situs aktif. Selain itu, diameter semicircle yang tidak terlalu besar menunjukkan bahwa hambatan kinetik reaksi redoks pada permukaan NiO relatif rendah, yang merupakan indikator positif untuk kinerja elektrokimia, terutama pada aplikasi elektroda baterai atau superkapasitor. Dengan demikian, baik nilai R_{ct} maupun bentuk kurva memberikan bukti kuat bahwa NiO yang disintesis pada pH 11 memiliki karakter elektrokimia yang stabil, responsif, dan mendukung proses transfer elektron yang cepat.

Berdasarkan dari seluruh pengujian yang dilakukan menggunakan fitofabrikasi NP, dapat dirangkumkan pada Tabel 4.2

Tabel 4. 2 Akumulasi Data Pengujian NiO

No.	Metode Karakterisasi	Parameter	Hasil Utama	Analisis Pengujian
1.	XRD	Pola difraksi, indeks bidang	Puncak utama pada $2\theta = 37,08^\circ, 44,01^\circ, 63,89^\circ, 77,53^\circ, 79,96^\circ$, sesuai bidang	Menunjukkan terbentuknya fase kristal NiO struktur FCC dengan

		kristal, ukuran kristalit	(111), (200), (220), (311), (222); puncak tambahan pada $\sim 53^\circ$.	kristalinitas tinggi; pH 11 menghasilkan puncak paling tajam dan teratur.
2.	FTIR	Gugus fungsi dan vibrasi ikatan Ni-O	Serapan kuat Ni-O pada $400-600\text{ cm}^{-1}$; serapan minor dari OH dan CO_2 .	Mengonfirmasi keberhasilan pembentukan fasa NiO dan berkurangnya komponen organik setelah kalsinasi.
3.	HRTEM-EDS	Morfologi nanoscale, jarak kisi, komposisi unsur	Partikel nano dengan lattice fringe jelas; unsur Ni dan O dominan (Ni $K\alpha/K\beta$ 7,47-8,27 keV; O $K\alpha$ $\sim 0,53$ keV).	Menunjukkan struktur nanokristal yang teratur serta komposisi unsur murni tanpa pengotor signifikan.
4.	BET	Luas permukaan, volume pori, tipe pori	Isoterm Tipe IV dengan karakter mesopori; penyerapan meningkat pada P/P_0 menengah.	Menunjukkan karakter porositas yang mendukung difusi ion dan area aktif tinggi untuk aplikasi elektroda.
5.	EIS	Resistansi seri (R_s), resistansi transfer muatan (R_{ct})	$R_s = 16,54\ \Omega$; $R_{ct} = 40,60\ \Omega$; semicircle terdepresi.	Resistansi rendah menandakan proses transfer muatan cepat dan interaksi elektrokimia yang efisien.

4.2 Pembahasan

Karakterisasi XRD NP NiO yang disintesis menggunakan ekstrak daun *C. Odorata* pada pH 11 menunjukkan difraktogram dengan lima puncak utama pada sudut 2θ $37,08^\circ$, $44,01^\circ$, $63,89^\circ$, $77,53^\circ$, dan $79,96^\circ$, yang terindeks sebagai bidang kristal (111), (200), (220), (311), dan (222). Pola ini sesuai dengan standar NiO fasa kubik FCC berdasarkan database JCPDS No. 47-1049, mengonfirmasi pembentukan fasa NiO murni. Puncak lemah sekitar 53° mengindikasikan fasa minor berbasis nikel, seperti NiOOH, akibat oksidasi parsial selama sintesis dan kalsinasi. Ukuran kristalit pada pH 11 berkisar 16,54–25,59 nm, menunjukkan partikel nano dengan struktur kristal seragam. Dibandingkan sampel pH 9 dan 10, nilai FWHM yang lebih rendah pada sebagian besar puncak difraksi menunjukkan ukuran kristalit lebih terkontrol dan kristalinitas lebih optimal, dengan kisi kristal yang lebih teratur. Pola difraksi ini mirip dengan hasil penelitian (Ramkumar dkk., 2022), yang melaporkan sinyal NiO pada $37,3^\circ$, $43,3^\circ$, $62,9^\circ$, $75,4^\circ$, dan $79,4^\circ$, memperkuat efektivitas fitofabrikasi *C. Odorata* dalam menghasilkan struktur FCC yang kokoh. Puncak yang lebih runcing pada pH 11, dengan FWHM kecil, menandai derajat kristalisasi unggul dan dimensi kristal teratur, sesuai dengan temuan (Ramkumar dkk., 2022) bahwa FWHM rendah berkorelasi dengan kristalisasi optimal. Kesesuaian ini menegaskan potensi fitofabrikasi untuk menghasilkan NiO berkualitas tinggi.

Spektrum FTIR NP NiO hasil sintesis pada pH 11 menunjukkan beberapa pita serapan khas yang mengonfirmasi keberhasilan pembentukan fasa NiO. Pita serapan kuat muncul pada $406,97\text{ cm}^{-1}$, yang merupakan vibrasi rentangan Ni-O. Rentang $400\text{--}600\text{ cm}^{-1}$ telah banyak dilaporkan sebagai vibrasi fundamental ikatan Ni-O dalam struktur kristal NiO, sehingga puncak ini menjadi indikator utama keberhasilan sintesis oksida logam melalui proses fitofabrikasi. Selain itu, pita serapan lain seperti $1424,41\text{ cm}^{-1}$, $1108,52\text{ cm}^{-1}$, dan $869,18\text{ cm}^{-1}$ menunjukkan keberadaan gugus-gugus organik sisa fitokimia dari ekstrak daun *C. Odorata* yang berperan sebagai agen pereduksi dan penstabil selama proses sintesis. Pita pada 1424 cm^{-1} terkait dengan vibrasi C-O dari senyawa polifenol, sedangkan pita sekitar 1108 cm^{-1} berkaitan dengan gugus C-O-C atau C-N yang lazim ditemukan

pada metabolit tanaman. Kemunculan pita-pita ini menunjukkan bahwa sebagian kecil biomolekul masih teradsorpsi di permukaan NP, suatu fenomena umum pada sintesis berbasis biomassa. Hasil ini konsisten dan juga di jelaskan pada penelitian sebelumnya dalam artikel *Green-Synthesis NiO/Ti-PCH* oleh (Yahya dkk., 2025), yang menjelaskan puncak Ni-O berada pada rentang $440\text{--}500\text{ cm}^{-1}$ serta kemunculan pita organik pada bilangan gelombang lebih tinggi akibat keberadaan gugus hidroksil dan sisa senyawa tanaman pada material hasil sintesis. Kesamaan rentang vibrasi Ni-O antara penelitian ini dan literatur tersebut menunjukkan bahwa mekanisme pembentukan NiO melalui jalur reduksi biomolekul berlangsung dengan cara yang serupa, meskipun bahan nabati dan kondisi sintesis berbeda. Dengan demikian, spektrum FTIR tidak hanya mengonfirmasi terbentuknya fasa NiO, tetapi juga memperlihatkan keberadaan gugus organik yang relevan dalam proses stabilisasi NP.

Karakterisasi HRTEM NP NiO yang disintesis menggunakan ekstrak *C. Odorata* pada pH 11 mengungkapkan morfologi dominan semi-sferis hingga tidak beraturan, dengan aglomerasi ringan akibat interaksi antarpartikel dan gaya kapiler selama pengeringan. Ukuran partikel dalam skala nanometer dan distribusinya seragam menegaskan pembentukan struktur nano yang sukses. Temuan ini sejalan dengan penelitian (Ezhilarasi dkk., 2016) yang melaporkan morfologi sferis hingga silindris pada NiO hasil *green-synthesis* menggunakan *Moringa oleifera*, dengan aglomerasi moderat disebabkan oleh pelepasan panas dan evolusi gas. Fenomena aglomerasi ini umum pada NP logam oksida tanpa surfaktan sintesis, di mana interaksi antarpartikel mendominasi, sehingga mekanisme nukleasi dan pertumbuhan kristal melalui jalur fitokimia cenderung menghasilkan morfologi sferis dengan aglomerasi terkontrol. Analisis EDS mendeteksi elemen dominan Ni dan O, dengan puncak karakteristik pada energi $0,7\text{--}1,0\text{ keV}$ untuk O-K α , $7,47\text{ keV}$ untuk Ni-K α , dan $8,27\text{ keV}$ untuk Ni-K β , tanpa indikasi pengotor. Konsistensi ini dengan hasil (Ezhilarasi dkk., 2016) yang juga menunjukkan hanya keberadaan Ni dan O, menegaskan efektivitas biomolekul tanaman sebagai reduktor dan penstabil alami dalam *green-synthesis*, menghasilkan NiO dengan kemurnian setara metode konvensional. Secara

keseluruhan, data HRTEM dan EDS mengindikasikan NP NiO dengan morfologi nanosferis, aglomerasi minimal, dan komposisi kimia murni, sesuai karakteristik berkualitas tinggi dalam literatur. Kesesuaian ini memperkuat validitas ekstrak *C. Odorata* sebagai agen pembentuk NP NiO yang stabil dan homogen.

Karakterisasi BET dari NP NiO hasil sintesis pada pH 11. Isoterm adsorpsi dan desorpsi nitrogen yang terbentuk menunjukkan tipe IV dengan histeresis H3, yang merupakan ciri khas material mesopori berstruktur agregat atau platelet yang tidak sepenuhnya tertutup pori. Pola ini menegaskan bahwa NP NiO yang diperoleh memiliki porositas meso yang berperan penting dalam meningkatkan area aktif permukaan. Berdasarkan grafik, peningkatan kapasitas adsorpsi pada rentang $P/P_0 = 0,5-1$ mengindikasikan adanya *capillary condensation* dalam pori berukuran menengah. Nilai P/P_0 (x-axis) menggambarkan tekanan relatif adsorbat nitrogen, sedangkan volume adsorpsi (y-axis) menunjukkan jumlah nitrogen yang teradsorpsi pada kondisi isoterm. Kedua parameter ini menjadi dasar perhitungan luas permukaan menggunakan model BET. Hasil analisis menunjukkan bahwa NiO-C. *Odorata* memiliki luas permukaan spesifik yang cukup besar, mencerminkan struktur mesopori yang berkembang baik. Luas permukaan yang tinggi ini penting dalam aplikasi elektroda baterai karena menyediakan lebih banyak situs reaktif bagi proses redoks Ni^{2+}/Ni^{3+} serta memfasilitasi transport ion. Temuan ini sejalan dengan penelitian (Mishra dkk., 2018) yang menjelaskan bahwa struktur NiO nanopetals dengan isoterm tipe IV dan histeresis H3 memiliki luas permukaan sebesar $114,936 \text{ m}^2/\text{g}$ dengan ukuran pori rata-rata 3,7 nm, menunjukkan karakter mesopori yang seragam. Pola isoterm yang muncul pada penelitian NP NiO pada pH 11 menunjukkan kesamaan perilaku adsorpsi sehingga memperkuat bahwa fitofabrikasi juga mampu menghasilkan pori meso yang sesuai untuk aplikasi elektrokimia. Dengan demikian, hasil BET penelitian ini membuktikan bahwa struktur pori NP NiO pada pH 11 telah terbentuk dengan baik dan memberikan luas permukaan aktif yang memadai untuk mendukung performa elektroda dalam proses penyimpanan energi.

Hasil karakterisasi EIS pada material NiO-C. *Odorata* pH 11 menunjukkan kurva Nyquist berbentuk depressed semicircle yang menandakan proses transfer

muatan yang berlangsung secara dominan melalui mekanisme charge-transfer. Nilai resistansi transfer muatan (R_{ct}) diperoleh sebesar $41,57 \Omega$, dihitung dari selisih intersep frekuensi tinggi $16,54 \Omega$ dan frekuensi rendah $57,14 \Omega$. Nilai R_{ct} yang rendah ini menunjukkan bahwa material elektroda memiliki hambatan antarmuka yang minimal serta jalur perpindahan ion-elektron yang efisien. Bentuk semicircle yang tidak sempurna mengindikasikan adanya surface heterogeneity dan distribusi pori yang luas, yang juga didukung oleh data BET dan HRTEM yang menunjukkan morfologi mesopori. Karakteristik ini sejalan dengan prinsip kinetika elektrokimia yang dijelaskan oleh (Hayat dkk., 2024), bahwa material NiO dengan struktur permukaan aktif dan porositas tinggi cenderung menghasilkan kurva Nyquist dengan semicircle kecil akibat rendahnya resistansi transfer muatan. Dengan demikian, hasil EIS memperkuat bahwa NiO pada pH 11 memiliki kemampuan transport ion dan elektron yang sangat baik, sehingga berpotensi optimal sebagai material elektroda baterai.

Secara keseluruhan, hasil karakterisasi menunjukkan bahwa NP NiO hasil fitofabrikasi ekstrak daun *C. Odorata* memiliki potensi yang kuat sebagai material elektroda baterai. Struktur kristal fasa kubik FCC dengan kristalinitas tinggi dan ukuran kristalit berskala nano mendukung kestabilan struktur serta kinetika reaksi elektrokimia yang baik. Karakter mesopori dengan luas permukaan aktif yang memadai memfasilitasi difusi ion serta interaksi elektroda dan elektrolit, sementara distribusi unsur Ni dan O yang homogen menunjukkan kemurnian komposisi material. Nilai resistansi transfer muatan yang relatif rendah menandakan kemampuan transfer elektron yang efisien, yang merupakan parameter penting dalam kinerja elektroda. Dengan demikian, kombinasi sifat struktural, tekstural, dan elektrokimia tersebut mengindikasikan bahwa NiO hasil fitofabrikasi berpotensi diaplikasikan sebagai elektroda baterai berbasis oksida logam yang efisien dan ramah lingkungan.

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

1. Nanopartikel NiO yang disintesis melalui metode fitofabrikasi menggunakan ekstrak *C. Odorata* berhasil dikarakterisasi dengan baik. Hasil karakterisasi menunjukkan bahwa NP NiO yang dihasilkan memiliki fase kristalin khas NiO, ukuran partikel pada skala nano, serta komposisi unsur yang sesuai dengan rasio stoikiometri nikel dan oksigen. Temuan ini mengindikasikan bahwa ekstrak *C. Odorata* berperan efektif sebagai agen pereduksi dan penstabil dalam proses pembentukan nanopartikel NiO.
2. Nanopartikel NiO hasil fitofabrikasi menunjukkan potensi yang baik sebagai kandidat material elektroda. Hal ini ditunjukkan oleh kesesuaian sifat struktural dan kimia, termasuk kristalinitas yang baik dan komposisi stoikiometri yang mendukung kestabilan material. Karakteristik tersebut menjadikan NP NiO hasil fitofabrikasi berpotensi untuk diaplikasikan sebagai material elektroda pada sistem penyimpanan energi.

5.2 Saran

Selama proses penelitian, ditemukan bahwa karakter ekstrak daun *C. Odorata* menunjukkan variasi pada setiap kali proses ekstraksi, terutama pada aspek warna dan kejernihan. Variasi ini diduga dipengaruhi oleh perbedaan kondisi awal bahan tanaman, seperti tingkat kesegaran daun, serta oleh ketidakstabilan suhu selama tahap pengeringan di oven, yang berpotensi menyebabkan perubahan kandungan senyawa fitokimia yang berperan sebagai agen pereduksi dalam sintesis NP. Untuk itu, disarankan agar suhu pengeringan dikontrol lebih stabil dan prosedur ekstraksi distandarisasi secara ketat, sehingga karakter ekstrak lebih konsisten dan NP NiO yang dihasilkan memiliki kualitas yang lebih seragam.

DAFTAR PUSTAKA

- Ahmad, B., Shireen, F., Rauf, A., Shariati, M. A., Bashir, S., Patel, S., Khan, A., & Rebezov, M. (2021). *Phyto - fabrication, purification, characterisation, optimisation, and biological competence of nano - silver*. August 2020, 1–18. <https://doi.org/10.1049/nbt2.12007>
- Ance, P. E. (Paulina), Wijaya, S. (Sumi), & Setiawan, H. K. (Henry). (2018). Standarisasi dari Daun Kirinyuh (*Chromolaena Odorata*) dan Simplisia Kering dari Tiga Daerah yang Berbeda. *Journal of Pharmacy Science and Practice*, 5(2), 79–86. <https://www.neliti.com/publications/456374/>
- Behera, N., Arakha, M., Priyadarshinee, M., Pattanayak, B. S., Soren, S., Jha, S., & Mallick, B. C. (2019). Oxidative stress generated at nickel oxide nanoparticle interface results in bacterial membrane damage leading to cell death. *RSC Advances*, 9(43), 24888–24894. <https://doi.org/10.1039/c9ra02082a>
- Elviangraini, J. (2019). Preformulasi dan Evaluasi Sediaan Tablet dari Ekstrak Etanol Daun Kopasanda (*Chromolaena odorata* L.) dengan Variasi Gelatin sebagai Bahan Pengikat. *Institut Kesehatan Helvetia Medan*, 1–78. [http://repository.helvetia.ac.id/id/eprint/2553/7/Skripsi_Junia_Elviangraini_\(1501196171\).pdf](http://repository.helvetia.ac.id/id/eprint/2553/7/Skripsi_Junia_Elviangraini_(1501196171).pdf)
- Ezhilarasi, A., Vijaya, J. J., Kaviyarasu, K., Maaza, M., & Kennedy, L. J. (2016). Green synthesis of NiO nanoparticles using *Moringa oleifera* extract and their biomedical applications: Cytotoxicity effect of nanoparticles against HT-29 cancer cells. *JPB*. <https://doi.org/10.1016/j.jphotobiol.2016.10.003>
- Hayat, A., Dawi, E., Tahira, A., Bhatti, M. A., Halepoto, I. A., Ali, G., Mahar, I. A., Naz, I., Shah, A. A., Solangi, A. G., Aftab, U., Alshammari, R. H., Nafady, A., Vigolo, B., & Ibupoto, Z. H. (2024). Phytochemical-enhanced NiO nanostructures for superior oxygen evolution and asymmetric supercapacitor applications. *Nano Express*, 5(4). <https://doi.org/10.1088/2632-959X/ad9ac0>

- Hendrajaya, K., Jamailah, N., & Azminah, A. (2021). Identifikasi Alkohol dalam Hand Sanitizer secara Fourier Transform Infra Red (FTIR) dan Kemometrik. *MPI (Media Pharmaceutica Indonesiana)*, 3(4), 208–216. <https://doi.org/10.24123/mpi.v3i4.4627>
- Imran Din, M., & Rani, A. (2016). Recent advances in the synthesis and stabilization of nickel and nickel oxide nanoparticles: A green adeptness. *International Journal of Analytical Chemistry*, 2016. <https://doi.org/10.1155/2016/3512145>
- Lingaraju, K., Raja Naika, H., Nagabhushana, H., Jayanna, K., Devaraja, S., & Nagaraju, G. (2020). Biosynthesis of Nickel oxide Nanoparticles from *Euphorbia heterophylla* (L.) and their biological application. *Arabian Journal of Chemistry*, 13(3), 4712–4719. <https://doi.org/10.1016/J.ARABJC.2019.11.003>
- Mahendra, A., & Supardi, Z. A. I. (2021). Sebuah Review: Spektroskopi Impedansi Elektrokimia Dan Aplikasinya Dalam Baterai Lithium-Ion. *Inovasi Fisika Indonesia*, 10(2), 59–67. <https://doi.org/10.26740/ifi.v10n2.p59-67>
- Mishra, S., Yogi, P., Sagdeo, P. R., & Kumar, R. (2018). Mesoporous Nickel Oxide (NiO) Nanopetals for Ultrasensitive Glucose Sensing. 0–6. <https://doi.org/10.1186/s11671-018-2435-3>
- Mittal, J., Batra, A., Singh, A., & Sharma, M. M. (2014). *Phytofabrication of nanoparticles through plant as nanofactories*. <https://doi.org/10.1088/2043-6262/5/4/043002>
- Rahma, N., A., Wisnuwardhani, H., A., & Arumsari, A., (2022). Studi Literatur Sintesis, Karakterisasi serta Kajian Aktivitas Antioksidan Nanopartikel Emas. *Bandung Conference Series: Pharmacy*, 2(2), 42–47. <https://doi.org/10.29313/bcsp.v2i2.3265>
- Naseer, M., Aslam, U., Khalid, B., & Chen, B. (2020). Green route to synthesize

Zinc Oxide Nanoparticles using leaf extracts of *Cassia fistula* and *Melia azadarach* and their antibacterial potential. *Scientific Reports*, 10(1), 1–10.
<https://doi.org/10.1038/s41598-020-65949-3>

Okto, H. S. (2023). *Review : Green Synthesis Nanopartikel Tio 2 Sebagai Material Fotokatalis*. 12, 82–91.

Pawitra, T., Setiawan, A., & Ramadani, T. A. (2021). Sintesis dan Karakterisasi Kitosan-Silika dari Abu Ampas Tebu sebagai Adsorben Logam Berat Cu(II). *Reka Buana : Jurnal Ilmiah Teknik Sipil dan Teknik Kimia*, 6(1), 70–77.
<https://doi.org/10.33366/rekabuana.v6i1.2267>

Putry, B, O., E, H., & Y, S. T. (2021). Systematic Review : Efektivitas Ekstrak Daun Kirinyuh (*Chromolaena Odorata*) Terhadap Penyembuhan Luka Studi In Vivo Dan In Vitro. *Seminar Nasional Riset Kedokteran, Sensorik Ii*, 1–13.

Qing, Z., Haixia, L., Huali, L., Yu, L., Huayong, Z., & Tianduo, L. (2015). Solvothermal synthesis and photocatalytic properties of NiO ultrathin nanosheets with porous structure. *Applied Surface Science*, 328, 525–530.
<https://doi.org/10.1016/J.APSUSC.2014.12.077>

Ramkumar, R., Dhakal, G., Shim, J. J., & Kim, W. K. (2022). NiO/Ni Nanowafer Aerogel Electrodes for High Performance Supercapacitors. *Nanomaterials*, 12(21). <https://doi.org/10.3390/nano12213813>

Sumari, S., Prakasa, Y. F., Asrori, M. R., & Baharintasari, D. R. (2020). Analisis Kandungan Mineral Pasir Pantai Bajul Mati Kabupaten Malang Menggunakan XRF dan XRD. *Fullerene Journal of Chemistry*, 5(2), 58.
<https://doi.org/10.37033/fjc.v5i2.154>

Verma, V., Al-Dossari, M., Singh, J., Rawat, M., Kordy, M. G. M., & Shaban, M. (2022). A Review on Green Synthesis of TiO₂ NPs: Synthesis and Applications in Photocatalysis and Antimicrobial. *Polymers*, 14(7).
<https://doi.org/10.3390/polym14071444>

Yahya, A., Nurhayati, L., & Utami, S. (2025). Green Synthesis of NiO/TI-PCH Via Hydrothermal Method for Enhanced Catalytic Efficiency. *Sains Natural: Journal of Biology and Chemistry*, 15(2), 83–91. <https://doi.org/10.31938/jsn.v15i2.765>



LAMPIRAN

Lampiran 1 Perhitungan Data Riset dan Karakterisasi

1. Persamaan Perhitungan Molaritas Larutan

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

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

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

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

$$29,1 = 10x$$

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

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

2. Perhitungan Rumus Nilai Kristal (D) Pengujian XRD sampel NiO

a. Nilai Kristal Pada pH 11

- Puncak (111)

$$\theta = \frac{2\theta}{2}$$

$$\theta = \frac{37,08}{2} = 18,54^\circ$$

$$\theta_{\text{rad}} = \theta \times \frac{\pi}{180}$$

$$\theta_{\text{rad}} = 18,54^\circ \times \frac{3,14}{180}$$

$$\theta_{\text{rad}} = 0,32342$$

$$FWHM(\beta) = 0,3275 \times \frac{\pi}{180}$$

$$FWHM(\beta) = 0,0057131 \text{ rad}$$

$$D = \frac{k\lambda}{\beta \cos \theta}$$

$$D = \frac{0,9 \times 1,5406}{0,0057131 \text{ rad} \cos(0,32342)}$$

$$D = \frac{1,38654}{0,0054169 \text{ rad}}$$

$$D = 255,96559 \text{ \AA}$$

$$D = 25,59 \text{ nm}$$

- Puncak (200)

$$\theta = \frac{2\theta}{2}$$

$$\theta = \frac{43,62}{2} = 21,81^\circ$$

$$\theta_{rad} = \theta \times \frac{\pi}{180}$$

$$\theta_{rad} = 21,81^\circ \times \frac{3,14}{180}$$

$$\theta_{rad} = 0,3804633$$

$$FWHM(\beta) = 0,3682 \times \frac{\pi}{180}$$

$$FWHM(\beta) = 0,006425 \text{ rad}$$

$$D = \frac{k\lambda}{\beta \cos \theta}$$

$$D = \frac{0,9 \times 1,5406}{0,006425 \text{ rad} \cos(0,3804633)}$$

$$D = \frac{1,38654}{0,0059656 \text{ rad}}$$

$$D = 232,42256 \text{ \AA}$$

$$D = 23,242 \text{ nm}$$

- Puncak (220)

$$\theta = \frac{2\theta}{2}$$

$$\theta = \frac{83,89}{2} = 31,945^\circ$$

$$\theta_{rad} = \theta \times \frac{\pi}{180}$$

$$\theta_{rad} = 31,945^\circ \times \frac{3,14}{180}$$

$$\theta_{rad} = 0,557262$$

$$FWHM(\beta) = 0,4976 \times \frac{\pi}{180}$$

$$FWHM(\beta) = 0,008685 \text{ rad}$$

$$D = \frac{k\lambda}{\beta \cos \theta}$$

$$D = \frac{0,9 \times 1,5406}{0,008685 \text{ rad} \cos(0,557262)}$$

$$D = \frac{1,38654}{0,007371 \text{ rad}}$$

$$D = 188,1074 \text{ \AA}$$

$$D = 18,81 \text{ nm}$$

- Puncak (311)

$$\theta = \frac{2\theta}{2}$$

$$\theta = \frac{77,53}{2} = 38,765^\circ$$

$$\theta_{rad} = \theta \times \frac{\pi}{180}$$

$$\theta_{rad} = 38,765^\circ \times \frac{3,14}{180}$$

$$\theta_{rad} = 0,676233$$

$$FWHM(\beta) = 0,6226 \times \frac{\pi}{180}$$

$$FWHM(\beta) = 0,01087 \text{ rad}$$

$$D = \frac{k\lambda}{\beta \cos \theta}$$

$$D = \frac{0,9 \times 1,5406}{0,01087 \text{ rad} \cos(0,676233)}$$

$$D = \frac{1,38654}{0,0084779 \text{ rad}}$$

$$D = 163,5475 \text{ \AA}$$

$$D = 16,354 \text{ nm}$$

- Puncak (222)

$$\theta = \frac{2\theta}{2}$$

$$\theta = \frac{79,69}{2} = 39,98^\circ$$

$$\theta_{\text{rad}} = \theta \times \frac{\pi}{180}$$

$$\theta_{\text{rad}} = 39,98^\circ \times \frac{3,14}{180}$$

$$\theta_{\text{rad}} = 0,697428$$

$$FWHM(\beta) = 0,5842 \times \frac{\pi}{180}$$

$$FWHM(\beta) = 0,01020 \text{ rad}$$

$$D = \frac{k\lambda}{\beta \cos \theta}$$

$$D = \frac{0,9 \times 1,5406}{0,01020 \text{ rad} \cos(0,697428)}$$

$$D = \frac{1,38654}{0,007818 \text{ rad}}$$

$$D = 177,3522 \text{ \AA}$$

$$D = 17,35 \text{ nm}$$

a. Nilai Kristal Pada pH 10

- Puncak (111)

$$\theta = \frac{2\theta}{2}$$

$$\theta = \frac{37,48}{2} = 18,74^\circ$$

$$\theta_{rad} = \theta \times \frac{\pi}{180}$$

$$\theta_{rad} = 18,74^\circ \times \frac{3,14}{180}$$

$$\theta_{rad} = 0,3269089$$

$$FWHM(\beta) = 0,2807 \times \frac{\pi}{180}$$

$$FWHM(\beta) = 0,004899 \text{ rad}$$

$$D = \frac{k\lambda}{\beta \cos \theta}$$

$$D = \frac{0,9 \times 1,5406}{0,004899 \text{ rad} \cos(0,3269089)}$$

$$D = \frac{1,38654}{0,0046395 \text{ rad}}$$

$$D = 298,85 \text{ \AA}$$

$$D = 29,88 \text{ nm}$$

- Puncak (200)

$$\theta = \frac{2\theta}{2}$$

$$\theta = \frac{43,93}{2} = 21,97^\circ$$

$$\theta_{rad} = \theta \times \frac{\pi}{180}$$

$$\theta_{rad} = 21,97^\circ \times \frac{3,14}{180}$$

$$\theta_{rad} = 0,3832544$$

$$FWHM(\beta) = 0,3275 \times \frac{\pi}{180}$$

$$FWHM(\beta) = 0,005716 \text{ rad}$$

$$D = \frac{k\lambda}{\beta \cos \theta}$$

$$D = \frac{0,9 \times 1,5406}{0,005716 \text{ rad} \cos(0,3882544)}$$

$$D = \frac{1,38654}{0,0052906 \text{ rad}}$$

$$D = 262,077 \text{ \AA}$$

$$D = 26,2 \text{ nm}$$

- Puncak (220)

$$\theta = \frac{2\theta}{2}$$

$$\theta = \frac{63,33}{2} = 31,67^\circ$$

$$\theta_{\text{rad}} = \theta \times \frac{\pi}{180}$$

$$\theta_{\text{rad}} = 31,67^\circ \times \frac{3,14}{180}$$

$$\theta_{\text{rad}} = 0,5524656$$

$$FWHM(\beta) = 0,4451 \times \frac{\pi}{180}$$

$$FWHM(\beta) = 0,007769 \text{ rad}$$

$$D = \frac{k\lambda}{\beta \cos \theta}$$

$$D = \frac{0,9 \times 1,5406}{0,007769 \text{ rad} \cos(0,5524656)}$$

$$D = \frac{1,38654}{0,0066132 \text{ rad}}$$

$$D = 209,6615 \text{ \AA}$$

$$D = 20,96 \text{ nm}$$

- Puncak (311)

$$\theta = \frac{2\theta}{2}$$

$$\theta = \frac{77,88}{2} = 37,94^\circ$$

$$\theta_{\text{rad}} = \theta \times \frac{\pi}{180}$$

$$\theta_{\text{rad}} = 37,94^\circ \times \frac{3,14}{180}$$

$$\theta_{\text{rad}} = 0,661842$$

$$FWHM(\beta) = 0,5054 \times \frac{\pi}{180}$$

$$FWHM(\beta) = 0,008816 \text{ rad}$$

$$D = \frac{k\lambda}{\beta \cos \theta}$$

$$D = \frac{0,9 \times 1,5406}{0,008816 \text{ rad} \cos(0,661842)}$$

$$D = \frac{1,38654}{0,0069549 \text{ rad}}$$

$$D = 199,2785 \text{ \AA}$$

$$D = 19,92 \text{ nm}$$

- Puncak (222)

$$\theta = \frac{2\theta}{2}$$

$$\theta = \frac{79,92}{2} = 39,96^\circ$$

$$\theta_{rad} = \theta \times \frac{\pi}{180}$$

$$\theta_{rad} = 39,96^\circ \times \frac{3,14}{180}$$

$$\theta_{rad} = 0,69708$$

$$FWHM(\beta) = 0,1638 \times \frac{\pi}{180}$$

$$FWHM(\beta) = 0,002858 \text{ rad}$$

$$D = \frac{k\lambda}{\beta \cos \theta}$$

$$D = \frac{0,9 \times 1,5406}{0,002858 \text{ rad} \cos(0,69708)}$$

$$D = \frac{1,38654}{0,0021908 \text{ rad}}$$

$$D = 632,89 \text{ \AA}$$

$$D = 62,28 \text{ nm}$$

c. Nilai Kristal Pada pH 9

- Puncak (111)

$$\theta = \frac{2\theta}{2}$$

$$\theta = \frac{37,49}{2} = 18,75^\circ$$

$$\theta_{rad} = \theta \times \frac{\pi}{180}$$

$$\theta_{rad} = 18,75^\circ \times \frac{3,14}{180}$$

$$\theta_{rad} = 0,3270833$$

$$FWHM(\beta) = 0,3275 \times \frac{\pi}{180}$$

$$FWHM(\beta) = 0,005716 \text{ rad}$$

$$D = \frac{k\lambda}{\beta \cos \theta}$$

$$D = \frac{0,9 \times 1,5406}{0,005216 \text{ rad} \cos(0,3270833)}$$

$$D = \frac{1,38654}{0,005413 \text{ rad}}$$

$$D = 256,150 \text{ \AA}$$

$$D = 25,6 \text{ nm}$$

- Puncak (200)

$$\theta = \frac{2\theta}{2}$$

$$\theta = \frac{43,54}{2} = 21,77^\circ$$

$$\theta_{rad} = \theta \times \frac{\pi}{180}$$

$$\theta_{rad} = 21,77^\circ \times \frac{3,14}{180}$$

$$\theta_{rad} = 0,379765$$

$$FWHM(\beta) = 0,2047 \times \frac{\pi}{180}$$

$$FWHM(\beta) = 0,379765 \text{ rad}$$

$$D = \frac{k\lambda}{\beta \cos \theta}$$

$$D = \frac{0,9 \times 1,5406}{0,003572 \text{ rad} \cos(0,379765)}$$

$$D = \frac{1,38654}{0,003175 \text{ rad}}$$

$$D = 417,94 \text{ \AA}$$

$$D = 41,79 \text{ nm}$$

- Puncak (220)

$$\theta = \frac{2\theta}{2}$$

$$\theta = \frac{63,35}{2} = 31,68^\circ$$

$$\theta_{rad} = \theta \times \frac{\pi}{180}$$

$$\theta_{rad} = 31,68^\circ \times \frac{3,14}{180}$$

$$\theta_{rad} = 0,55264$$

$$FWHM(\beta) = 0,4913 \times \frac{\pi}{180}$$

$$FWHM(\beta) = 0,008576 \text{ rad}$$

$$D = \frac{k\lambda}{\beta \cos \theta}$$

$$D = \frac{0,9 \times 1,5406}{0,008576 \text{ rad} \cos(0,55264)}$$

$$D = \frac{1,38654}{0,0072994 \text{ rad}}$$

$$D = 189,9526 \text{ \AA}$$

$$D = 18,95 \text{ nm}$$

- Puncak (311)

$$\theta = \frac{2\theta}{2}$$

$$\theta = \frac{76,88}{2} = 38,44^\circ$$

$$\theta_{rad} = \theta \times \frac{\pi}{180}$$

$$\theta_{rad} = 38,44^\circ \times \frac{3,14}{180}$$

$$\theta_{rad} = 0,6705644$$

$$FWHM(\beta) = 0,2374 \times \frac{\pi}{180}$$

$$FWHM(\beta) = 0,004145 \text{ rad}$$

$$D = \frac{k\lambda}{\beta \cos \theta}$$

$$D = \frac{0,9 \times 1,5406}{0,004145 \text{ rad} \cos(0,6705644)}$$

$$D = \frac{1,38654}{0,0032475 \text{ rad}}$$

$$D = 426,94 \text{ \AA}$$

$$D = 42,69 \text{ nm}$$

- Puncak (222)

$$\theta = \frac{2\theta}{2}$$

$$\theta = \frac{79,96}{2} = 39,98^\circ$$

$$\theta_{rad} = \theta \times \frac{\pi}{180}$$

$$\theta_{rad} = 39,98^\circ \times \frac{3,14}{180}$$

$$\theta_{rad} = 0,697489$$

$$FWHM(\beta) = 0,7466 \times \frac{\pi}{180}$$

$$FWHM(\beta) = 0,01303 \text{ rad}$$

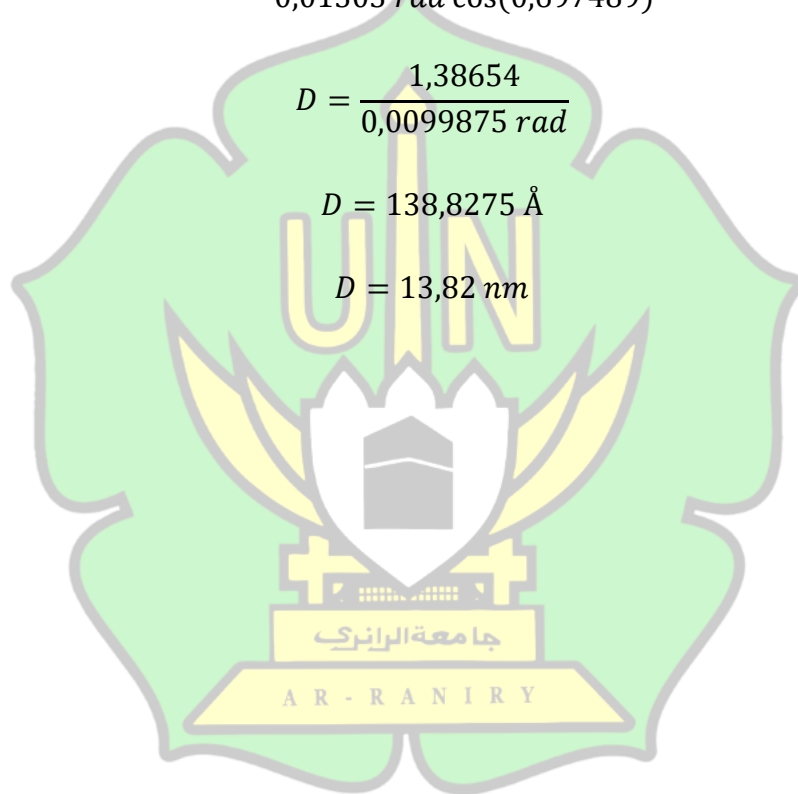
$$D = \frac{k\lambda}{\beta \cos \theta}$$

$$D = \frac{0,9 \times 1,5406}{0,01303 \text{ rad} \cos(0,697489)}$$

$$D = \frac{1,38654}{0,0099875 \text{ rad}}$$

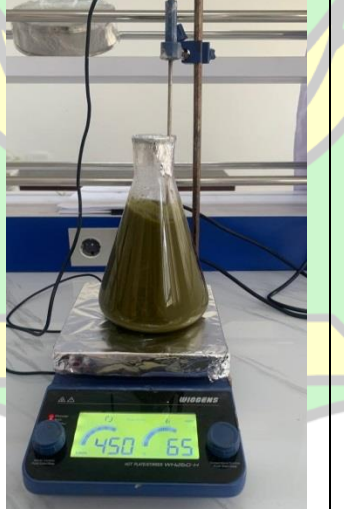
$$D = 138,8275 \text{ \AA}$$

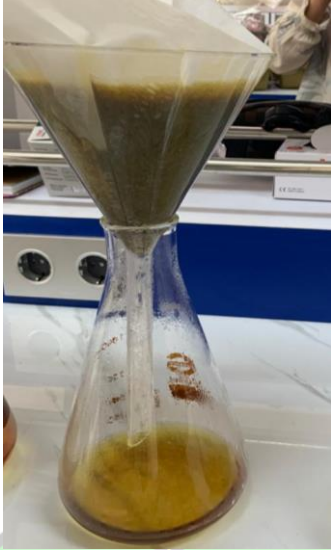
$$D = 13,82 \text{ nm}$$



LAMPIRAN 2

Lampiran 2 Gambar Penelitian

		
Pengambilan Sampel <i>C. Odorata</i>	Sampel daun <i>C. Odorata</i> setelah di cacah	Pengeringan Sampel di Oven
		
Proses penghalusan sampel	Ekstraksi Serbuk daun <i>C. Odorata</i>	Penyaringan ampas dari ekstraksi

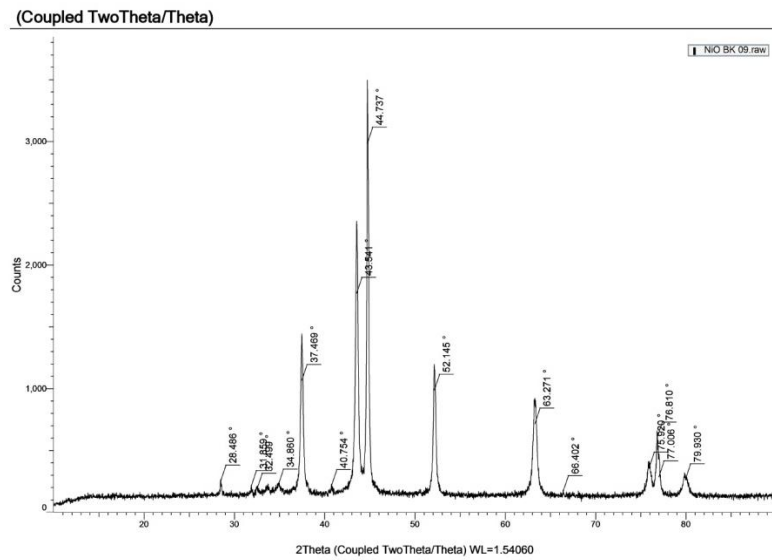
		
Sintesis NiO	Proses Pengendapan NiO	Endapan yang akan di panaskan menggunakan oven
		
Hasil setelah di Oven		

LAMPIRAN 3

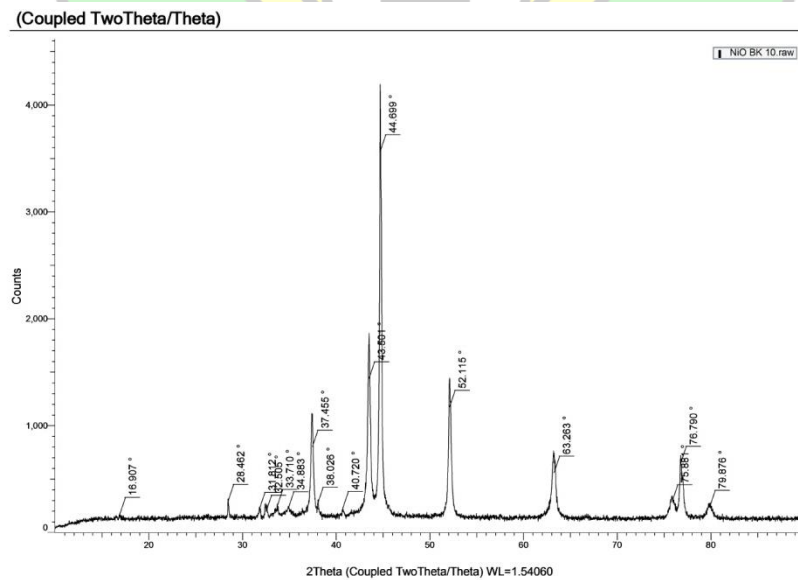
Lampiran 3 Hasil pengujian

1. Analisa XRD

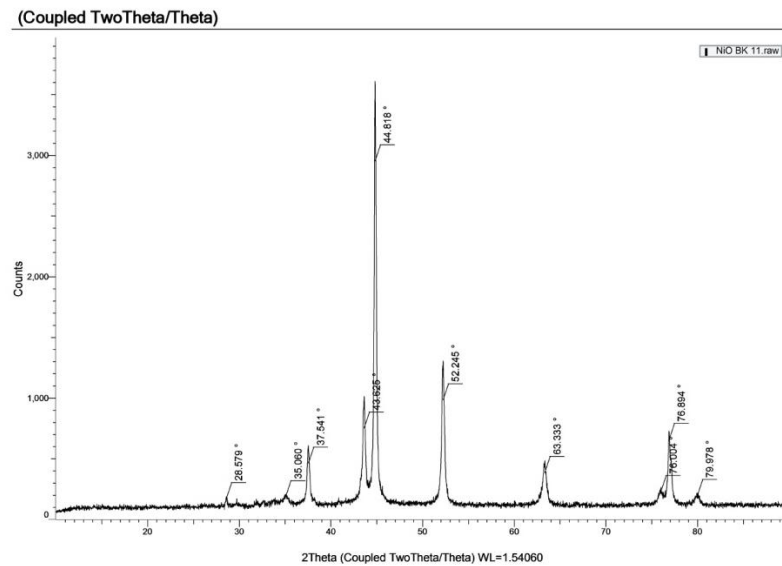
a. Hasil Karakterisasi Sampel *C. Odorata* pH 9



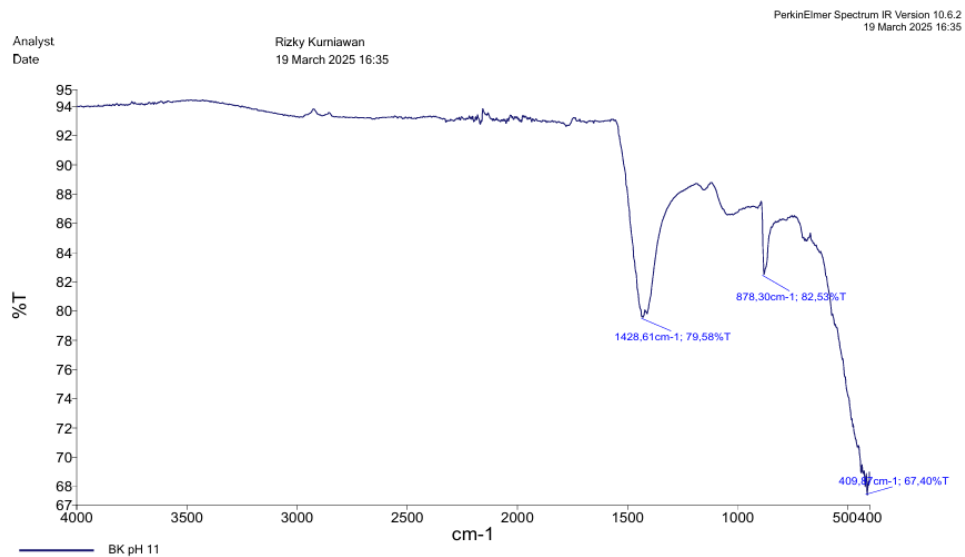
b. Hasil Karakterisasi Sampel *C. Odorata* pH 10



c. Hasil Karakterisasi Sampel *C. Odorata* pH 11



2. Analisa FTIR



3. Analisa HRTEM-EDS

